



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Συστοιχιών Υπολογιστών (Beowulf Clusters) με τη
Χρήση Desktop Η/Υ Παλαιάς Τεχνολογίας και Ελεύθερου
Λογισμικού για Παράλληλη Επεξεργασία (Parallel Computing)
με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική Τεχνολογία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Παρασκευάς Καβαζίδης

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Σεπτέμβριος 2019

.....
(Υπογραφή)

ΑΝΔΡΕΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΚΑΒΑΖΙΔΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Παρασκευάς Καβαζίδης, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια συστοιχία είναι πρακτικά ένας υπερυπολογιστής, που θεωρητικά μπορεί να φτιάξει και να χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε. Πιο συγκεκριμένα η συστοιχία είναι ένας παράλληλος υπολογιστής φτιαγμένος από συνηθισμένα εμπορικά κομμάτια. Αυτή η προσέγγιση εκμεταλλεύεται την εκπληκτική απόδοση, που είναι τώρα διαθέσιμη στους εμπορικούς προσωπικούς υπολογιστές. Με πολλές μετρικές, συμπεριλαμβανομένης της υπολογιστικής ταχύτητας, του μεγέθους της κύριας μνήμης, του διαθέσιμου χώρου στο δίσκο και του εύρους ζώνης, ένας μόνο υπολογιστής του σήμερα είναι πιο ισχυρός από τους υπερυπολογιστές του παρελθόντος. Αξιοποιώντας τη δύναμη των δεκάδων χιλιάδων τέτοιων ισχυρών επεξεργαστικών στοιχείων τόσο χαμηλού κόστους, μπορεί κανείς να δημιουργήσει έναν ισχυρό υπερυπολογιστή.

Στην παρούσα εργασία επιδιώξαμε τη δημιουργία μιας συστοιχίας υπολογιστών από απλούς υπολογιστές, οι οποίοι μπορούν να βρεθούν με χαμηλό ή και μηδενικό κόστος και έτσι να δημιουργηθεί ένα υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο θα μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων στη βιοϊατρική τεχνολογία. Η προσπάθειά μας έδειξε ότι κάτι τέτοιο είναι εφικτό και μάλιστα στις δοκιμές που κάναμε δείξαμε ότι η χρήση μιας συστοιχίας μπορεί να μειώσει τον υπολογιστικό χρόνο σημαντικά (>50×). Η απόδοση αυτή ήταν εξαιρετικά σημαντική αφού πολλά από τα προβλήματα της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι εξαιρετικά απαιτητικά σε υπολογιστική ισχύ και άρα κοστοβόρα αν πρέπει κανείς να χρησιμοποιήσει εμπορικά διαθέσιμα clusters για την επίλυσή τους.

Η λύση που εμείς προτείναμε αποτελεί έναν φθηνό και αποτελεσματικό τρόπο για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων και μάλιστα που μπορεί να είναι διαθέσιμος σε έναν ακαδημαϊκό χώρο, διαθέσιμο προς όλους που έχουν αντίστοιχα προβλήματα. Το πρόβλημα, που επιλέξαμε να επιλύσουμε αφορούσε στο μετασχηματισμό Fourier σημάτων βολταμετρίας. Οι υπολογιστικές απαιτήσεις του προβλήματος αυτού ήταν εξαιρετικά απαιτητικές αφού ένας επεξεργαστής για να καταφέρει να μετασχηματίσει πέντε σήματα χρειάστηκαν περίπου τέσσερις ώρες. Αντίστοιχα, με τη χρήση της συστοιχίας χρειάστηκαν 4.2 min για την ολοκλήρωση των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, φάνηκε ότι τέτοιες προσπάθειες είναι εξαιρετικά σημαντικές για την υποβοήθηση του ερευνητικού έργου και ειδικότερα σε εποχές, όπου οι πόροι είναι εξαιρετικά περιορισμένοι και ο ανταγωνισμός εξαιρετικά υψηλός.

Λέξεις κλειδιά: Beowulf cluster, συστοιχίες, βιοϊατρική τεχνολογία, open software

ABSTRACT

A cluster is practically a supercomputer that can be made and used theoretically by anyone. More specifically, a cluster is a parallel computer made of ordinary commercial hardware. This approach takes advantage of the amazing performance that is now available on commercial PCs. With many metrics, including computing speed, main memory size, disk space and bandwidth, a single computer today is more powerful than supercomputers of the past. By harnessing the power of tens of thousands of such powerful processors at such low cost, one can create a powerful supercomputer.

In the present work, we sought to create a cluster of computers from simple home-computers, which can be found at low or zero cost and thus to create a computing tool that can help solve computational problems in biomedical technology. Our effort has shown that this is feasible, and in our tests we have shown that using our cluster, we reduced computing time significantly ($>50\times$). This performance was extremely important as many of the problems of biomedical technology are extremely demanding in computing power and therefore costly if one had to use commercially available clusters to solve them.

The solution we have proposed is a cheap and effective way to solve computational problems, as well as we made available to an academic environment, available to anyone who has to deal with similar computational problems. The problem we chose to solve was the Fourier transform of voltammetry signals. The computational requirements of this problem were extremely demanding as it took about four hours for a processor to be able to transform five signals. On the other hand, using the cluster took 4.2 min to complete the computations. Therefore, such efforts have appeared to be extremely important in assisting research and, in particular, in times where resources are extremely scarce and competition is extremely high.

Keywords: Beowulf cluster, arrays, biomedical technology, open software

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, κ. Δημήτριο Διονύσιο Κουτσούρη, για την ευκαιρία που μου προσέφερε με την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνησή της.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Γεώργιο Λάμπρου, Ε.ΔΙ.Π, της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Α' Παιδιατρική Κλινική, Χωρέμειο Ερευνητικό Εργαστήριο, για το ενδιαφέρον του και τη συμβολή του στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, καθώς και για την παραχώρηση του εξοπλισμού του Χωρεμείου Ερευνητικού Εργαστηρίου, που ο ίδιος είχε συλλέξει.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τη καρδιά μου τους γονείς μου, τον αδερφό μου και τη γυναίκα μου για την αμέριστη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	V
ABSTRACT.....	VI
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	VII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	VIII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	XII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	XV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	XVI
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΜΕΡΟΣ Ι-ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	3
1.1. Η Ιστορία των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (H/Y)	3
1.1.1 Η Απαρχή των H/Y	4
1.1.1.1 Οι Βασικές Αρχές των H/Y.....	4
1.1.1.2 Η Σειρά των Μοντέλων Z.....	5
1.1.1.3 Η Μηχανή Πινάκων.....	6
1.1.1.4 Η Μηχανή του Leibnitz.....	6
1.1.2 Η Πρώτη Γενιά των H/Y (1946-1958)	7
1.1.2.1 Mark I.....	7
1.1.2.2 ENIAC.....	9
1.1.2.3 EDVAC.....	10
1.1.2.4 NCR3000	11
1.1.2.5 Η Μηχανή Turing (1936).....	11
1.1.3 Λυχνίες	12
1.1.4 Τρανζίστορ (Transistor).....	13
1.1.5 Η Δεύτερη Γενιά H/Y (1958-1964).....	15
1.1.6 Η Τρίτη Γενιά H/Y (1964-1971)	16
1.1.6.1 IBM 1620 II.....	18
1.1.6.2 Sinclair ZX81.....	18
1.1.7 Η Τέταρτη Γενιά H/Y (1971-2010).....	19
1.1.8 Οι Μεγάλοι Υπολογιστές	22
1.1.9 Η Πέμπτη Γενιά H/Y, Τεχνητή Νοημοσύνη (2010-Σήμερα).....	24
2. PENTIUMS	27
2.1. Pentium 2 (Intel Pentium II).....	28
2.2. Pentium 3 (Intel Pentium III)	32
2.3. Pentium 4 (Intel Pentium IV)	38
2.4. Οικογένεια X86 Αρχιτεκτονικών Συνόλου Εντολών	40
2.5. Διοχέτευση (Pipeline).....	40
2.6. P6 (1995)	43
2.6.1. Cache Μνήμη	45
2.6.2. Branch Prediction (Πρόβλεψη Διακλάδωσης).....	48

2.6.3.	Speculative Execution (Υποθετική Εκτέλεση)	49
2.6.4.	Dynamic Scheduling	49
2.6.5.	Register Renaming και Data Dependency	49
2.6.6.	Reorder Buffer (ROB)	50
2.6.7.	Reservation Stations	51
2.6.8.	Memory Order Buffere (MOB)	51
2.6.9.	Dynamic Execution	52
2.7.	NetBurst	52
2.7.1.	Hyper Pipelined Technology	55
2.7.2.	Hyper Threading Technology (HTT)	57
2.7.3.	Quad Front-Side Bus	58
2.7.4.	Rapid Execution Engine	58
2.7.5.	Execution Trace Cache	59
2.7.6.	Replay System	59
2.7.7.	Εκδόσεις	60
2.8.	Intel Pentium IV	61
2.8.1.	Πυρήνες Pentium 4	63
2.8.2.	Wilamette	63
2.8.3.	Northwood	64
2.8.4.	Gallatin-Extreme Edition	65
2.8.5.	Prescott	66
2.8.6.	Cedar Mill	67
2.8.7.	Core	68
2.8.8.	Χαρακτηριστικά της Intel Core Μικροαρχιτεκτονικής	72
2.8.8.1.	<i>Intel Wide Dynamic Execution</i>	73
2.8.8.2.	<i>Intel Intelligent Power Capability</i>	74
2.8.8.3.	<i>Intel Advanced Smart Cache</i>	75
2.8.8.4.	<i>Intel Smart Memory Access</i>	75
2.8.8.5.	<i>Intel Advanced Digital Media Boost</i>	76
2.8.9.	Επεξεργαστές Αρχιτεκτονικής Core	77
2.8.10.	Intel Core 2	78
3.	COMPUTER CLUSTERS (ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ)	80
4.	BEOWULF CLUSTERS	82
4.1.	Η Δημιουργία της Συστοιχίας	84
4.2.	Η Παραμετροποίηση (Configuration) της Συστοιχίας	86
4.2.1.	Η Προσθήκη των Κόμβων	86
4.2.2.	Ορισμός Χρηστών για τη λειτουργία ενός Message Passage Interface (MPI)	86
4.2.3.	Εγκατάσταση του Δικτυακού Συστήματος Αρχείων (Network File System (NFS))	87
	ΜΕΡΟΣ ΙΙ-ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ	88
5.	ΥΛΙΚΟ	89
5.1.	Επεξεργαστές που Χρησιμοποιήθηκαν στην Παρούσα Διπλωματική	89
5.2.	Εργαλεία	89
5.3.	Λογισμικό	89
6.	ΜΕΘΟΔΟΣ	91
	ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	92
7.	ΟΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ	93

7.1.	Heron I 01	93
7.2.	Heron II 01	95
7.3.	Heron II 02	98
7.4.	Heron II 03	102
7.5.	Heron II 04	106
8.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (BENCHMARKING) ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	109
8.1.	Διατύπωση του Προβλήματος	109
8.1.1.	Στοιχεία Ηλεκτροχημείας	111
8.1.1.1.	<i>Οξειδωση</i>	112
8.1.1.2.	<i>Ηλεκτροκατάλυση</i>	112
8.1.1.3.	<i>Οξειδωτικές Ενώσεις</i>	113
8.1.2.	Βολταμετρία	114
8.1.2.1.	<i>Βολταμετρικές Τεχνικές</i>	115
8.1.2.2.	<i>Αμπερομετρία</i>	115
8.1.2.3.	<i>Κοκλική Βολταμετρία</i>	116
8.1.2.4.	<i>Fast Scan Cyclic Voltammetry (FSCV)</i>	117
8.1.2.5.	<i>Differential Pulse Voltammetry (DPV)</i>	117
8.1.3.	Άλλες Αναλυτικές Τεχνικές.....	118
8.1.4.	Ανάκτηση Δεδομένων	119
8.1.5.	Recording Sessions.....	119
8.1.6.	Ψηφιοποίηση Δεδομένων	120
8.1.7.	Ανάλυση Δεδομένων	123
8.1.8.	Μετασχηματισμός Fourier.....	123
8.1.8.1.	<i>Μετασχηματισμός Fourier Διακριτού Χρόνου (DTFT)</i>	123
8.1.8.2.	<i>Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT)</i>	126
8.2.	Ο Υπολογισμός του Μετασχηματισμού Fourier με τη Χρήση της Συστοιχίας Υπολογιστών	129
	ΜΕΡΟΣ IV-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	133
9.	Η ΧΡΗΣΗ ΜΙΑΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	134
9.1.	Γιατί χρειαζόμαστε ένα Cluster	136
9.2.	Κατανοώντας τις Απαιτήσεις των Βιοϊατρικών Εφαρμογών	138
9.2.1.	Μνήμη	139
9.2.2.	Input/Output	140
9.2.3.	Λοιπές Απαιτήσεις.....	140
9.2.4.	Υπολογίζοντας τις Απαιτήσεις μιας Εφαρμογής	140
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	143
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	144
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	148
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - ΠΛΗΡΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Η/Υ (H/W SPECIFICATIONS)	149
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ-ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB	208
	Κώδικας για τον Υπολογισμό του Μετασχηματισμού Fourier σε Βολταμετρικό Σήμα ...	208
	Η Αρχική Ρουτίνα	208

Η Ρουτίνα “proc1”	208
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ-ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ (TROUBLESHOOTING).....	215

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα.....	3
Εικόνα 2. Τα πέντε βασικά στοιχεία, που απαρτίζουν έναν υπολογιστή κατά von Neumann.	4
Εικόνα 3. Ο υπολογιστής Z3.....	5
Εικόνα 4. Η στατιστική μηχανή του Χόλλεριθ.	6
Εικόνα 5. Η μηχανή του Leibnitz.....	7
Εικόνα 6. Ο H/Y Mark I.....	8
Εικόνα 7. Ο H/Y Mark I.....	8
Εικόνα 8. Ο H/Y ENIAC.....	9
Εικόνα 9. Ο H/Y EDVAC.....	10
Εικόνα 10. Η λογιστική μηχανή NCR3000.....	11
Εικόνα 11. Ο Alan Turing.....	12
Εικόνα 12. Τάξεις των αυτομάτων.....	13
Εικόνα 13. Το πρώτο τρανζίστορ (1947).	14
Εικόνα 14. Η συνδεσμολογία του πρώτου τρανζίστορ (1947).....	14
Εικόνα 15. Ο H/Y IBM 1401.	15
Εικόνα 16. Ένα από τα πρώτα ολοκληρωμένα κυκλώματα.	16
Εικόνα 17. Ο IBM 360.....	17
Εικόνα 18. Ο IBM 1620 II.	18
Εικόνα 19. Ο Sinclair ZX-81.....	19
Εικόνα 20. Ο H/Y 4004 της Intel.	20
Εικόνα 21. Ο H/Y 8008 (επάνω) και το εσωτερικό του (κάτω).....	21
Εικόνα 22. Ο H/Y Cray Supercomputer.....	22
Εικόνα 23. Desktop και Laptop της δεκαετίας του 1980.	23
Εικόνα 24. Desktop και Laptop της δεκαετίας του 1990.	23
Εικόνα 25. Συσκευές βασισμένες στην 4 ^η γενιά υπολογιστών.....	25
Εικόνα 26. Ο επεξεργαστής Pentium 2.	29
Εικόνα 27. Ο επεξεργαστής Pentium 2 τοποθετημένος σε μητρική κάρτα.....	30
Εικόνα 28. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 3.....	33
Εικόνα 29. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Katmai.....	34
Εικόνα 30. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Coppermine.....	36
Εικόνα 31. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Tualatin.....	37
Εικόνα 32. Η μικροαρχιτεκτονική των επεξεργαστών 6 ^{ης} γενιάς.....	39
Εικόνα 33. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση.	41
Εικόνα 34. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση.	45
Εικόνα 35. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση.	46
Εικόνα 36. Η Πυραμίδα ιεράρχησης της μνήμης.	47
Εικόνα 37. Ο επεξεργαστής Pentium 4.	53

Εικόνα 38. Ο νόμος του Moore.....	54
Εικόνα 39. Οι τεχνολογίες διοχέτευσης των Pentium P6 και Pentium 4.....	56
Εικόνα 40. Συγκριτικό διάγραμμα απόδοσης των τεχνολογιών διοχέτευσης.....	56
Εικόνα 41. Η τεχνολογία Hyper Threading.....	58
Εικόνα 42. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 4.....	63
Εικόνα 43. Ο Pentium 4 τοποθετημένος σε μητρική.....	64
Εικόνα 44. Ο Pentium 4 και το συγκριτικό του μέγεθος.....	65
Εικόνα 45. Ο Pentium 4 Gallatin Extreme Edition.....	66
Εικόνα 46. Ο Pentium 4 Prescott.....	67
Εικόνα 47. Ο Pentium 4 Cedar Mill.....	68
Εικόνα 48. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 4 Core.....	69
Εικόνα 49. Η μικροαρχιτεκτονική του Intel Core.....	72
Εικόνα 50. Ο λογότυπος της Intel για τον επεξεργαστή Intel Core 2.....	78
Εικόνα 51. Το ανάτυπο του ποιήματος του Beowulf, από το οποίο ονομάστηκε η συστοιχία υπολογιστών.....	82
Εικόνα 52. Υπόδειγμα συνδεσμολογίας συστοιχίας Beowulf.....	85
Εικόνα 53. Το ανάτυπο του ποιήματος του Beowulf, από το οποίο ονομάστηκε η συστοιχία υπολογιστών.....	85
Εικόνα 54. Το εσωτερικό του υπολογιστή Heron_I_01.....	93
Εικόνα 55. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_01.....	95
Εικόνα 56. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_01.....	95
Εικόνα 57. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_01.....	96
Εικόνα 58. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_01.....	96
Εικόνα 59. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_02.....	98
Εικόνα 60. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_02</i>	98
Εικόνα 61. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_02</i>	99
Εικόνα 62. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_02</i>	99
Εικόνα 63. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_02</i>	100
Εικόνα 64. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_03.....	102
Εικόνα 65. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_03</i>	102
Εικόνα 66. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_03</i>	103
Εικόνα 67. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_03</i>	103
Εικόνα 68. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_03</i>	104
Εικόνα 69. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_03</i>	104
Εικόνα 70. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή Heron_II_04.....	106
Εικόνα 71. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_04</i> και ο επεξεργαστής του.....	106
Εικόνα 72. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_04</i> και το ολοκληρωμένο της μητρικής.....	107
Εικόνα 73. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή <i>Heron_II_04</i> και η μητρική που τελικά χρησιμοποιήθηκε.....	107

Εικόνα 74. Ο πολωρογράφος του Heyrovsky.....	110
Εικόνα 75. Σύστημα τριών ηλεκτροδίων στη βολταμετρία. (1) Ηλεκτρόδιο εργασίας, (2) βοηθητικό ηλεκτρόδιο, (3) ηλεκτρόδιο αναφοράς.....	114
Εικόνα 76. Μοντέλο του βολταμετρικού ηλεκτροδίου και η αντίστοιχη οξειδοαναγωγική αντίδραση στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου άνθρακα (από: Theodoridis & Lambrou (2019)) (35).	115
Εικόνα 77. Το δυναμικό εισόδου στην κυκλική βολταμετρία αυξάνει σαν ράμπα γραμμικά σε κυκλικές φάσεις.	116
Εικόνα 78. Κυκλική βολταμετρία.	117
Εικόνα 79. Αλλαγή της τάσεως εισόδου στην Διαφορική Βολταμετρία (από Theodoridis & Lambrou (2019)) (15, 35).	118
Εικόνα 80. Φωτογραφία μιας μέτρησης (μπλε γραφίδα).	121
Εικόνα 81. Η μέτρηση με την προσθήκη διάφανου millimeter.....	122
Εικόνα 82. Αναπαράσταση με Excel της παραπάνω μέτρησης μετά την ψηφιοποίηση.	122
Εικόνα 83. Γραφική παράσταση της συνάρτησης διακριτού χρόνου $x[n]=0.6^n$, για $0 \leq n \leq 9$	125
Εικόνα 84. Γραφική παράσταση του μέτρου $ X(e^{j\omega}) $ του DTFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$ της προηγούμενης εικόνας. Διακρίνεται ότι το μέτρο του DTFT είναι συνεχής συνάρτηση και περιοδική ως προς ω	126
Εικόνα 85. Γραφική παράσταση της γωνίας $\angle X(e^{j\omega})$ του DTFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$. Φαίνεται ότι η γωνία του DTFT είναι περιττή συνάρτηση του ω	126
Εικόνα 86. Γραφική παράσταση του μέτρου $ X[k] $ του DFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$. Διακρίνεται ότι το μέτρο του DFT είναι διακριτή συνάρτηση, σε αντίθεση με τον DTFT.	128
Εικόνα 87. Γραφική παράσταση της γωνίας $\angle X[k]$ του DFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$	129
Εικόνα 88. Γραφική παράσταση του χρόνου υπολογισμού του μετασχηματισμού Fourier με τη χρήση ενός επεξεργαστή και της συστοιχίας υπολογιστών.	132

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της 6 ^{ης} γενιάς επεξεργαστών P6.....	27
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της 7 ^{ης} γενιάς επεξεργαστών x86.....	27
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά των Pentium 2.....	28
Πίνακας 4. Παραλλαγές των Desktop επεξεργαστών Pentium 2.....	31
Πίνακας 5. Παραλλαγές των Mobile επεξεργαστών Pentium 2.....	32
Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά των Pentium 3.....	32
Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Katmai των Pentium 3.....	34
Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Coppermine των Pentium 3.....	35
Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Coppermine T των Pentium 3.....	36
Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Tualatin των Pentium 3.....	37
Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά του επεξεργαστή Pentium 4.....	38
Πίνακας 12. Σύνοψη των σταδίων και συχνοτήτων των επεξεργαστών.....	43
Πίνακας 13. Τα χαρακτηριστικά του επεξεργαστή P6.....	45
Πίνακας 14. Συγκριτικός πίνακας των ταχυτήτων της οικογένειας Pentium.....	46
Πίνακας 15. Η λειτουργία των καταχωρητών.....	50
Πίνακας 16. Η λειτουργία των καταχωρητών.....	50
Πίνακας 17. Τα χαρακτηριστικά του Netburst.....	54
Πίνακας 18. Χαρακτηριστικά των NetBurst Pentium 4 επεξεργαστών.....	61
Πίνακας 19. Χαρακτηριστικά των Pentium 4 επεξεργαστών.....	62
Πίνακας 20. Χαρακτηριστικά των Pentium 4 Core επεξεργαστών.....	70
Πίνακας 21. Οι επεξεργαστές αρχιτεκτονικής Pentium 4 Core.....	78
Πίνακας 22. Τα χαρακτηριστικά των επεξεργαστών Pentium 4 Core 2.....	79
Πίνακας 23. Οι μητρικές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.....	90
Πίνακας 24. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή Heron I 01.....	94
Πίνακας 25. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή Heron II 01.....	97
Πίνακας 26. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή Heron II 02.....	101
Πίνακας 27. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή Heron II 03.....	105
Πίνακας 28. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή Heron II 04.....	108
Πίνακας 29. Η απόδοση και ο χρόνος υπολογισμού (benchmarking) του μετασχηματισμού Fourier για τα βολταμετρικά σήματα σε ένα επεξεργαστή.....	130
Πίνακας 30. Η απόδοση και ο χρόνος υπολογισμού (benchmarking) του μετασχηματισμού Fourier για τα βολταμετρικά σήματα σε έξι επεξεργαστές.....	131

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΩΣΕΩΝ

$t_f+t_d+t_e+t_w=T$, Εξίσωση 1 , όπου T ο συνολικός χρόνος.....	41
$t_f=t_d=t_e=t_w=t$, Εξίσωση 2 , όπου t ο χρόνος.....	41
$Performance=Frequency \times Instructions\ Per\ Cycle\ (IPC)$, Εξίσωση 3	70
$Power=Dynamic\ Capacitance \times Voltage^2 \times Frequency$, Εξίσωση 4	71
Ειδικότερα, $E = E_0 - \frac{RT}{zF} \ln Q_r$ (Εξίσωση 5), όπου E είναι το δυναμικό του κυττάρου σε θερμοκρασία T , E_0 είναι το δυναμικό ηρεμίας του κυττάρου, R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, z είναι ο αριθμός των moles ή των ηλεκτρονίων που μεταφέρονται λόγω της αντίδρασης, F είναι η σταθερά Faraday και Q_r είναι ο λόγος της συγκέντρωσης των ουσιών που υφίστανται οξείδωση ($[S_{ox}]$) προς τη συγκέντρωση των ουσιών που υφίστανται αναγωγή ($[S_{red}]$).	112
Ειδικότερα, $\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q$ (Εξίσωση 6), όπου ΔG είναι η μεταβολή στην ελεύθερη ενέργεια Gibbs, ΔG^0 είναι το δυναμικό του κυττάρου όταν $Q=1$, R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, T είναι η θερμοκρασία και $\ln Q$ είναι ο λόγος των προϊόντων επί των αντιδρώντων.....	112
Ειδικότερα, $u = \frac{x}{t}$ (Εξίσωση 7), όπου u είναι η ταχύτητα του χαρτιού, x η απόσταση που διανύεται σε χρόνο t	120
Ειδικότερα, $T = \frac{x}{u}$ (Εξίσωση 8), όπου T είναι η περίοδος της δειγματοληψίας, x η απόσταση που διανύεται και u η ταχύτητα του χαρτιού.	120
Ειδικότερα, $X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n}$ (Εξίσωση 9), όπου $x[n]$ είναι το σήμα διακριτού χρόνου και ω η συχνότητα.	123
Ειδικότερα, $x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} X(e^{j\omega})e^{j\omega n} d\omega$ (Εξίσωση 10), όπου $X(e^{j\omega})$ είναι το Φουριεριανό μετασχημάτισμα και ω η συχνότητα.	124
Ειδικότερα, $X(e^{j\omega}) = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega})$ (Εξίσωση 11), όπου $X_R(e^{j\omega})$ το πραγματικό μέρος της συνάρτησης και $X_I(e^{j\omega})$ το φανταστικό μέρος της συνάρτησης, είτε σε πολική μορφή, ως $X(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega}) e^{j\angle X(e^{j\omega})}$, όπου $ X(e^{j\omega}) $ το μέτρο της μιγαδικής συνάρτησης και $\angle X(e^{j\omega})$ η γωνία της.	124
Ειδικότερα, $\sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] < \infty$ (Εξίσωση 12), όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου.	124
Ειδικότερα, $\sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] ^2 < \infty$ (Εξίσωση 13), όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου.	125

Ειδικότερα,
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1$$
 (Εξίσωση 14), όπου όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου..... 127

Ειδικότερα,
$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[k] e^{j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1$$
 (Εξίσωση 15), όπου $x[n]$, $X(k)$ ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier του $x[n]$ 127

Ειδικότερα,
$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] e^{-j\omega n} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\omega n}$$
 (Εξίσωση 16), όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου, $X(e^{j\omega})$ ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου του $x[n]$, και ω η συχνότητα..... 128

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “*Ανάπτυξη Συστοιχιών Υπολογιστών (Beowulf Clusters) με τη Χρήση Desktop H/Y Παλαιάς Τεχνολογίας και Ελεύθερου Λογισμικού για Παράλληλη Επεξεργασία (Parallel Computing) με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική Τεχνολογία*” εκπονήθηκε στο Χωρέμειο Ερευνητικό Εργαστήριο, της Α΄ Παιδιατρικής Κλινικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ).

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε ταυτόχρονα με τη διπλωματική εργασία με τίτλο “*Ανάπτυξη Συστοιχιών Υπολογιστών (Beowulf Clusters) με τη Χρήση Desktop H/Y, Graphics Processing Units (GPUs) και Ελεύθερου Λογισμικού για Παράλληλη Επεξεργασία (Parallel Computing) με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική Τεχνολογία*” του συναδέλφου Αλέξανδρου Διβόλη. Οι δύο αυτές διπλωματικές αποτελούσαν τμήμα του ίδιου project και αφορούσαν στην υλοποίηση δύο συστοιχιών με υπολογιστές διαφορετικών γενεών.

Η ιδέα για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας δόθηκε από τον κ. Γεώργιο Λάμπρου, ο οποίος μέσα από την παρουσίαση των θεμάτων των διπλωματικών εργασιών, μας έδωσε το ερέθισμα για την εκπόνηση της ανωτέρω διπλωματικής. Η ανάγκη για τη δημιουργία τέτοιων συστοιχιών, προήλθε από τις ανάγκες των ερευνητικών μελετών του ΧΕΕ, οι οποίες απαιτούσαν μεγάλη υπολογιστική ισχύ (ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (Big Data) γονιδιακής έκφρασης, όπως π.χ. δεδομένων μικροσυστοιχιών, Next Generation Sequencing (NGS) κτλ. καθώς και προσομοίωσης πρωτεϊνικής διαμόρφωσης). Δεδομένων των αυξημένων αναγκών για υπολογιστική δύναμη και ταυτοχρόνως της έλλειψης πόρων, η υλοποίηση ενός τέτοιου υπολογιστικού εργαλείου αποτελούσε σημαντικό βοήθημα στο ερευνητικό έργο του ΧΕΕ.

Ως εκ τούτου, στα πλαίσια αυτής της ανάγκης, κατασκευάστηκε ο «HPΩΝ». Μια υπολογιστική μονάδα, αποτελούμενη από υπολογιστές παλαιάς και νέας γενιάς, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας ενισχύοντας το ερευνητικό έργο. Ο «HPΩΝ» έχει εγκατασταθεί στο χώρο του ΧΕΕ και χρησιμοποιείται από το εργαστήριο του κ. Λάμπρου στα πλαίσια των ερευνών τους.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019

ΜΕΡΟΣ Ι-ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο **Ήρων ο Αλεξανδρεύς** (300-230 π.Χ.) ήταν Έλληνας μηχανικός και γεωμέτρης. Έζησε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου περίπου τον 1^ο π.Χ αιώνα. Η πιο διάσημη εφεύρεση του είναι η *αιολόσφαιρα* ή *ατμοστρόβιλος* (**Εικόνα 1**), η πρώτη ατμομηχανή στην ιστορία. Υπήρξε διδάσκαλος της περίφημης *Ανώτατης Τεχνικής Σχολής της Αλεξάνδρειας*, το πρώτο πολυτεχνείο που είχε ιδρυθεί στο Μουσείο για μηχανικούς. Λέγεται ότι ακολουθούσε την θεωρία των ατόμων και τη Μηχανική Σύνταξη του *Φίλωνα*. Ιδέες του Κτησιβίου ήταν βάση για κάποια από τα έργα του. Ήταν γνωστός και ως *Ήρων ο Κτησιβίου* (ως μαθητής, πιθανότατα, του μεγάλου μαθηματικού και εφευρέτη *Κτησιβίου*), και *Ήρων ο Μηχανικός*¹.



Εικόνα 1. Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα.

1.1. Η Ιστορία των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (Η/Υ)

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του 20^{ου} αιώνα είναι αναμφισβήτητα η εμφάνιση και η τεράστια ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σήμερα υπάρχουν εκατομμύρια υπολογιστές σε όλο τον κόσμο παρόλο που δεν έχουν περάσει ούτε 50 χρόνια από την ημέρα που βγήκε στο εμπόριο ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής (1951). Από την ημέρα αυτή έχει αναπτυχθεί μια τεράστια βιομηχανία υπολογιστών, η οποία μπορεί πλέον να συναγωνισθεί αυτή των αυτοκινήτων. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου στον

¹ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%81%CF%89%CE%BD>, προσβάστηκε 8 Μαρτίου 2019.

οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό τομέα είναι σημαντικές και αποτελούν αντικείμενο πολλών ερευνών στις μέρες μας.

Πώς όμως ξεκίνησε αυτή η επανάσταση και πώς έφτασε σ' αυτό το τεράστιο σημείο ανάπτυξης; Η ιστορία των υπολογιστικών μηχανών μπορεί να χωριστεί σε τρεις μεγάλες περιόδους: αυτή των μηχανικών κατασκευών, αυτή των αυτόματων υπολογιστικών μηχανών και αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών εγγεγραμμένου προγράμματος. Οι δύο πρώτες περίοδοι αποτελούν κατά κάποιον τρόπο την «προϊστορία», ενώ η τρίτη αναφέρεται στην εξέλιξη των υπολογιστών όπως τους γνωρίζουμε σήμερα.

1.1.1 Η Απαρχή των Η/Υ

1.1.1.1 Οι Βασικές Αρχές των Η/Υ

Ο Τζων Φον Νόϊμαν (John von Neumann) σε ένα υπόμνημα-ορόσημο που δημοσιεύτηκε το 1945, έδωσε το περίγραμμα των βασικών στοιχείων ενός υπολογιστικού συστήματος (1-3). Ανέπτυξε τα πέντε βασικά συστατικά στοιχεία που απαρτίζουν έναν υπολογιστή, έτσι ώστε να είναι ταυτόχρονα αποτελεσματικός και γενικής χρήσης (**Εικόνα 2**):



Εικόνα 2. Τα πέντε βασικά στοιχεία, που απαρτίζουν έναν υπολογιστή κατά von Neumann.

1. Μονάδα Αριθμητικής Λογικής (ΜΑΛ) (Arithmetic Logic Unit (ALU))
2. Μονάδα Ελέγχου για Ρύθμιση Λειτουργιών (ΜΕΡΛ)
3. Μνήμη

4. Μονάδα Εισόδου Δεδομένων (ΜΕΔ)
5. Μονάδα Εξόδου Αποτελεσμάτων (ΜΕΑ)

Ανέφερε επίσης ότι ένα τέτοιο σύστημα θα έπρεπε (3):

1. Να χειρίζεται δυαδικούς αριθμούς
2. Να λειτουργεί ηλεκτρονικά και
3. Να εκτελεί τις λειτουργίες του μία-μία.

1.1.1.2 Η Σειρά των Μοντέλων Z

Ο Z1-έτσι ονόμασε ο Τσούζε τον πρώτο υπολογιστή του- αποτελούνταν από εντελώς μηχανικά μέρη και διέθετε πληκτρολόγιο για την εισαγωγή στοιχείων. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των στοιχείων δίνονταν με ηλεκτρικούς λαμπτήρες. Στο Z2, εκτός του ότι χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονόμοι στη θέση των μηχανικών τμημάτων, η τροφοδοσία των στοιχείων γινόταν με τη βοήθεια διάτρητου φιλμ 35mm. Ο Z3 προχώρησε παραπέρα, ήταν μια υπολογιστική μηχανή γενικής χρήσης, ελεγχόμενη από πρόγραμμα και βασισμένη στο δυαδικό σύστημα αντί του δεκαδικού. Ήταν εφοδιασμένος με αναγνώστη ταινιών, μία κονσόλα για το χειριστή και δύο ντουλάπια με 2600 διακόπτες. Ο Z4, το τελευταίο μοντέλο, βασίστηκε στις ίδιες αρχές με το Z3, αλλά ήταν ταχύτερος και ισχυρότερος (**Εικόνα 3**).

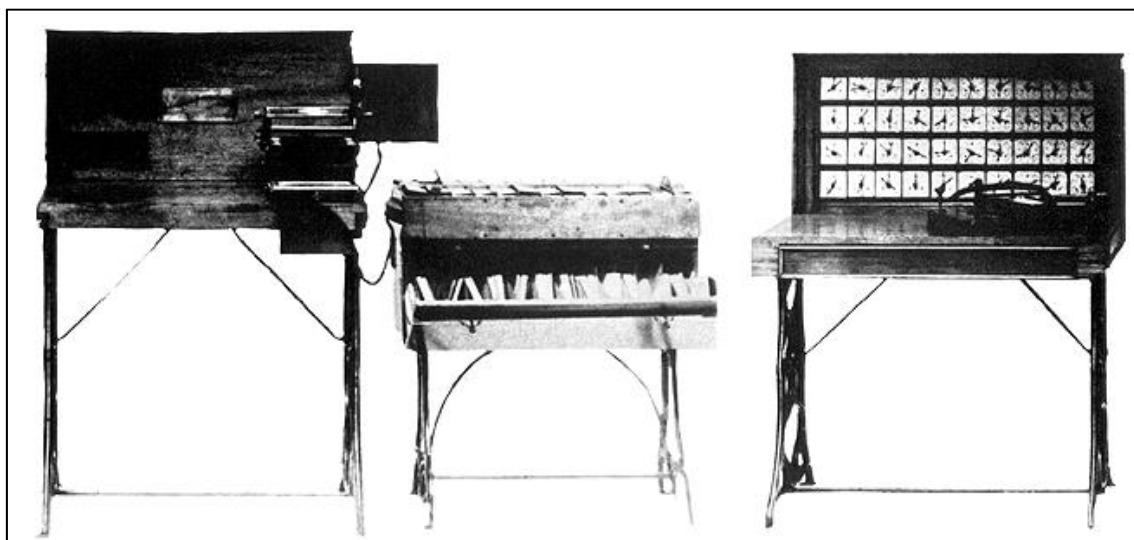


Εικόνα 3. Ο υπολογιστής Z3².

² <https://goo.gl/images/dE1iAo>

1.1.1.3 Η Μηχανή Πινάκων

Η στατιστική μηχανή του Χόλλεριθ (*Herman Hollerith*, 29 Φεβρουαρίου 1860 – 17 Νοεμβρίου 1929) χρησιμοποίησε διάτρητες κάρτες για να πινακοποιήσει τα αποτελέσματα της απογραφής των Η.Π.Α. του 1890 (**Εικόνα 4**). Κάθε καρτέλα είχε το μέγεθος χαρτονομισμάτων του ενός δολαρίου και διέθετε 12 σειρές των 20 οπών (συνεπώς υπήρχε δυνατότητα για 240 συνολικά τρύπες). Η μηχανή ταξινομούσε με βάση ένα προσδιορισμένο κώδικα τις καρτέλες, τις συνέκρινε μεταξύ τους, τις καταμετρούσε με τη βοήθεια δεικτών ρολογιού και τύπωνε το αποτέλεσμα σε μια μορφή που μπορούσε να διαβαστεί. Οι μηχανές του Χόλλεριθ ήταν οι πρώτες που επεξεργάζονταν πληροφορίες και αποτέλεσαν το σημείο αναφοράς για όλη τη σειρά των μηχανογραφικών υπολογιστών.

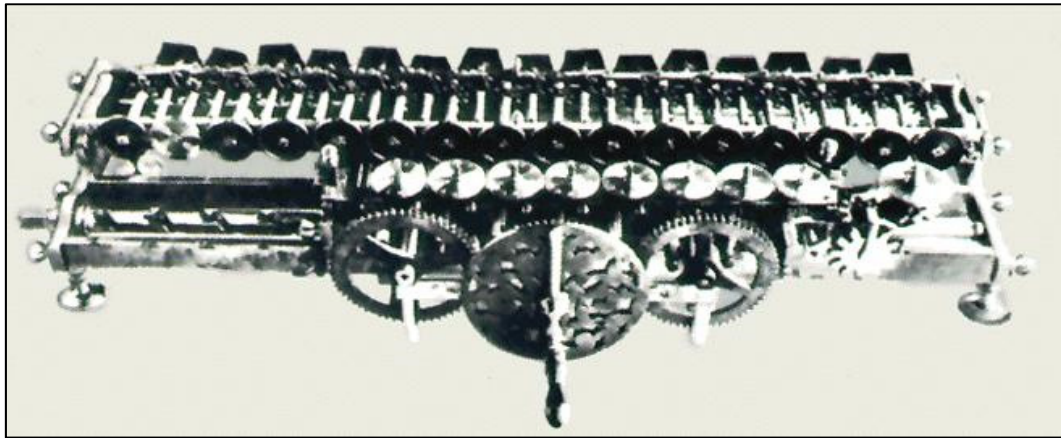


Εικόνα 4. Η στατιστική μηχανή του Χόλλεριθ³.

1.1.1.4 Η Μηχανή του Leibnitz

Η μηχανή του Λάιμπνιτς εκτελούσε και τις τέσσερις αριθμητικές πράξεις. Η πρόσθεση και η αφαίρεση γινόταν με τη βοήθεια αριθμημένων τροχών - όπως στην «*Pascaline*». Στην περίπτωση του πολλαπλασιασμού έμπαινε σε λειτουργία ένας επιπλέον τροχός, που καθόριζε τις επαναληπτικές προσθέσεις του πολλαπλασιασμού. Τέλος, όλο το σύστημα λειτουργούσε με τη βοήθεια μιας μανιβέλας (**Εικόνα 5**).

³ <https://www.noesis.edu.gr/%CE%B5%CF%80%CF%B9%CF%83%CF%84%CF%AE%CF%BC%CF%B7-%CE%BA%CF%B1%CF%B9-%CF%84%CF%B5%CF%87%CF%BD%CF%BF%CF%BB%CF%BF%CF%B3%CF%AF%CF%B1-%CF%85%CF%80%CF%BF%CF%BB%CF%BF%CF%B3%CF%B9%CF%83%CF%84%CF%AD%CF%82/%CF%84%CF%B5%CF%87%CF%BD%CF%BF%CF%BB%CF%BF%CF%B3%CF%AF%CF%B1-%CE%BC%CF%B7%CF%87%CF%B1%CF%BD%CF%AE-%CF%80%CF%B9%CF%BD%CF%AC%CF%BA%CF%89%CF%BD>, προσβάθηκε 8 Μαρτίου 2019



Εικόνα 5. Η μηχανή του Leibnitz⁴.

1.1.2 Η Πρώτη Γενιά των Η/Υ (1946-1958)

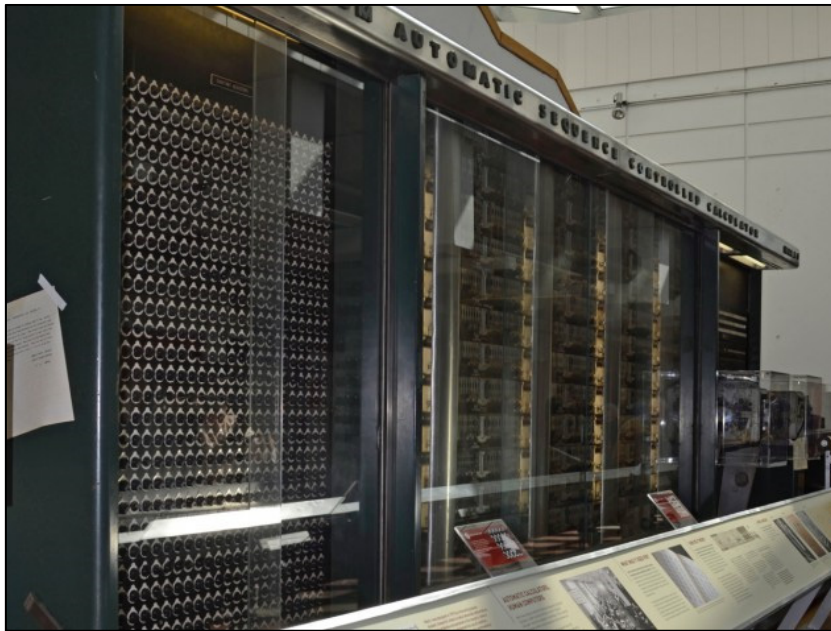
Οι ανάγκες του πολέμου (στα μέσα του 20ου αιώνα) για πολύπλοκους υπολογισμούς σε προβλήματα βαλλιστικής, μεταφοράς, διοίκησης και άλλα, κάνουν πιο επιτακτική την ανάγκη κατασκευής μιας ικανής υπολογιστικής μηχανής. Ο πρώτος υπολογιστής, ο Z3 του Γερμανού καθηγητή *Kornad Zuse*, κατασκευάστηκε το 1941 και λειτουργούσε κάτω από την επίβλεψη ενός εξωτερικού προγράμματος σε διάτρητη χαρτοταινία. Διέθετε μια μνήμη των 64 λέξεων με την χρήση 2600 ροδέλων και οι πράξεις γινόταν στο δυαδικό σύστημα με κινητή υποδιαστολή. Η μηχανή αυτή καταστράφηκε στον βομβαρδισμό του Βερολίνου το 1944.

1.1.2.1 *Mark I*

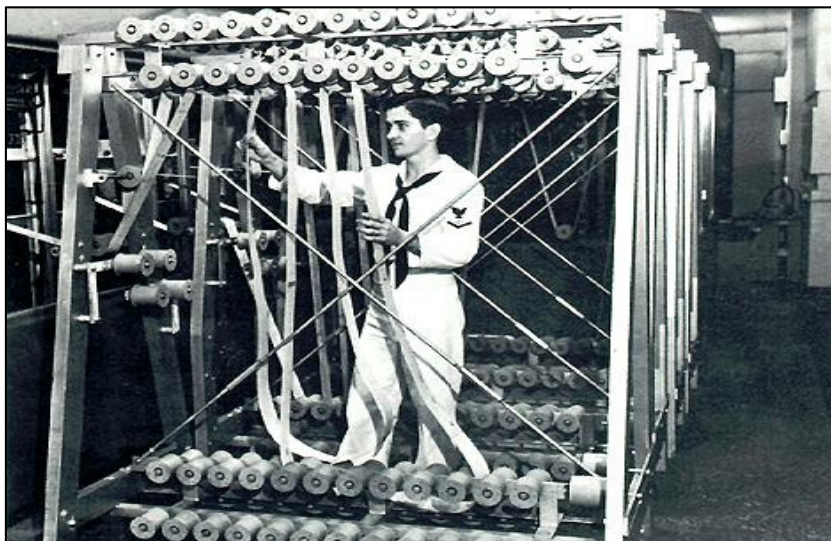
Την ίδια χρονιά από την άλλη πλευρά του Ατλαντικού, στο Harvard, γεννιόταν ο *Mark I* (Εικόνα 6). Ο *Mark I* ήταν προϊόν συνεργασίας του φυσικού *Howard Aiken* και της IBM (4). Ο υπολογιστής αυτός αν και ήταν μια τερατώδης μηχανή, που έκανε φοβερό θόρυβο και χαλούσε πολύ συχνά, λειτούργησε μέχρι το 1959, ενώ σήμερα εκτίθεται στο πανεπιστήμιο του Harvard. Η εξωτερική όψη του *Mark I* ήταν εντυπωσιακή: είχε ύψος 2.5m και μήκος 16m (κάλυπτε δηλ. επιφάνεια 40m² !) και για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν περίπου 1000000 διαφορετικά εξαρτήματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με καλώδια μήκους 1300km. Ζύγιζε 5 τόνους και κάθε μέρα χρειαζόταν μερικούς τόνους πάγου για να ψυχθεί. Ο *Mark I* ήταν η πρώτη υπολογιστική μηχανή με *καταχωρητές*, η οποία ελεγχόταν από πρόγραμμα που δίνονταν με τη βοήθεια διάτρητης ταινίας. Τα δεδομένα κωδικοποιούνταν με τη μορφή δεκαδικών αριθμών σε διάτρητες κάρτες IBM. Ο *Mark I*

⁴ <https://virtualmusiccomposer.wordpress.com/2009/12/22/idea-of-computers-i-leibniz%E2%80%99s-dream/>, προσβάστηκε 8 Μαρτίου 2019.

υλοποιήθηκε κατ' ουσία βάσει των σχεδίων του Μπάμπατζ (*Charles Babbage*, 1791-1871) και στηρίχθηκε στην ηλεκτρομηχανική τεχνολογία της εποχής⁵. Ο Άικεν κατασκεύασε άλλα τρία μοντέλα αυτού του τύπου, τους *Mark II*, *Mark III*, *Mark VI*.



Εικόνα 6. Ο H/Y Mark I⁶.



Εικόνα 7. Ο H/Y Mark I⁷.

Το Δεκέμβριο του 1950 άρχισε να λειτουργεί στο MIT ο *Χουίρλγουιντ*, ο οποίος αργότερα μπήκε σε μαζική παραγωγή και αποτέλεσε τη βάση του δικτύου *SAGE*.

⁵ <https://www.computerhistory.org/babbage/engines/>

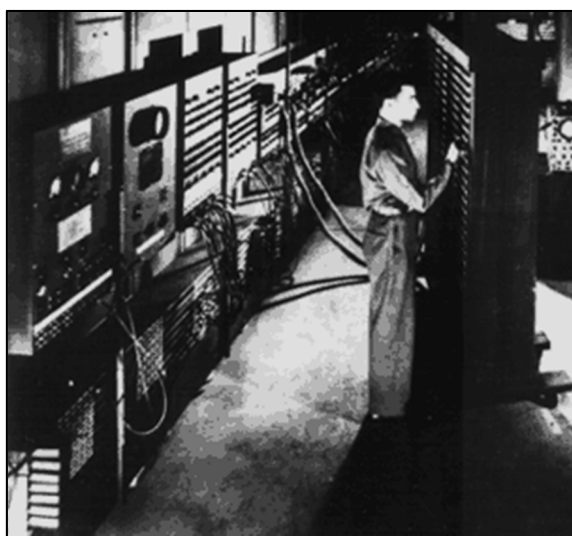
⁶ <https://harvardmagazine.com/2014/04/mark-i-rebooted>, προσβάστηκε 8 Μαρτίου 2019.

⁷ <https://harvardmagazine.com/2014/04/mark-i-rebooted>, προσβάστηκε 8 Μαρτίου 2019.

Το φθινόπωρο του 1951, η IBM προχώρησε στην κατασκευή των μεγάλων επιστημονικών υπολογιστών της σειράς 701 για στρατιωτικές χρήσεις. Λίγο αργότερα παρουσίασε τη σειρά 702, προορισμένη για πολιτικές εφαρμογές διοίκησης. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται και ο IBM 650, το πρώτο εμπορικό μοντέλο της IBM που πούλησε 1500 κομμάτια σε 15 χρόνια. Αξιοσημείωτη είναι η εγκατάσταση του πρώτου υπολογιστή στην Ελλάδα. Η Εθνική Τράπεζα της Ελλάδας εγκαθιστά το 1959 έναν IBM 650 ενώ μέχρι το τέλος του 1963 είχαν εγκατασταθεί συνολικά 6 υπολογιστές.

1.1.2.2 ENIAC

Το πρώτο πρότυπο μηχανήματος που μπορεί να χαρακτηριστεί ως πραγματικός ηλεκτρονικός υπολογιστής ήταν ο γενικής χρήσης υπολογιστής ABC που δημιουργήθηκε από την ανάγκη λύσης μεγάλων συστημάτων εξισώσεων. Ο υπολογιστής αυτός χρησιμοποιούσε ηλεκτρονικές λυχνίες κενού ως βασικό στοιχείο και δυαδικό σύστημα. Ήταν επινόηση των *John Vincent Atanasoff* και *Clifford Berry*. Το επόμενο βήμα ήταν ο ENIAC (*Electronic Numerical Intergrator And Calculator*) (**Εικόνα 8**). Η μηχανή αποτελούνταν από 19.000 τριόδους λυχνίες, κατανάλωνε ενέργεια της τάξης των 200KW, καταλάμβανε ένα χώρο 270 τ.μ. και ζύγιζε 30 τόνους. Ήταν 2.000 φορές πιο γρήγορος από τον *Mark I* επιτυγχάνοντας 300 πολλαπλασιασμούς ανά δευτερόλεπτο. Ο ENIAC είχε ένα σοβαρό μειονέκτημα, κάθε φορά που επρόκειτο να εκτελεστεί ένα διαφορετικό πρόγραμμα, έπρεπε ένα μεγάλο μέρος του να «ξηλωθεί» και να επανασυνδεθεί κατάλληλα, μια και οι εντολές του δεν φυλάσσονταν εσωτερικά, αλλά επιτυγχάνονταν με μεταβολές σε εξωτερικές καλωδιώσεις.



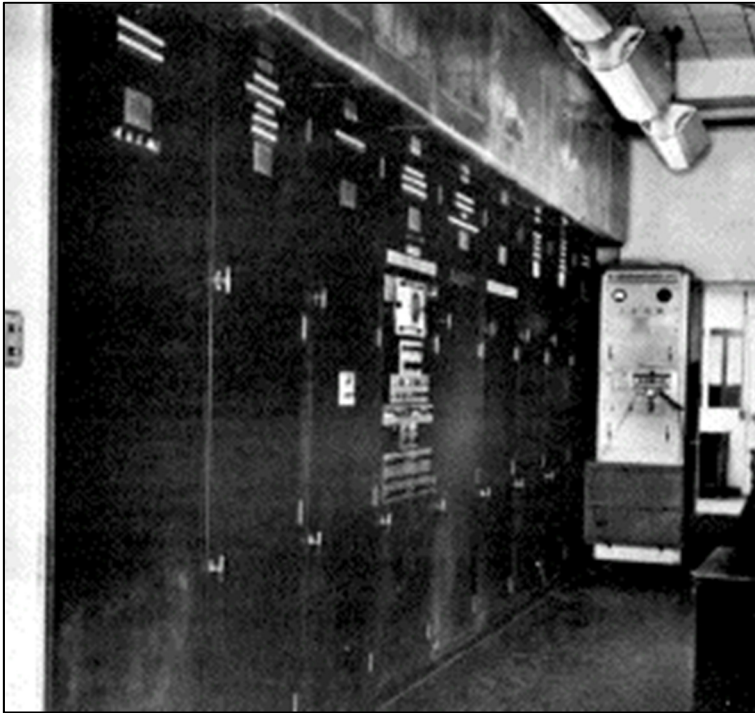
Εικόνα 8. Ο Η/Υ ENIAC⁸.

⁸ <http://www.computersciencelab.com/ComputerHistory/HistoryPt4.htm>

1.1.2.3 EDVAC

Ήταν φανερό ότι η εξέλιξη των μηχανών αυτών δεν ήταν σε καλό δρόμο και χρειαζόταν αναθεώρηση των βάσεων σχεδίασης για να γίνουν πιο ευέλικτες και γρήγορες. Αυτό το έκανε ο *John Von Neuman*, ο οποίος έθεσε τις βάσεις ενός νέου ηλεκτρονικού υπολογιστή, του EDVAC (**Εικόνα 9**), που ήταν οι εξής:

1. Θα χρησιμοποιηθεί μόνο η δυαδική αριθμητική.
2. Στην μνήμη θα αποθηκεύονται τα δεδομένα αλλά και το πρόγραμμα που θα εκτελεστεί.



Εικόνα 9. Ο Η/Υ EDVAC⁹.

Μετά τις δημοσιεύσεις του *Neuman*, πολλές ομάδες ερευνητών ξεκίνησαν έναν αγώνα δρόμου για την κατασκευή υπολογιστών βασισμένων στις παραπάνω αρχές. Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών ήταν να κατασκευαστούν μερικά σημαντικά υπολογιστικά συστήματα όπως οι EDVAC, EDSAC, UNIVAC-1, 701 IBM, 102D, D-100, GE-210, GAMMA 3. Ο πιο σημαντικός από τους υπολογιστές αυτούς ήταν ο UNIVAC-1 (**UNIV**ersal **A**utomatic **C**omputer) ο οποίος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν υπολογιστής σταθμός. Αυτό γιατί με την παραγωγή του στις αρχές της δεκαετίας του 50, σηματοδοτεί την εισαγωγή των υπολογιστών στην αγορά και κατ' επέκταση την εκκίνηση της ξέφρενης κούρσας που οδήγησε στην μεγάλη σημερινή ανάπτυξη των υπολογιστών. Επίσης, την περίοδο αυτή

⁹<http://www.eingang.org/Lecture/edvac.html>

κατασκευάστηκε το πρώτο τρανζίστορ (1947), που αποτέλεσε τη βάση για τους υπολογιστές της δεύτερης γενιάς.

1.1.2.4 NCR3000

Η NCR (National Cash Register Company) παρουσίασε μια ιδιαίτερα αξιόλογη δραστηριότητα στο χώρο των μηχανών γραφείου, από το 1895 που ιδρύθηκε. Σήμερα, είναι ένας από τους γνωστότερους κατασκευαστές υπολογιστών (**Εικόνα 10**). Η ηλεκτρομηχανική λογιστική μηχανή NCR 3000 παρουσιάστηκε στα μέσα της δεκαετίας του '40 και ακολουθούσε την τεχνολογία της εποχής της. Πολλά μηχανικά μέρη των λογιστικών μηχανών της προηγούμενης γενιάς είχαν πλέον αντικατασταθεί με ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες.



Εικόνα 10. Η λογιστική μηχανή NCR3000¹⁰.

1.1.2.5 Η Μηχανή Turing (1936)

Η μηχανή *Turing* (**Εικόνα 11**) αποτελεί το θεμέλιο της θεωρίας υπολογισμού και υπολογιστών. Ήταν μία εννοιολογική (θεωρητική) μηχανή, ένα μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού που περιέγραφε έναν υπολογιστή. Παρά την απλότητα του μοντέλου, μία

¹⁰<https://www.noesis.edu.gr/%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82/%CE%B5%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/n-cr-3000/>

μηχανή Turing είναι δυνατόν να κατασκευαστή ώστε να προσομοιώσει την λογική οποιουδήποτε αλγορίθμου.

Όλοι οι σημερινοί υπολογιστές στηρίζονται στην έννοια αυτής της μηχανής για αυτό και θεωρείται από πολλούς ο πατέρας της θεωρία υπολογισμού και γενικά της επιστήμης υπολογιστών¹¹.



Εικόνα 11. Ο Alan Turing¹².

Η μηχανή αυτή λειτουργεί με μία απείρου μήκους ταινία μνήμης διαχωρισμένη σε κελιά μνήμης. Η μηχανή τοποθετεί την κεφαλή της πάνω από ένα κελί και διαβάζει το σύμβολο εκεί. Στη συνέχεια έχει την δυνατότητα να κινηθεί η κεφαλή δεξιά, αριστερά καθώς και να αλλάξει το σύμβολο που διαβάζει εκεί, να εκτελέσει μία εντολή ή και να σταματήσει¹³. Στην θεωρία αυτομάτων αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο και έδωσε το έναυσμα για την ανάπτυξη θεωριών επιλυσιμότητας, καθώς υπήρξε η γέφυρα των μαθηματικών με την έννοια του υπολογιστή όπως την γνωρίζουμε σήμερα¹⁴ (**Εικόνα 12**).

1.1.3 Λυχνίες

Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της γενιάς υπολογιστών είναι η χρήση λυχνιών κενού. Ακόμη υπήρχαν οι μνήμες μαγνητικού τυμπάνου και μαγνητικού πυρήνα, όπως επίσης και λυχνίες *Williams*. Για τον προγραμματισμό χρησιμοποιούνταν η γλώσσα μηχανής (machine language).

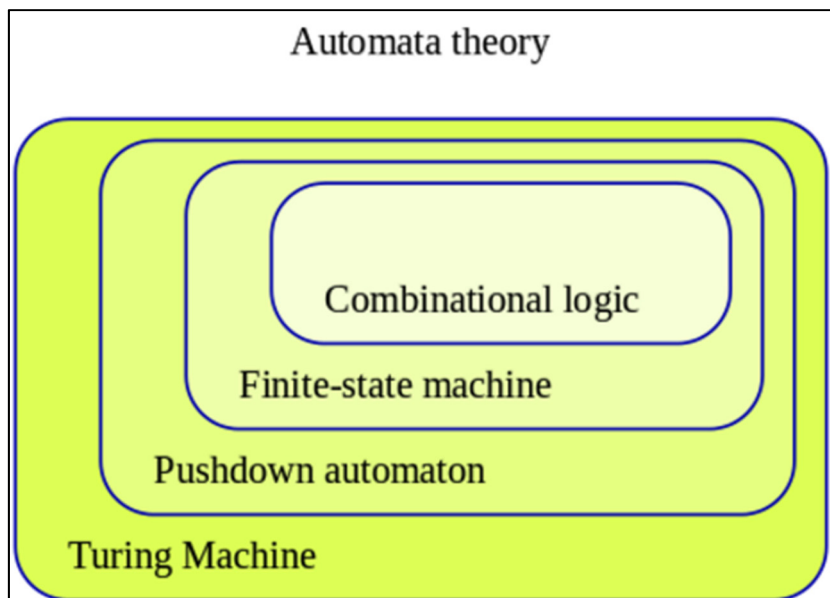
¹¹<http://www.computerhope.com/jargon/t/turnmach.htm>

¹²<http://cdn.mos.cms.futurecdn.net/daca50fd1567c1e9f28bb4e32cb6170d-970-80.jpg>
https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing

¹³https://en.wikipedia.org/wiki/Turing_machine

¹⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Automata_theory

Ο χρόνος πρόσθεσης ήταν κάτω από 1msec και η δυνατότητα αποθήκευσης από 250-1000 λέξεις. Οι περισσότεροι λειτουργούσαν με βάση το δυαδικό σύστημα αρίθμησης, με εξαίρεση τους UNIVAC και Manchester Mark-1.

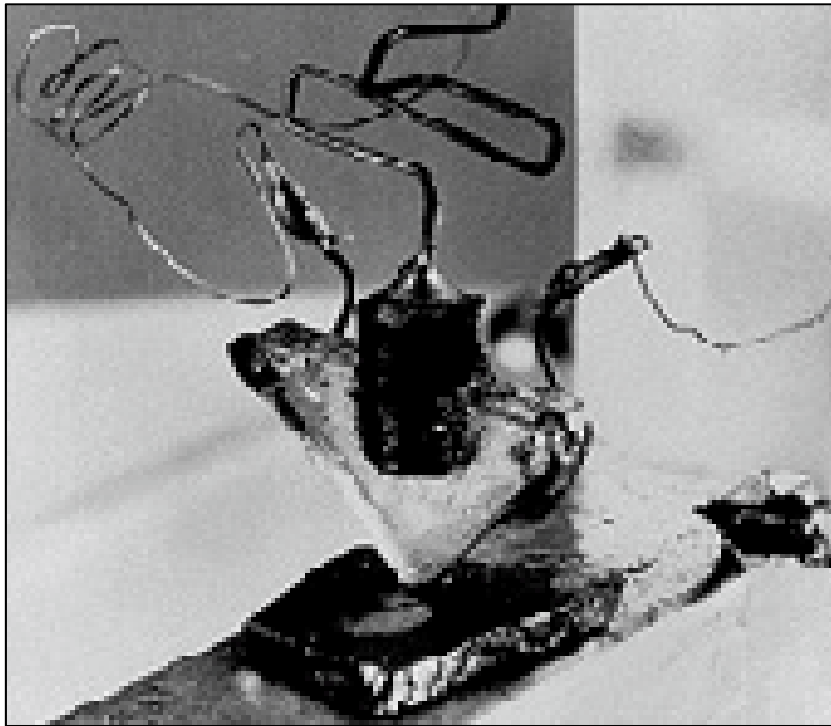


Εικόνα 12. Τάξεις των αυτομάτων¹⁵.

1.1.4 Τρανζίστορ (Transistor)

Το βασικό χαρακτηριστικό των υπολογιστών 2ης γενιάς ήταν η αντικατάσταση των δύσχρηστων λυχνιών από το τρανζίστορ (**Εικόνα 13**, **Εικόνα 14**). Τα πρώτα τρανζίστορ ήταν σημειακής επαφής: δύο σύρματα και μια σύνδεση της βάσης προσαρμόζονταν σε ένα κρύσταλλο γερμανίου, ο οποίος σφραγιζόταν με ειδικό περίβλημα. Το επόμενο βήμα, τα τρανζίστορ ζεύξης ήταν ένα είδος σάντουιτς με τρία στρώματα γερμανίου (*ημιαγωγός*), κλεισμένα σε μια μεταλλική θήκη ύψους 12,5 χιλιοστών. Τα τρία στρώματα καλούνται εκπομπός, βάση και συλλέκτης αντίστοιχα. Η λειτουργία του βασίζονταν στην κίνηση φορτίων μεταξύ των στρωμάτων του. Μετά από χρόνια αδιάκοπων βελτιώσεων παρουσιάστηκε το επίπεδο τρανζίστορ, ένα μικροσκοπικό εξάρτημα που χαράσσεται πάνω σε μια φέτα πυριτίου με μήκος μόλις 0.125 χιλιοστά, οι διαστάσεις του οποίου συνεχώς μικραίνουν από τότε. Με αυτή την τεχνολογία (του τρανζίστορ) δόθηκε ουσιαστικά η ώθηση για την περαιτέρω αλματώδη εξέλιξη της ηλεκτρονικής.

¹⁵<http://cdn.mos.cms.futurecdn.net/daca50fd1567c1e9f28bb4e32cb6170d-970-80.jpg>
https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing



Εικόνα 13. Το πρώτο τρανζίστορ (1947)¹⁶.



Εικόνα 14. Η συνδεσμολογία του πρώτου τρανζίστορ (1947)¹⁷.

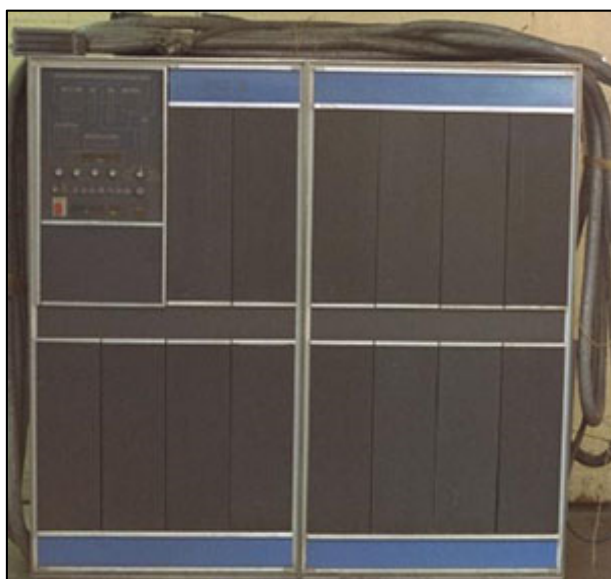
¹⁶<http://www.josepino.com/diy/making-homemade-transistors>

¹⁷<http://www.josepino.com/diy/making-homemade-transistors>

1.1.5 Η Δεύτερη Γενιά Η/Υ (1958-1964)

Η δεύτερη γενιά των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών χαρακτηρίζεται από την αντικατάσταση των τριόδων λυχνιών από τα τρανζίστορ. Η εισαγωγή του *τρανζίστορ* προσφέρει μια σημαντική μείωση του όγκου των μηχανών με ταυτόχρονη ελάττωση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αύξηση της ταχύτητας των υπολογισμών. Οι πρώτες μηχανές της εποχής αυτής ήταν η σειρά 1401 της IBM και η μηχανή GAMMA 60 της Bull (**Εικόνα 15**).

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο της 2ης γενιάς είναι η εμφάνιση των πρώτων γλωσσών υψηλού επιπέδου, για την συγγραφή προγραμμάτων εφαρμογών, εξέλιξη καθοριστικής σημασίας για τη γρήγορη διάδοση των Η/Υ. Το 1957 παρουσιάζεται από τον *John Backus* ο πρώτος μεταγλωττιστής της *Fortran* (5), ενώ λίγο αργότερα η γλώσσα *Cobol* (6). Πρέπει να σημειωθεί, ότι παράλληλα με την ανάπτυξη των συστημάτων 2ης γενιάς εμφανίστηκε και μια νέα βιομηχανία που βασίστηκε στην ιδέα της ολοκλήρωσης *τρανζίστορς* και άλλων στοιχείων, σε κυκλώματα που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν πάνω σε ένα μικτό τεμάχιο πυριτίου ή chip όπως και επικράτησε τελικά.



Εικόνα 15. Ο Η/Υ IBM 1401¹⁸.

Έτσι αν και κατά τη χρονική περίοδο της 2ης γενιάς σημειώθηκαν εμπορικές αποτυχίες, στην πραγματικότητα τέθηκαν οι τεχνικές βάσεις που επέτρεψαν την μετέπειτα, χωρίς προηγούμενο ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Επίσης, λόγω της εισαγωγής του τρανζίστορ, οι δυνατότητες των υπολογιστών της γενιάς αυτής έφτασαν σε ταχύτητα τις

¹⁸<https://histinf.blogs.upv.es/page/10/>

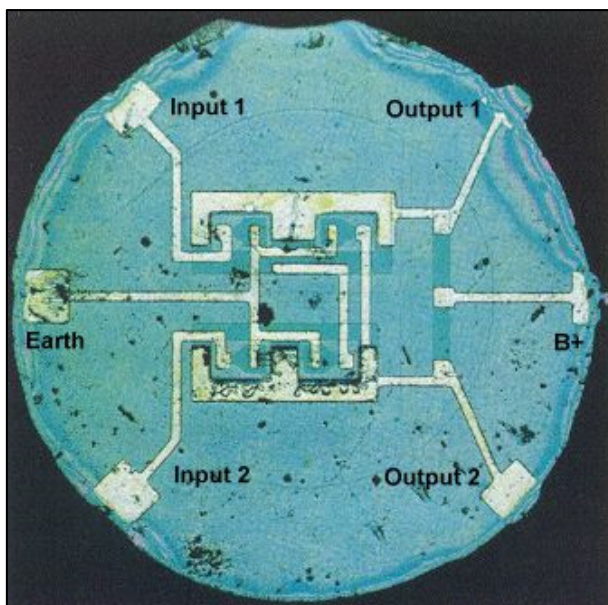
200.000 εντολές /δευτερόλεπτο και χωρητικότητα κεντρικής μνήμης 32.000 χαρακτήρες, που όμως αποτελούνταν από μαγνητικούς δακτυλίους.

1.1.6 Η Τρίτη Γενιά Η/Υ (1964-1971)

Η τρίτη γενιά των ηλεκτρονικών υπολογιστών χαρακτηρίζεται από τη μερική αντικατάσταση του τρανζίστορ και των άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων από τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. (Εικόνα 16). Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συγκεντρώνουν μέσα σε μια μικρή επιφάνεια της τάξεως του 1 cm² πάρα πολλά ηλεκτρονικά στοιχεία (τρανζίστορ, διόδους κ.λπ.).

Η είσοδος των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έδωσε νέες δυνατότητες στους κατασκευαστές, τέτοιες ώστε να χαρακτηριστεί σαν η επανάσταση στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η αρχή έγινε στις 7 Μαρτίου 1964 όταν η IBM παρουσίασε την σειρά 360 («υπολογιστής όλων των διευθύνσεων») (Εικόνα 17). Η παρουσίαση αυτή είχε δύο άμεσα αποτελέσματα:

1. Το ξεκίνημα μιας κούρσας μεταξύ των ανταγωνιστών για κάτι ανάλογο.
2. Τη συνειδητοποίηση του πραγματικού προβλήματος των υπολογιστών, του λογισμικού.



Εικόνα 16. Ένα από τα πρώτα ολοκληρωμένα κυκλώματα¹⁹.

¹⁹<https://www.chiphistory.org/83-first-monolithic-silicon-ic-chip>



Εικόνα 17. Ο IBM 360²⁰.

Ο IBM 360 ήταν ο πρώτος υπολογιστής, ο οποίος διέθετε «*λειτουργικό σύστημα*», ένα πρόγραμμα επόπτη, που ήταν επιφορτισμένο με το συγχρονισμό των διαφόρων οργάνων και την εκτέλεση των προγραμμάτων των χρηστών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του IBM 360 ήταν η εισαγωγή και χρήση των μαγνητικών δίσκων, γεγονός που χαρακτηρίζει επίσης την τρίτη γενιά των υπολογιστών. Την εποχή αυτή η CDC κατασκεύασε το μοντέλο 3600 και λίγο αργότερα το 6600 που ήταν ο ισχυρότερος υπολογιστής την περίοδο 60 - 75, ικανός να εκτελεί πολλά εκατομμύρια πράξεις το δευτερόλεπτο και χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε στρατιωτικές υπηρεσίες και την μετεωρολογία. Την περίοδο της τρίτης γενιάς εμφανίστηκαν και οι μίνι υπολογιστές σαν απάντηση στην ανάγκη για μικρότερους και φθηνότερους υπολογιστές, που ζητούσαν οι μικρότερες επιχειρήσεις. Την εποχή αυτή όμως παρουσιάζεται μεγάλη ανάπτυξη και στο λογισμικό (software). Αναπτύσσονται και βελτιώνονται οι γλώσσες υψηλού επιπέδου (Cobol, Algol, Fortran κλπ.) και ενσωματώνονται στα νέα λειτουργικά συστήματα. Επίσης αυτή την εποχή κάνει και την εμφάνιση σε πρακτική εφαρμογή η ιδέα του *καταμερισμού του χρόνου (timesharing)*, που είχε αρχικά αναπτυχθεί στο MIT. Με την βοήθεια αυτής της τεχνικής δίδεται στον κάθε χρήστη η ψευδαίσθηση ότι ο υπολογιστής ασχολείται συνέχεια μαζί του ενώ στην πραγματικότητα του δίδεται μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνολικού χρόνου, που όμως είναι αρκετό για τις δυνατότητες του υπολογιστή. Συμπερασματικά, οι μηχανές της τρίτης αυτής γενιάς έφτασαν τα πέντε εκατομμύρια εντολές το δευτερόλεπτο με κύριες μνήμες

²⁰http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/history/3_4_gen.html

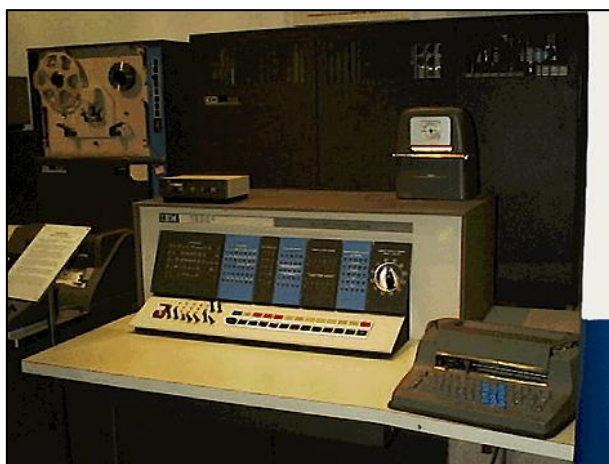
ημιαγωγών της τάξης των δύο εκατομμυρίων χαρακτήρων, ενώ έγινε αντιληπτή και η ανάγκη σοβαρής αντιμετώπισης της δημιουργίας προγραμμάτων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των πρώτων οίκων λογισμικού.

1.1.6.1 IBM 1620 II0

Ο IBM 1620 είναι ο πρώτος κεντρικός υπολογιστής (*Main-frame*) (**Εικόνα 18**) που εγκαταστάθηκε στη Βόρεια Ελλάδα και ο δεύτερος σε όλη την Ελλάδα. Εγκαταστάθηκε στη Φυσικομαθηματική Σχολή του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης το 1964. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της σχολής, όμως στη συνέχεια η χρήση του επεκτάθηκε και στις υπόλοιπες σχολές του Πανεπιστημίου. Ανήκει στη δεύτερη γενιά υπολογιστών. Για την είσοδο των στοιχείων του χρησιμοποιούνταν διάτρητα δελτία των 80 στηλών ή διάτρητες χαρτοταινίες. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούνταν για την επεξεργασία των δεδομένων του ήταν η FORTRAN.

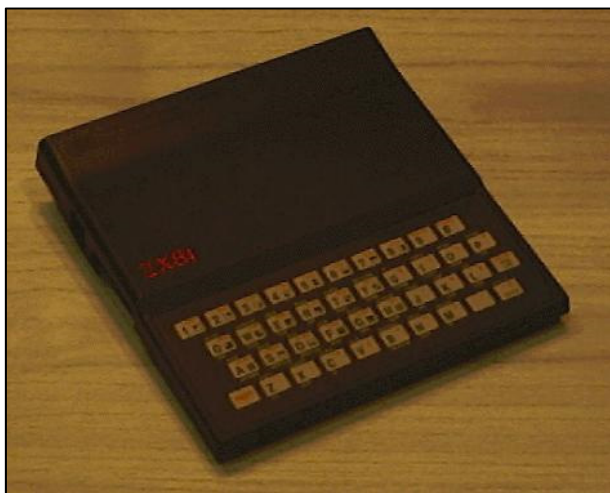
1.1.6.2 Sinclair ZX81

Ο *Sinclair ZX-81* είναι το δεύτερο μοντέλο που εισήγαγε η αγγλική εταιρεία Sinclair στην ευρωπαϊκή αγορά, στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (**Εικόνα 19**). Είναι μια υπολογιστική μηχανή στο μέγεθος ενός βιβλίου με μνήμη 1K (1024 Bytes), βασισμένη στην τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών. Αποτέλεσε τη βάση για τις μικρές - φορητές αριθμομηχανές. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονταν σε μια οθόνη μιας γραμμής αριθμητικού κειμένου που λειτουργούσε με LCD. Η τροφοδοσία εξασφαλιζόταν από κοινές ηλεκτροχημικές μπαταρίες ραδιοφώνου.



Εικόνα 18. Ο IBM 1620 II²¹.

²¹<https://www.noesis.edu.gr/%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF>



Εικόνα 19. Ο Sinclair ZX-81²².

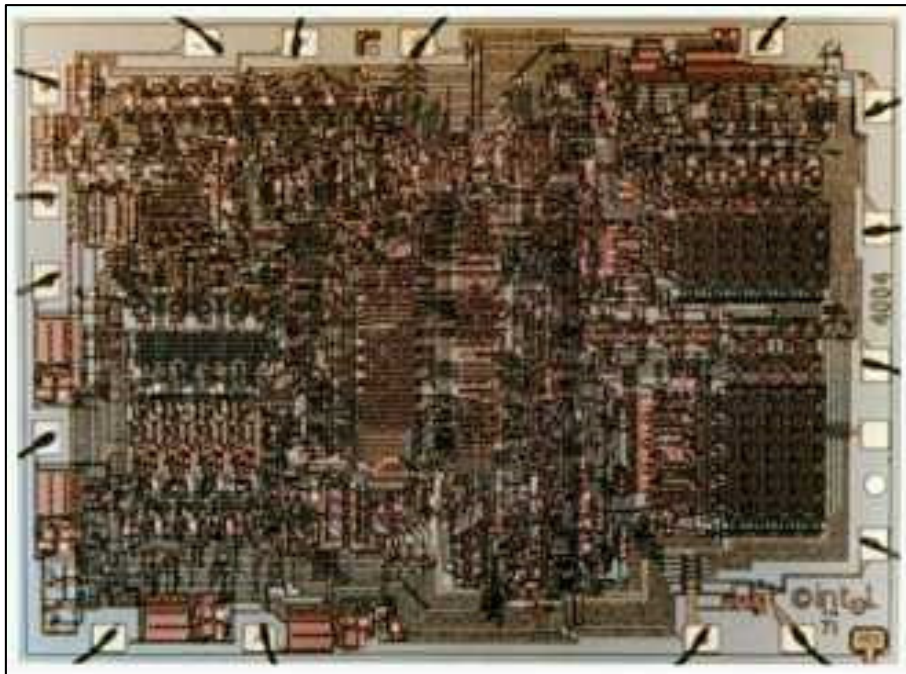
1.1.7 Η Τέταρτη Γενιά Η/Υ (1971-2010)

Η γενιά αυτή χαρακτηρίζεται από πολλές και σημαντικές εξελίξεις. Κατ' αρχήν από την κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων LSI (**L**arge **S**cale **I**ntegration) και VLSI (**V**ery **L**arge **S**cale **I**ntegration), κυκλωμάτων δηλαδή που ενσωματώνουν χιλιάδες ηλεκτρονικά στοιχεία σε επιφάνειες της τάξης του 1cm². Οι τεχνολογίες αυτές έχουν οδηγήσει σε μια άνευ προηγουμένου μείωση του όγκου και του κόστους και αύξηση της χωρητικότητας της μνήμης και της ταχύτητας των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της εποχής είναι η εισαγωγή της λεγόμενης παράλληλης επεξεργασίας που στην κυριολεξία "εκτοξεύει" την υπολογιστική ισχύ στα δισεκατομύρια πράξεις το δευτερόλεπτο. Αν και παλαιότερα η παράλληλη επεξεργασία αποτελούσε μονοπώλιο των υπερυπολογιστών, στις μέρες μας όλα σχεδόν τα μικρά συστήματα κάνουν χρήση παράλληλης επεξεργασίας, ανεβάζοντας κατακόρυφα την υπολογιστική τους ισχύ. Στις αρχές της περιόδου αυτής αναπτύσσεται στο κέντρο ερευνών της *Xerox* η ιδέα των *γραφικών περιβαλλόντων χρήση* (GUIs-Graphical User Interface). Σύμφωνα με αυτά, η επικοινωνία ανθρώπου μηχανής γίνεται ιδιαίτερα φιλική, μια και οι εντολές προς τον υπολογιστή δίδονται μέσω χειρισμού εικονιδίων, παραθύρων κλπ. Περιβάλλοντα, που ως γνωστών, σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Το πιο βασικό όμως χαρακτηριστικό της τέταρτης γενιάς είναι η τεράστια ανάπτυξη των μικροϋπολογιστών και ιδιαίτερα των προσωπικών υπολογιστών (*PCs-Personal Computers*). Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά την ιστορία των προσωπικών υπολογιστών.

[%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82/%CE%B5%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/hy-ibm-1620-ii/](http://retrocitiy.gr/ox_portfolio/our-sinclair-zx-81/)

²²http://retrocitiy.gr/ox_portfolio/our-sinclair-zx-81/

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην χρονική περίοδο της δεύτερης γενιάς των ηλεκτρονικών υπολογιστών άρχισε να υλοποιείται η ιδέα της ολοκλήρωσης τρανζίστορ και άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων σε κυκλώματα που θα μπορούσαν να χωρέσουν σε ένα μικρό τεμάχιο πυριτίου (chip). Η ιδέα αυτή αποδείχτηκε ιδιαίτερα επιτυχημένη, με αποτέλεσμα από το 1965 και μετά να παρατηρείται κάθε χρόνο διπλασιασμός των ηλεκτρονικών στοιχείων που μπορούσαν να χωρέσουν σε ένα chip (νόμος του Moore). Η πρόοδος αυτή γρήγορα οδήγησε στο εξάρτημα που μπορούμε να πούμε ότι άλλαξε πολλά πράγματα στον κόσμο: το μικροεπεξεργαστή (microprocessor), την καρδιά δηλαδή του υπολογιστή σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ένας πλήρης υπολογιστής μπορεί να κατασκευαστεί από ένα μικροεπεξεργαστή, μια μνήμη και μερικά άλλα κυκλώματα υποστήριξης. Η ιστορία του μικροεπεξεργαστή φτάνει πίσω γύρω στο 1969, όταν οι μηχανικοί *Victor Poor* και *Harry Pyle* της εταιρίας *Datapoint* ανέπτυξαν ένα πρώτο μοντέλο. Η ανάπτυξη του μοντέλου αυτού, επινοήθηκε σαν εναλλακτική λύση στην κατασκευή υπολογιστών ειδικής χρήσης. Επειδή η *Datapoint* δεν κατασκεύαζε ηλεκτρονικά στοιχεία οι δύο μηχανικοί μετέφεραν το μοντέλο τους στην IBM. Έτσι γεννήθηκε ο πρώτος μικροεπεξεργαστής, ο ιστορικός 4004 της Intel (**Εικόνα 20**).

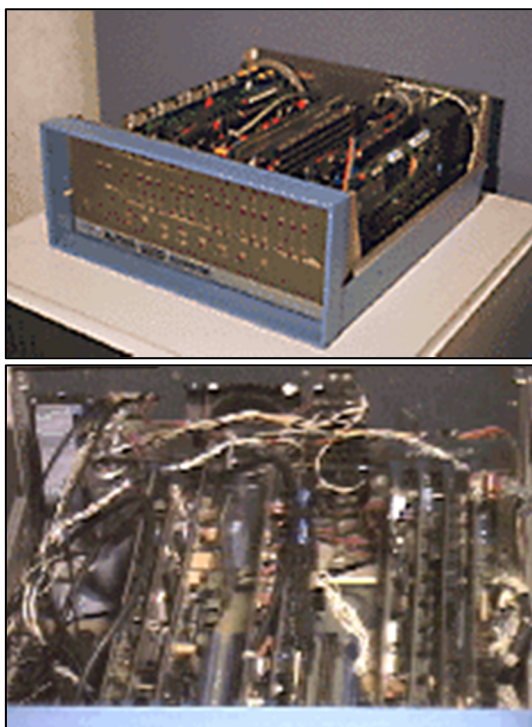


Εικόνα 20. Ο Η/Υ 4004 της Intel²³.

²³<https://www.extremetech.com/computing/105029-intel-4004-the-first-cpu-is-40-years-old-today>

Ο 4004 ήταν πολύ περιορισμένων δυνατοτήτων, αλλά ακολούθησε ισχυρότερος 8008 το 1971 και ο 8080 το 1974 που από πολλούς θεωρείται σαν ο "προπομπός" των προσωπικών υπολογιστών. Οι πρώτοι υπολογιστές βασισμένοι σε μικροεπεξεργαστές, που καταγράφηκαν στην ιστορία, είναι ο *Sceibi-8H* και ο *Altair 8800* (Εικόνα 21). Οι υπολογιστές αυτοί μαζί με την ταυτόχρονη ανάπτυξη εκ μέρους των *Bill Gates* και *Paul Allen* ενός διερμηνευτή της γλώσσας *Basic* για τους μικροεπεξεργαστές της Intel, θεωρείται από πολλούς σαν «η ανάφλεξη της έκρηξης των προσωπικών υπολογιστών». Στην εποχή αυτή κάνουν τα πρώτα τους βήματα και τα λεγόμενα "πακέτα" εφαρμογών για τους προσωπικούς υπολογιστές. Ένα από τα πρώτα ιστορικά προϊόντα είναι το *VisiCalc* (1978) το οποίο ήταν ένα πακέτο λογιστικού φύλλου και συνόδευε τον προσωπικό υπολογιστή *Apple II*.

Με την άφιξη της δεκαετίας του '80, εμφανίστηκαν στην αγορά πολλά επιπλέον αξιόλογα μηχανήματα, η επιτυχία των οποίων ανάγκασε την IBM να εισβάλει στον χώρο παραγωγής προσωπικών υπολογιστών. Η είσοδος της IBM καθιέρωσε κάποια πρότυπα στο χώρο, γεγονός που οδήγησε στην τεράστια ανάπτυξη και εξέλιξη των προσωπικών υπολογιστών. Το 1984 γίνεται η είσοδος στην αγορά του *Apple Macintosh*, ο οποίος εισήγαγε, στο χαμηλού κόστους χώρο των προσωπικών υπολογιστών, τον πολύ φιλικό τρόπο επικοινωνίας ανθρώπου μηχανής με την χρήση εικονιδίων και παραθύρων διαλόγου.



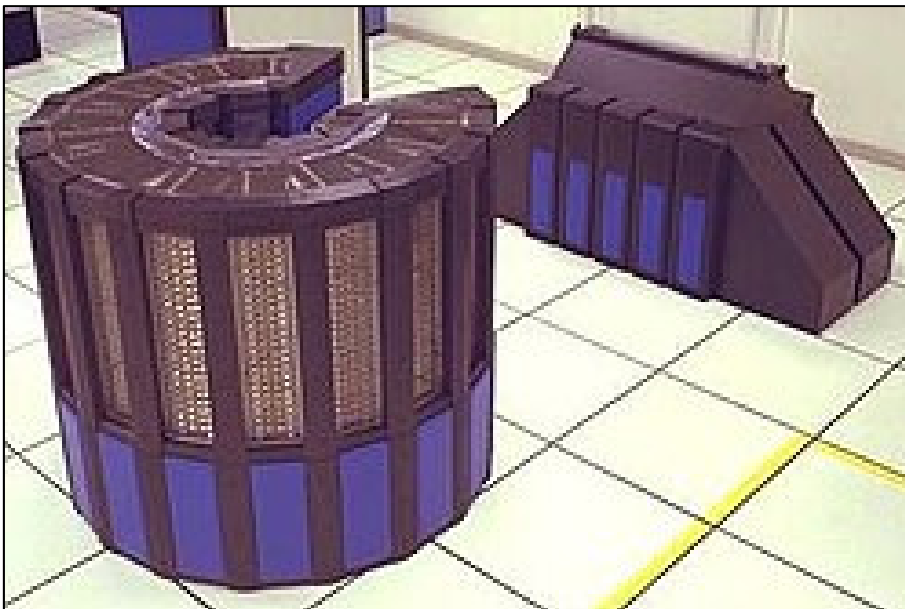
Εικόνα 21. Ο Η/Υ 8008 (επάνω) και το εσωτερικό του (κάτω)²⁴.

²⁴<https://www.extremetech.com/computing/105029-intel-4004-the-first-cpu-is-40-years-old-today>

1.1.8 Οι Μεγάλοι Υπολογιστές

Ο μεγάλος υπολογιστής κοινής χρήσης (mainframe computer) είναι ένα ισχυρότατο μηχάνημα για πολλούς χρήστες, σχεδιασμένο να χειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων στην είσοδο, την έξοδο και με μεγάλη βοηθητική μνήμη. Χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση επιχειρηματικών εφαρμογών και για μεγάλες βάσεις δεδομένων που χρειάζονται συχνή πρόσβαση (**Εικόνα 22**).

Οι χρήστες επικοινωνούν με το μεγάλο υπολογιστή μέσω των τερματικών διατάξεων. Παλαιότερα, οι μεγάλοι υπολογιστές καταλάμβαναν ολόκληρα δωμάτια και τοποθετούνταν μέσα σε κλιματιζόμενα γυάλινα γραφεία για να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία. Σήμερα, ένας μεγάλος υπολογιστής μοιάζει με σειρά ντουλαπιών αρχειοθέτησης, εξακολουθεί όμως να έχει την ανάγκη κλιματισμού.



Εικόνα 22. Ο H/Y Cray Supercomputer²⁵.

Αν ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται και εξελίσσεται η συγκεκριμένη τεχνολογία, τίθεται σαν σημείο μετάβασης το 2010, διότι σηματοδοτεί την άνθηση των υπολογιστών 5^{ης} γενιάς που αφορούν τεράστιο υπολογιστικό όγκο και τεχνητή νοημοσύνη. Ο μεγαλύτερος παράγοντας εξέλιξης στον οποίο οφείλεται η μετάβαση στην γενιά αυτή, είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας υπολογιστών με πρωταγωνιστή την εταιρεία Intel. Αυτή με την ανάπτυξη του Intel 4004, στον οποίο υπήρχαν όλα τα στοιχεία υπολογιστή (CPU, μνήμη, ελεγκτές

²⁵<https://en.wikipedia.org/wiki/Cray>

εισόδου/εξόδου) σε ένα μόνο chip. Υπολογιστές που καταλάμβαναν χώρο ενός δωματίου το 1940 τώρα μπορούν να χωρέσουν στην παλάμη ενός χεριού (Εικόνα 23, Εικόνα 24).



Εικόνα 23. Desktop και Laptop της δεκαετίας του 1980.



Εικόνα 24. Desktop και Laptop της δεκαετίας του 1990.

Κατά αυτήν την περίοδο υπάρχει ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστών τόσο για οικιακή χρήση, όσο και ως εργαλείο σε κάθε επιχείρηση, με εφαρμογές όπως η ψυχαγωγία, η εκπαίδευση, η επίλυση προβλημάτων αλλά και η αρχειοθέτηση και η χρήση εφαρμογών γραφείου. Σε αυτή την περίοδο ο υπολογιστής εισβάλλει κυριολεκτικά σε κάθε κομμάτι της ζωής του ανθρώπου, με μικροϋπολογιστές να τείνουν να χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε ηλεκτρονική εφαρμογή, μικρής (π.χ. ένα ηλεκτρονικό αυτόματο παιχνίδι, ένας υπολογιστής τσέπης, mp3 players, αυτόματη μηχανή καφέ, ηλεκτρονικές κάρτες χρήματος, κινητά τηλέφωνα κ.α.) ή και μεγάλης κλίμακας (ρομποτ παραγωγής, συστήματα αυτομάτου ελέγχου πυραυλων, βιοϊατρικά εργαλεία, συστήματα ελέγχου ηλεκτροδότησης πόλεων κ.α.), εισάγοντας όρους όπως το ενσωματωμένο σύστημα και ο υπερυπολογιστής (super computer) (**Εικόνα 25**).

Το επόμενο βήμα λόγω αυτής της ραγδαίας εξέλιξης ήταν η δικτυοποίηση, κάνοντας την υπολογιστική ισχύ ενός συστήματος ακόμα μεγαλύτερη και μεταφέροντας τον κόσμο σε ένα φοβερό επίπεδο διαμοιρασμού της πληροφορίας αλλά και δυνατότητα μόρφωσης και επίλυσης προβλημάτων που χωρίς τους υπολογιστές αυτής της γενιάς θα ήταν αδύνατο. Η επιστήμη, η τεχνολογία, η υγεία και η μόρφωση παίρνουν σε άλλο επίπεδο, ενώ νέοι όροι όπως η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) και η επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality) αποτελούν αντικείμενο μελέτης αλλά και εφαρμογής. Δυνατοί υπολογιστές χειρός, δορυφορικά συστήματα, υπολογιστές πλοήγησης (GPS) αλλά και η έννοια του smartphone κάνουν την εμφάνισή τους, χωρίς η λίστα που σχετίζεται με εφαρμογές υπολογιστών να σταματά.

1.1.9 Η Πέμπτη Γενιά Η/Υ, Τεχνητή Νοημοσύνη (2010-Σήμερα)

Πλέον οι υπολογιστές έχουν περάσει σε ένα φοβερό επίπεδο υπολογιστικής ισχύος, ενώ παράλληλα οι επιστήμες που μπορεί να σχετίζονται με αυτούς αναπτύσσονται ραγδαία. Έννοιες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (7), η μηχανική μάθηση, τα τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (8) και η επαυξημένη πραγματικότητα αποτελούν ένα μόνο μέρος του εύρους της εξέλιξης που συνεπάγεται η ύπαρξη αυτής της γενιάς.

Η δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας τεράστιου όγκου δεδομένων σε συνδυασμό με αυτήν την μεγάλη υπολογιστική ισχύ, όχι μόνο έχει αλλάξει τον τρόπο ζωής στις εξελιγμένες χώρες, παρέχοντας ένα φοβερό εργαλείο στην τεχνολογία, την έρευνα και τις επιστήμες γενικότερα, αλλά έχει δώσει την δυνατότητα προσομοίωσης της ευφυΐας σε τέτοιο βαθμό που τίθενται ερωτήματα περί συνείδησης, τόσο στα επιστημονικά φόρα, όσο

και στις ταινίες επιστημονικής φαντασίας, καλύπτοντας σενάρια που δεν φαίνονται πια και τόσο εξωπραγματικά.



Εικόνα 25. Συσκευές βασισμένες στην 4^η γενιά υπολογιστών.

Σήμερα χρησιμοποιούνται ήδη εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης γενικότερα, όπως αυτή της αναγνώρισης φωνής και μελωδίας, της πρόβλεψης αποτελεσμάτων αναζήτησης στο διαδίκτυο²⁶, της κρυπτογραφίας²⁷, της ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων (big data analysis) και της όρασης υπολογιστών²⁸ (9).

Πλέον συζητούμε για υπερυπολογιστές χιλιάδων ή και εκατομμυρίων πυρήνων, για μεγέθη transistors που έχουν φτάσει σε επίπεδο που τα άτομα και τα μόρια είναι συγκρίσιμων

²⁶<http://searchengineland.com/meet-rankbrain-google-search-results-234386>

²⁷<http://arstechnica.com/information-technology/2016/10/google-ai-neural-network-cryptography/>

²⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision

μεγεθών (1nm), αλλά και για κβαντικούς υπολογιστές, μοριακή και νανοτεχνολογία. Η ουσία της γενιάς των υπολογιστών αυτών είναι η δημιουργία μηχανών που να μπορούν να επεξεργαστούν και να αποκριθούν στην φυσική γλώσσα, να αποκτήσουν γνώση μετά από στάδια εκπαίδευσης (ή και να επιλέξουν την γνώση που χρειάζονται), να οργανώσουν τον εαυτό τους και πολλά άλλα²⁹.

Αξίζει να σημειωθεί πως το 2013 η ανθρωπότητα έσπασε το φράγμα του ενός εκατομμυρίου υπολογιστικών πυρήνων σε υπερυπολογιστή³⁰, ενώ το 2016 ξεπέρασε τα 10 εκατομμύρια πυρήνες, με αντίστοιχο RMax στα 93.014 PFlop/s (PFlop/s= 10^{15} floating-point operations per second—πράξεις αριθμών κινητής υποδιαστολής ανά δευτερόλεπτο³¹).

Αξίζει τέλος να σημειωθεί πως σήμερα περισσότερο από το 40% του ανθρώπινου πληθυσμού έχει σύνδεση στο Internet, με 3.5 δισεκατομμύρια χρήστες. Το 1995 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν στο 1%, ενώ το πρώτο δισεκατομμύριο χρηστών επήλθε το 2005. Το δεύτερο δισεκατομμύριο το 2010, ενώ το τρίτο δισεκατομμύριο το 2014. Σήμερα το 48% των χρηστών αυτών βρίσκεται στην Ασία, το 22% στην Αμερική, το 19% στην Ευρώπη, το 10% στην Αφρική και το 1% στην Ωκεανία.

²⁹<http://btob.co.nz/features/five-generations-computers/>

³⁰<https://www.extremetech.com/extreme/146967-stanford-breaks-million-core-supercomputing-barrier2>

³¹<https://en.wikipedia.org/wiki/FLOPS>

2. PENTIUMS

Η σειρά επεξεργαστών Pentium που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική αυτή ήταν Pentium II, III, και IV. Οι πρώτοι 2 ακολουθούσαν την μικροαρχιτεκτονική γενιάς P6 (Πίνακας 1) ενώ ο Pentium IV την μικροαρχιτεκτονική γενιάς NetBurst (7^{ης} γενιάς) (Πίνακας 2). Παρακάτω εξηγούνται περαιτέρω οι γενιές αυτές.

ARCHITECTURE	P6
L1 CACHE	32 KB
L2 CACHE	128 KB to 512 KB 256 KB to 2048 KB (Xeon)
MODEL	Celeron Series
CREATED	November 1, 1995
TRANSISTORS	7.5M 350 nm
INSTRUCTIONS	MMX
EXTENSIONS	SSE
SOCKET(S)	Socket 370 Socket 479
PREDECESSOR	P5
SUCCESSOR	NetBurst

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της 6^{ης} γενιάς επεξεργαστών P6.

ARCHITECTURE	NETBURST X86
L1 CACHE	8 KB to 16 KB per core
L2 CACHE	128 KB to 2048 KB 256 KB to 2048 KB (Xeon)
L3 CACHE	4 MB to 16 MB shared
MODEL	Celeron Series
CREATED	November 20, 2000
TRANSISTORS	42M 180 nm (B2, C1, D0, E0)
INSTRUCTIONS	MMX
EXTENSIONS	x86-64, Intel 64 SSE, SSE2, SSE3, SSSE3
SOCKET(S)	Socket 423 Socket 478 Socket 603 Socket 604 LGA 771 LGA 775
PREDECESSOR	P6
SUCCESSOR	Intel Core

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της 7^{ης} γενιάς επεξεργαστών x86.

2.1. Pentium 2 (Intel Pentium II)

Ο επεξεργαστής που Intel Pentium II στηρίχθηκε στην έκτη γενιά μικροαρχιτεκτονικής της Intel P6 και βγήκε στην αγορά τον Μάιο του 1997³². Περιέχει 7.5 εκατομμύρια τρανζίστορ και αποτέλεσε μία βελτιωμένη έκδοση της αρχικής Pentium Pro (5.5 εκατομμύρια τρανζίστορ) όσον αφορά την γενιά P6. Παρόλα αυτά η L2 Cache ήταν υποδεέστερη έναντι αυτής του Pentium Pro. Στις αρχές του 1999 αντικαταστάθηκε από τον σχεδόν πανομοιότυπο Pentium III, στο οποίο κυρίως προστέθηκαν εντολές SSE στον επεξεργαστή³³ (Πίνακας 3).

Το 1998 η Intel διαχώρισε την οικογένεια Pentium II βγάζοντας στην αγορά τον την γραμμή επεξεργαστών Celeron, επεξεργαστής στηριγμένος στον Pentium II και κατευθυνόμενος σε θέσης εργασίας χαμηλών επιδόσεων, καθώς επίσης και την γραμμή επεξεργαστών Pentium II Xeon ο οποίος απευθυνόταν σε θέσεις εργασίας υψηλών επιδόσεων και σε servers.

INTEL PENTIUM II ARCHITECTURE P6	
ΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	1997 – 1999
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΡΟΛΟΓΙΟΥ	233 MHz – 450 MHz
FSB SPEEDS	66MHz – 100MHz
ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΡΑΝΣΙΣΤΟΡ	0.35 μm – 0.18 μm
ΣΥΝΟΛΟ ΕΝΤΟΛΩΝ	IA-32, MMX
ΜΙΚΡΟΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	P6
ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	1
SOCKETS	Slot 1 MMC-1 MMC-2 Mini-Cartridge PPGA-B615 (μPGA1)
ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΣ	Pentium, Pentium Pro
ΔΙΑΔΟΧΟΣ	Pentium III
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ	Klamath Deschutes Tonga Dixon

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά των Pentium 2.

Ο Pentium II στηρίχθηκε όσον αφορά την μικροαρχιτεκτονική του κυρίως στον προκάτοχό του Pentium Pro, με μερικές όμως σημαντικές βελτιώσεις. Αντίθετα από τους προκάτοχους

³²https://en.wikipedia.org/wiki/Pentium_II

³³https://en.wikipedia.org/wiki/Streaming_SIMD_Extensions

του, ο επεξεργαστής Pentium II ήταν συσκευασμένος σε μία μονάδα στηριγμένη σε τύπου slot σύνδεση³⁴ παρά σε σύνδεση υποδοχής CPU³⁵ (Εικόνα 26). Ο επεξεργαστής και τα εξαρτήματά του βρίσκονταν σε μία κάρτα (daughterboard³⁶) παρόμοια με μία τυπική κάρτα επέκτασης. Από την μία μεριά βρισκόταν μία ψύκτρα συνοδευόμενη συνήθως από ανεμιστηράκι.



Εικόνα 26. Ο επεξεργαστής Pentium 2³⁷.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η CPU να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο, συμβιβασμός όμως ο οποίος επέτρεπε τον διαχωρισμό της δευτερεύουσας Cache μνήμης (L2) από τον επεξεργαστή, ενώ ταυτόχρονα βρισκόταν συνδεδεμένη με τον επεξεργαστή με τον κοντινό (γρήγορο) back-side bus³⁸. Η L2 Cache μνήμη λειτουργούσε στην μισή συχνότητα συγκριτικά με εκείνη του ρολογιού του επεξεργαστή, σε αντίθεση με τον προκάτοχο

³⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Slot_1

³⁵https://en.wikipedia.org/wiki/CPU_socket

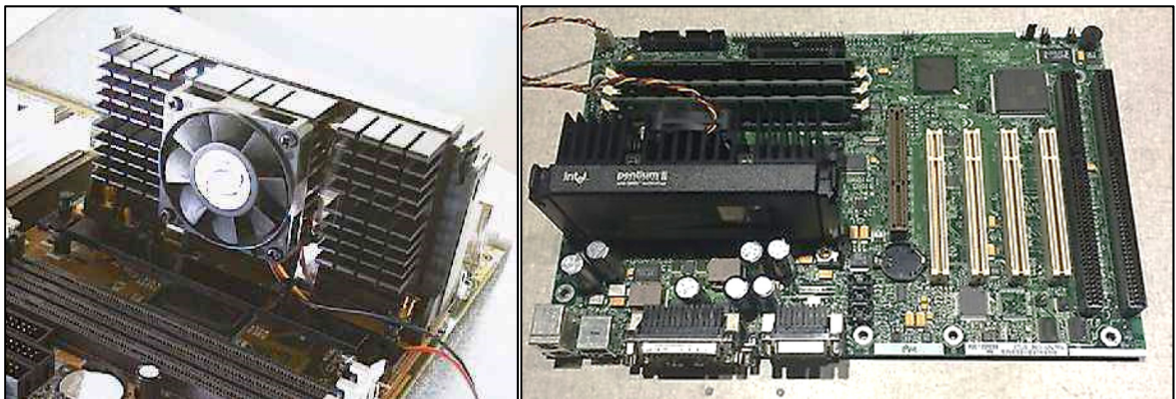
³⁶<https://en.wikipedia.org/wiki/Daughterboard>

³⁷https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pentium_II.jpg

³⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Back-side_bus

Pentium Pro όπου η L2 λειτουργούσε στην ίδια συχνότητα. Παρόλα αυτά έγινε αύξηση του μεγέθους της Cache από 256KB σε 512KB. Η απομάκρυνση της L2 χωρικά έδωσε την δυνατότητα επίλυσης θεμάτων χαμηλής επίδοσης του Pentium Pro, επιτρέποντας στην Intel να βάλει στην αγορά τον Pentium II σε λογικά επίπεδα τιμών. Ταυτόχρονα με αυτόν τον τρόπο κατάφερε η Intel να βγάλει διαφορετικές εκδόσεις με διαφορετικού τύπου L2 Cache, απευθυνόμενη σε πελάτες με διαφορετικές απαιτήσεις σε επιδόσεις και διαφορετικά κόστη.

Στο μοντέλο αυτό βελτιώθηκε η επίδοση σε εκτέλεση κώδικα 16-bit, τομέας στον οποίο υστερούσε ο Pentium Pro. Αυτό επιτεύχθηκε με την προσθήκη Segment Register Caches³⁹. Η πλειονότητα του λογισμικού της εποχής χρησιμοποιούσε ακόμη κώδικα 16-bit για διάφορους λόγους. Ο Pentium II είχε 32KB L1 Cache, διπλάσια από εκείνη του Pentium Pro, καθώς και βαθύτερους buffers εγγραφής, βελτιώνοντας έτσι κατά λίγο την επίδοση της L1. Ο Pentium II ήταν ο πρώτος επεξεργαστής P6 που υλοποιούσε το σύνολο εντολών Intel MMX integer SIMD, το οποίο είχε εισηχθεί στον Pentium MMX (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Ο επεξεργαστής Pentium 2 τοποθετημένος σε μητρική κάρτα⁴⁰.

Ο Pentium II απευθυνόταν σε ευρύτερου κοινού πωλήσεις από τον προκάτοχό του Pentium Pro. Ήταν φθηνότερος όσον αφορά το κόστος παραγωγής εξαιτίας της ξεχωριστής μα πιο αργής L2 Cache μνήμης. Η βελτιωμένη επίδοσή του σε 16-bit κώδικα και η υποστήριξή του σε MMX το καθιστούσε καλύτερη επιλογή για λειτουργικά συστήματα που αφορούσαν σε κοινούς χρήστες, όπως τα Windows 9x, και για εφαρμογές multimedia. Σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη L1 Cache και την βελτιωμένη επίδοση σε κώδικα 16-bit, το αντίκτυπο της πιο αργής και φθηνής L2 cache απορροφήθηκε. Οι γενικές επιδόσεις του επεξεργαστή αυξήθηκαν ενώ παράλληλα τα κόστη μειώθηκαν.

³⁹<http://www.rcollins.org/ddj/Aug98/Aug98.html>

⁴⁰<http://www.karbosguide.com/images/u1877.jpg>

Η παραλλαγή *Klamath* και μερικές από τις πρώιμες *Deschutes* του Pentium II χρησιμοποιούσαν ένα chip συνδυασμού ελεγκτή κρυφής μνήμης L2 / tag RAM (κύκλωμα αποθήκευσης του εαν/ποιες διευθύνσεις της μνήμης βρίσκονται αποθηκευμένες στην Cache) το οποίο επιτρέπει μόνο 512MB να αποθηκευτούν στην Cache⁴¹. Καθώς όμως θεωρητικά η RAM θα μπορούσε να αναβαθμιστεί σε μεγαλύτερη χωρητικότητα, αυτό θα προκαλούσε πολύ αργές επιδόσεις. Παρότι αυτός ο περιορισμός ήταν πρακτικά άσχετος με τον μέσο χρήστη (μη επαγγελματία, χρήστης στο σπίτι), μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα σε χρήστες server. Πιθανώς η Intel έθεσε αυτόν τον περιορισμό επίτηδες ώστε να διαχωρίσει τον Pentium II από την γραμμή Pentium Pro, η οποία έχει μία πλήρως cacheable χωρητικότητα 4GB. Η ανακατασκευή του chip με κωδικό 82459AD σε μερικούς 333 MHz και όλους τους 350 MHz και γρηγορότερους Pentium II έλυσε αυτόν τον περιορισμό αποτρέποντας το «cachάρισμα» όλων των 4GB μνήμης.

Παρακάτω βλέπουμε τις διάφορες παραλλαγές επεξεργαστών Penitum II με τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία, τόσο σε desktop (**Πίνακας 4**) όσο και σε mobile συστήματα (**Πίνακας 5**).

PENTIUM II-DESKTOP					
Klamath		DESHUTES (80523)		Deschutes (Pentium II Overdrive)	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)	L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)	L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	512 KB, as external chips on the CPU module clocked at half the CPU frequency	L2 cache	512 KB, as external chips on the CPU module clocked at half the CPU frequency	L2 cache	512 KB external chip on CPU module running at 100% of CPU speed
Packaging MMX	Slot 1 module	Packaging MMX	Slot 1 module	Socket	Socket 8
Front-side bus	66 MHz, GTL+	Front-side bus	66, 100 MHz, GTL+	Supports MMX technology	60 or 66 MHz, GTL+
Vcore	2.8 V	VCore	2.0 V	Front-side bus	3.1–3.3 V (Has on-board voltage regulator)
Process	0.35 μm CMOS	Process	0.25 μm CMOS	VCORE	0.25 μm
First release	May 7, 1997	First release	January 26, 1998	Fabrication	1998
Clockrate	233, 266, 300 MHz	Clockrate	66 MHz FSB : 266, 300, 333 MHz 100 MHz FSB: 350, 400, 450 MHz	First release	The sSpec number SL2KE denotes a Pentium II Overdrive sold with an integrated heatsink/fan combination for Socket 8. [Note that the sSpec number SL2EA denotes a Pentium II Overdrive sold with an integrated heatsink but no fan for Slot 1.]

Πίνακας 4. Παραλλαγές των Desktop επεξεργαστών Pentium 2.

⁴¹<http://www.rcollins.org/ddj/Aug98/Aug98.html>

PENTIUM II - MOBILE			
Tonga (80523) Mobile Pentium II		Dixon (80524) Mobile Pentium II PE (Performance Enganced)	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)	L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	512 KB, as external chips on the CPU module clocked at half the CPU frequency	L2 cache	256 KB, on-die, full speed
Packaging	MMC-1, MMC-2, Mini-Cartridge	Packaging	BGA1, MMC-1, MMC-2, μ PGA1 PPGA-B615
MMX		MMX	
Front-side bus	66 MHz, GTL+	Front-side bus	66, 100 MHz, GTL+
Vcore	1.6 V	VCore	1.5, 1.55, 1.6, 2.0 V
Process	0.25 μ m CMOS	Process	0.25; 0.18 (400 MHz) μ m CMOS
First release	April 2, 1998	First release	January 25, 1999
Clockrate	233, 266, 300 MHz	Clockrate	266, 300, 333, 366, 400 MHz

Πίνακας 5. Παραλλαγές των Mobile επεξεργαστών Pentium 2.

2.2. Pentium 3 (Intel Pentium III)

Ο Pentium III (PIII, Pentium III) ήταν μια σειρά επεξεργαστών 32bit x86 της Intel στηριγμένη στην P6 μικροαρχιτεκτονική, με μικροεπεξεργαστές τόσο τύπου desktop όσο και mobile και βγήκε στην παραγωγή 26 Φεβρουαρίου 1999⁴² (**Πίνακας 6**). Οι πρώτοι επεξεργαστές της σειράς ήταν πολύ παρόμοιοι με τους τελευταίους της σειράς Pentium II. Οι πιο αξιοσημείωτες διαφορές αφορούσαν στην προσθήκη του συνόλου εντολών SSE⁴³ (προς επιτάχυνση των πράξεων κινητής υποδιαστολής καθώς και των παράλληλων υπολογισμών), καθώς και η προσθήκη ενός αμφιλεγόμενου σειριακού αριθμού ενσωματωμένου στο chip και τη διαδικασία παραγωγής.

INTEL PENTIUM III, ARCHITECTURE P6	
ΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	1999 – 2003
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΡΟΛΟΓΙΟΥ	450 MHz – 1.4 GHz
FSB SPEEDS	100MHz – 133MHz
ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΡΑΝΣΙΣΤΟΡ	0.25 μ m – 0.18 μ m
ΣΥΝΟΛΟ ΕΝΤΟΛΩΝ	IA-32, MMX, SSE
ΜΙΚΡΟΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	P6
ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	1
SOCKETS	Slot 1, Socket 370 Socket 479
ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΣ	Pentium II
ΔΙΑΔΟΧΟΣ	Pentium 4, Xeon, Celeron, Pentium M
ΠΑΡΑΛΛΑΓΈΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ	Katmai, Coppermine, Coppermine T, Tualatin

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά των Pentium 3.

⁴²https://en.wikipedia.org/wiki/Pentium_III

⁴³https://en.wikipedia.org/wiki/Streaming_SIMD_Extensions

Όπως και κατά την παραγωγή του Pentium II, και ο Pentium III έβγαινε στην παραγωγή παράλληλα με εκδόσεις χαμηλών απαιτήσεων Celeron καθώς και με εκδόσεις υψηλών απαιτήσεων Xeon (για servers και θέσεις εργασίας υψηλών απαιτήσεων). Ο Pentium 3 τελικά αντικαταστάθηκε από τον Pentium 4, αλλά η παραλλαγή του Pentium 3 με όνομα Tualatin επίσης χρησιμοποιήθηκε ως βάση των επεξεργαστών Pentium M, οι οποίοι χρησιμοποίησαν πολλές ιδέες από την μικροαρχιτεκτονική P6. Ακολούθως η μικροαρχιτεκτονική των Pentium M ήταν αυτή που σχημάτισε το θεμέλιο της ενεργειακά αποδοτικής Core μικροαρχιτεκτονικής της Intel (επεξεργαστές Core 2, Pentium Dual-Core, Celeron (Core) και Xeon), και όχι η μικροαρχιτεκτονική Netburst των Pentium 4 (**Εικόνα 28**).



Εικόνα 28. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 3⁴⁴.

Οι παραλλαγές των Pentium III ήταν 4:

- **Katmai:** Πρόκειται για την πρώτη παραλλαγή του Pentium III (80525) και αποτελεί μία περαιτέρω ανάπτυξη του Deschutes Pentium II (**Εικόνα 29**). Ο Pentium III είχε αύξηση κατά 2 εκατομμύρια τρανζίστορες συγκριτικά με τον Pentium II. Προστέθηκαν μονάδες εκτέλεσης (execution units) καθώς και υποστήριξη εντολών SSE. Επήλθε ένας βελτιωμένος ελεγκτής της L1 κρυφής μνήμης (L1 Cache controller, ενώ η L2 cache έμεινε ως είχε). Το μοντέλο αυτό αρχικά βγήκε σε ταχύτητες 450 – 500 MHz τον Φεβρουάριο του 1999, ενώ η τελευταία του έκδοση έφτασε τα 600 MHz. Ο Katmai

⁴⁴https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Pentium_III_Processor_Logo.svg

αποτελούνταν από 9.5 εκατομμύρια transistors, μη συμπεριλαμβανομένων εκείνων της 512KB L2 Cache, ενώ είχε διαστάσεις 12.3 mm x 10.4mm (128 mm²). Η πυκνότητα εκτύπωσης της Intel P856.5 ήταν 0.25μm CMOS με 5 επίπεδα αλληλοσύνδεσης αλουμινίου. Ο σχεδιασμός σύνδεσης ήταν παρόμοιος με εκείνον του Pentium II, τύπου κάρτας, αλλά με καινούργια σύνθεση SECC2, η οποία επέτρεπε την άμεση επαφή του CPU πυρήνα με την ψύκτρα (επιφάνεια παθητικής απαγωγής θερμότητας) (Πίνακας 7).

Katmai (80525)	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	512 KB, as external chips on the CPU module clocked at half the CPU frequency
Packaging	Slot 1 (SECC, SECC2)
MMX, SSE	
Front-side bus	100, 133 MHz
Vcore	2.0 V (600 MHz: 2.05V)
Process	0.25 μm CMOS
First release	Feb, 1999
Clockrate	<u>100 MHz FSB</u> : 450, 500, 550, 600 MHz <u>133 MHz FSB</u> : 533, 600 MHz

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Katmai των Pentium 3.



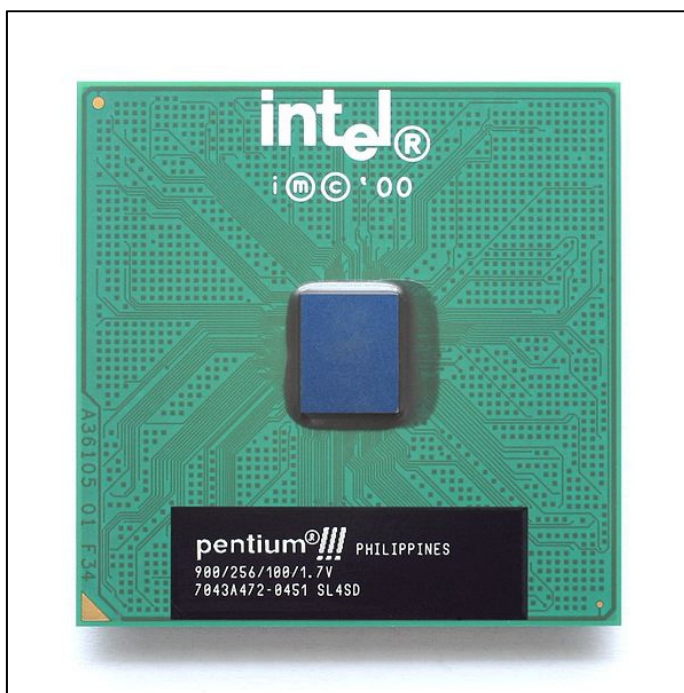
Εικόνα 29. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Katmai⁴⁵.

⁴⁵https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Pentium_III_Katmai.jpg

- Coppermine:** Με κωδικό 80526 βγήκε στην αγορά τον Οκτώβριου του 1999 σε συχνότητες 500, 533, 550, 600, 650, 667, 700 και 733 MHz (**Πίνακας 8**) (**Εικόνα 30**). Μέχρι τον Μάιο του 2000 η Ίντελ έβγαλε στην αγορά μοντέλα Coppermine που έφταναν το 1 GHz. Οι επεξεργαστές είχαν ταχύτητες FSB στα 100 και 133 MHz. Τα τελευταία μοντέλα Coppermine είχαν την κατάληξη “E” για να τονίσουν την νέα πυκνότητα εκτύπωσης στα 0.18 μm. Μία επιπλέον κατάληξη “B” προστέθηκε για να ξεχωρίσει τα μοντέλα τα οποία είχαν 133 MHz FSB (Front Side Bus). Αξίζει να σημειωθεί πως η παιχνιδομηχανή Microsoft Xbox που παρουσιάστηκε το 2001 στηρίχθηκε σε αυτόν τον επεξεργαστή. Σημαντικές βελτιώσεις που εισήχθησαν με τον Coppermine ήταν η εντός chip L2 Cache (την οποία η Intel ονόμασε Advanced Transfer Cache (ATC)) καθώς και καλύτερο pipeline. Η ATC λειτουργεί στην συχνότητα του επεξεργαστή και έχει χωρητικότητα 256 KB. Είναι set-associative 8 δρόμων και συνδέεται με τον επεξεργαστή μέσω ενός 256 bit bus. Η βελτιωμένη αυτή κρυφή μνήμη έδωσε έκανε καλύτερο τον επεξεργαστή έναντι του Katmai παρέχοντας μικρές καθυστερήσεις και μεγάλη επίδοση. Παράλληλα αφαιρέθηκαν κάποια σημαντικά pipeline stalls, με αποτέλεσμα σχετικές εφαρμογές να εκτελούνται έως και 30% γρηγορότερα. Ο Coppermine περιείχε έως και 29 εκατομμύρια transistors με πυκνότητα εκτύπωσης επεξεργαστή 0.18μm. Βρισκόταν ως ένα εξάρτημα που συνδεόταν με το υπόλοιπο σύστημα μέσω 370 pins FC-PGA σε θύρες Socket 370 ή SECC2. Επίσης πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις σχετικά με την απαγωγή θερμότητας.

Coppermine (80526)	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	256 KB, fullspeed
Packaging	Slot 1 (SECC2), Socket 370 (FC-PGA)
MMX, SSE	
Front-side bus	100, 133 MHz
Vcore	1.6 V, 1.65 V, 1.70 V, 1.75 V
Process	0.18 μm CMOS
First release	Oct, 1999
Clockrate	<u>100 MHz FSB</u> : 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 1000, 1100 MHz (E-Models)
	<u>133 MHz FSB</u> : 533, 600, 667, 733, 800, 866, 933, 1000, 1133 MHz (EB-Models)

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Coppermine των Pentium 3.



Εικόνα 30. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Coppermine⁴⁶.

- Coppermine T:** Αυτή η παραλλαγή είναι ένα ενδιάμεσο βήμα μεταξύ Coppermine και Tualatin, με υποστήριξη για τη λογική συστήματος χαμηλής τάσης που υπάρχει στο τελευταίο, όμως με ισχύ πυρήνα μεταξύ των προηγουμένων ορισμένων χαρακτηριστικών, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε παλαιότερα συστήματα. Μπορούσε να λειτουργεί τόσο σε system bus 1.25V AGTL όσο και σε κανονικό 1.5V AGTL+ (τάση σημάτων), δίνοντάς του την δυνατότητα να είναι συμβατός με την τελευταία γενιά Socket-370 που υποστήριζαν FC-PGA2, αλλά και με την παλαιότερη FC-PGA (**Πίνακας 9**).

Coppermine T	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	256 KB, fullspeed
Packaging	Socket 370 (FC-PGA, FC-PGA2)
MMX, SSE	
Front-side bus	133 MHz
Vcore	1.75 V
Process	0.18 μm CMOS
First release	Aug, 2000
Clockrate	<u>133 MHz FSB</u> : 800, 866, 933, 1000, 1133 MHz

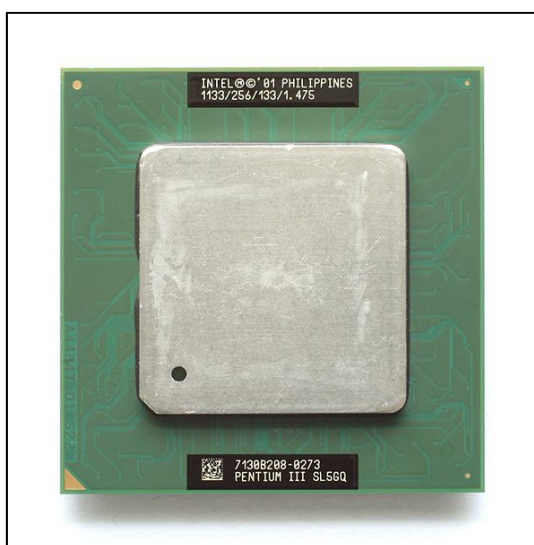
Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Coppermine T των Pentium 3.

⁴⁶https://en.wikipedia.org/wiki/File:KL_Intel_Pentium_III_Coppermine.jpg

- **Tualatin (80530):** πρόκειται για έναν επεξεργαστή με πυκνότητα εκτύπωσης 0.13μm και βγήκε στην αγορά το 2001 έως το 2002 σε ταχύτητες 1.0, 1.13, 1.2, 1.26, 1.33 και 1.4 GHz (**Εικόνα 31**). Είχε πολύ καλές επιδόσεις με παραλλαγές που είχαν 512KB L2 Cache (Pentium III-S). Η Pentium III-S παραλλαγή προοριζόταν για servers όπου η κατανάλωση ενέργειας έπαιξε σημαντικό ρόλο. Αποτέλεσε το θεμέλιο του ιδιαίτερα γνωστού mobile επεξεργαστή Pentium III-M, που έγινε ο βασικός Mobile επεξεργαστής της Ίντελ για τα επόμενα 2 χρόνια. Ο επεξεργαστής αυτός παρείχε ιδιαίτερα καλή ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και επιδόσεων καθιστώντας τον σημαντικό στον χώρο των notebooks και της κατηγορίας “thin & light” (**Πίνακας 10**).

Tualatin (80530)	
L1 cache	16 + 16 KB (Data + Instructions)
L2 cache	256 KB or 512 KB, fullspeed
Packaging	Socket 370 (FC-PGA2)
MMX, SSE, Hardware Prefetch	
Front-side bus	133 MHz
Vcore	1.45, 1.475 V
Process	0.13 μm CMOS
First release	Apr, 2001
Clockrate	<u>Pentium III (256 KB L2-Cache):</u> 1000, 1133, 1200, 1333, 1400 MHz
	<u>Pentium III-S (512 KB L2-Cache):</u> 1133, 1266, 1400 MHz

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά της εκδοχής Tualatin των Pentium 3.



Εικόνα 31. Ο επεξεργαστής Pentium 3 Tualatin⁴⁷.

⁴⁷https://en.wikipedia.org/wiki/File:KL_Intel_Pentium_III_Tualatin.jpg

2.3. Pentium 4 (Intel Pentium IV)

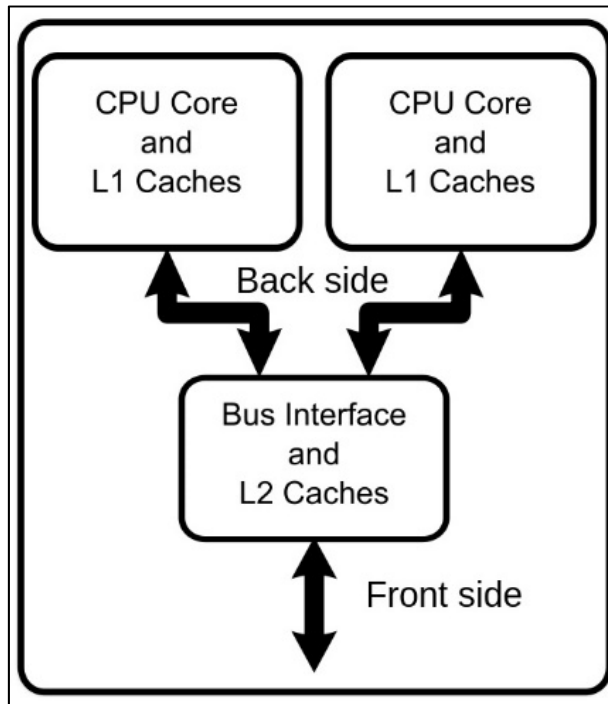
Οι Pentium 4 ήταν μια σειρά μονοπύρηνων επεξεργαστών (Central Processing Units—CPUs) για επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές καθώς και servers και πρωτοεμφανίστηκαν στην αγορά τον Νοέμβριο του 2000 από την εταιρεία Intel. Παρέμειναν στην αγορά μέχρι και τον Αύγουστο του 2008. Τα χαρακτηριστικά του συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 11).

PENTIUM 4		
PRODUCED	2000 – 2008	
MAX CPU CLOCK RATE	1.3 GHz – 3.8 GHz	
FSB SPEEDS	400 MT/s to 1066 MT/s	
INSTRUCTION SET	X86 (i386), x86-64, MMX, SSE, SSE2, SSE3	
MICROARCHITECTURE	NetBurst	
TRANSISTORS	42M	180nm
	55M	130nm
	169M	130nm (P4EE)
	125M	90nm
	188M	65nm
SOCKETS	Socket	423
	Socket	478
	LGA 775	
PREDECESSOR	Pentium III	
SUCCESSOR	Pentium D	

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά του επεξεργαστή Pentium 4.

Η μικροαρχιτεκτονική που ακολουθούσαν ήταν έβδομης γενιάς x86 (32-bit) με την ονομασία *NetBurst*, η οποία ήταν η πρώτη αρχιτεκτονική μετά την μικροαρχιτεκτονική P6 των επεξεργαστών Pentium Pro του 1995 (6^{ης} γενιάς). Η νέα αυτή γενιά διέφερε από την P6 (Pentium II, III) στο ότι υποστήριζε ένα πολύ βαθύ εύρος εντολών σε συνδυασμό με πολύ υψηλές συχνότητες ρολογιού. Η Intel ισχυριζόταν μάλιστα ότι η 7^η γενιά θα επιτρέψει ταχύτητες μέχρι και 10 GHz σε μελλοντικούς επεξεργαστές. Παρόλα αυτά σοβαρά θέματα με την διάχυση θερμότητας (ειδικά με τον Prescott Pentium 4) περιόρισαν τις συχνότητες ρολογιού σε τιμές χαμηλότερες 3.8 GHz (**Εικόνα 32**).

Το 2004 το αρχικό 32-bit x86 σύνολο εντολών των Pentium 4 μικροεπεξεργαστών επεκτάθηκε από ένα 64-bit x86-64 σύνολο. Οι πρώτοι Pentium 4 πυρήνες με κωδικό όνομα *Willamette*, είχαν συχνότητα από 1.3 GHz έως 2 GHz. Παρουσιάστηκαν στην αγορά 20 Νοεμβρίου του 2000, και χρησιμοποιούσαν το σύστημα Socket 423. Αξιοσημείωτο ήταν ότι με τους Pentium 4 παρουσιάστηκε και το 400 MT/s FSB (Front Side Bus).



Εικόνα 32. Η μικροαρχιτεκτονική των επεξεργαστών 6^{ης} γενιάς.

Στην πραγματικότητα λειτουργούσε στα 100 MHz, αλλά το FSB ήταν quad-pumped, το οποίο είχε τέσσερις φορές μεγαλύτερη ταχύτητα και έτσι έτρεξε τελικά στα 400 MHz. Στην ίδια κατηγορία οι επεξεργαστές AMD Athlon's είχαν ένα διπλό FSB, το οποίο έτρεχε στα 100 και 133 MHz (200 ή 266 MT/s).

Οι επεξεργαστές Pentium 4, εισήγαγαν το SSE2 και στα σύνολα εντολών SSE3, που βασίστηκαν στον Prescott Pentium 4s, για να επιταχύνουν τους υπολογισμούς, τις μεταφορές δεδομένων, την επεξεργασία μέσω των τρισδιάστατων γραφικών και τα παιχνίδια. Οι μεταγενέστερες εκδόσεις χαρακτηρίζαν την τεχνολογία Hyper-Threading Technology (HTT), ένα χαρακτηριστικό που κάνει την εργασία σε μια φυσική CPU, σαν να είναι δύο λογικές CPU. Η Intel κυκλοφόρησε επίσης στην αγορά μια εκδοχή των επεξεργαστών Celeron χαμηλής απόδοσης που βασίζονται στη μικροαρχιτεκτονική NetBurst (συντά αναφέρεται ως Celeron 4) και σε ένα high-end παράγωγο, το Xeon, που προορίζεται για διακομιστές και σταθμούς εργασίας πολλαπλών επεξεργαστών. Το 2005, ο Pentium 4 συμπληρώθηκε από επεξεργαστές διπλού πυρήνα Pentium D και Pentium Extreme Edition.

2.4. Οικογένεια X86 Αρχιτεκτονικών Συνόλου Εντολών

Όλες αυτές οι μικροαρχιτεκτονικές είναι στηριγμένες στην οικογένεια του συνόλου εντολών της x86 αρχιτεκτονικής, η οποία στηρίχθηκε στον επεξεργαστή Intel 8086 και την παραλλαγή του 8088. Ο όρος x86 προήλθε από το ότι πολλοί υπολογιστές-διάδοχοι του 8086 είχαν την κατάληξη 86 στο μοντέλο τους (80186, 80286, 80386 και 80486⁴⁸).

Στην οικογένεια αυτή έγιναν πολλές προεκτάσεις και προσθήκες με τα χρόνια, σχεδόν πάντοτε όμως οι αρχιτεκτονικές που παράγονταν ήταν συμβατές με όλα τα προηγούμενα μοντέλα. Χρησιμοποιήθηκε από επεξεργαστές πολλών εταιρειών, όπως οι Intel, Cyrix, AMD, VIA κ.α. καθώς και από διάφορα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems), αλλά και από υπολογιστές γενικού σκοπού, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα συμβατότητα με IBM PC.

Κατά το πέρας του έτους 2016 η πλειονότητα προσωπικών υπολογιστών και laptops στηρίζονταν στην αρχιτεκτονική x86, ενώ άλλες κατηγορίες, όπως εκείνη των smartphones και tablets στηρίζονται κατά κόρον σε αρχιτεκτονικές ARM⁴⁹.

2.5. Διοχέτευση (Pipeline)

Το Pipeline ή Διοχέτευση, αφορά στον *ψευδοπαράλληλισμό* που μπορεί να συμβεί κατά την εκτέλεση εντολών σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα λόγω του ότι η εκάστοτε εντολή μπορεί να διαχωριστεί σε σαφή στάδια εκτέλεσης, όπως το **Fetch (F)** (άφιξη της εντολής στον επεξεργαστή), **Decode (D)** (αποκωδικοποίηση της εντολής), **Execute (E)** (εκτέλεση της εντολής), **Write Back (W)** (εγγραφή όπου χρειάζεται—καταχωρητές επεξεργαστή ή μνήμη), τα λογικά κυκλώματα τα οποία σχετίζονται με αυτά τα στάδια μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται από επόμενη εντολή, πριν η συνολική εκτέλεση της προηγούμενης ολοκληρωθεί⁵⁰.

Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό από τον αναγνώστη ας σκεφτούμε το παρακάτω παράδειγμα. Έστω μία γραμμή παραγωγής κατά την οποία συναρμολογείται, συσκευάζεται και αποθηκεύεται μία σειρά προϊόντων αποτελούμενα από τουβλάκια τύπου Lego.

⁴⁸<https://en.wikipedia.org/wiki/X86>

⁴⁹https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture

⁵⁰https://en.wikipedia.org/wiki/Instruction_pipelining

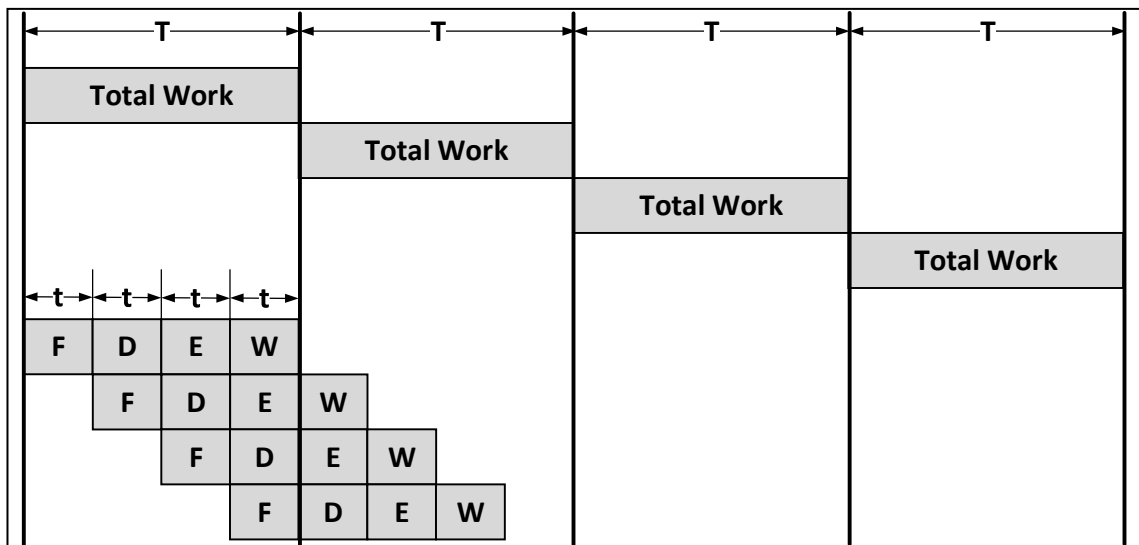
Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι έχουμε ένα μηχάνημα το οποίο δέχεται αρχικά την πρώτη ύλη, τα τουβλάκια και την πληροφορία συναρμολόγησης, στη συνέχεια συναρμολογεί το παιχνίδι, το συσκευάζει και τέλος ένα ρομποτικό σύστημα το αποθηκεύει και το τοποθετεί σε ένα σύστημα ραφιών σε εκάστοτε άδεια θέση. Ας υποθέσουμε ότι οι χρόνοι του κάθε σταδίου είναι:

$t_f+t_d+t_e+t_w=T$, **Εξίσωση 1**, όπου T ο συνολικός χρόνος.

Για να απλοποιήσουμε το πρόβλημα ας υποθέσουμε ότι τα μέρη αυτά είναι ίσα, δηλαδή:

$t_f=t_d=t_e=t_w=t$, **Εξίσωση 2**, όπου t ο χρόνος.

Αν το μηχάνημα το δούμε σαν ένα μαύρο κουτί το οποίο όσο εργάζεται δεν μπορεί να ξεκινήσει μία καινούργια διεργασία, τότε αν θέλουμε να παράγουμε 10 κομμάτια θα χρειαστούμε χρόνο $10T$. Αντιθέτως αν μπορούμε να τμηματίσουμε την εργασία σε 4 διακριτά μέρη που όταν απελευθερωθούν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, ο χρόνος εκτέλεσης θα περιοριστεί στα $13t=3.25T$, δραματικά γρηγορότερα!



Εικόνα 33. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση.

Σε αντιστοιχία με την λειτουργία του επεξεργαστή παρατηρούμε ότι μία εντολή δεν αντιστοιχεί πλέον σε έναν κύκλο ρολογιού, μιας και πρέπει η εκάστοτε εντολή να σπάσει σε παραπάνω από ένα υπομέρη, με κέρδος όμως το μεγάλο throughput, τον ρυθμό εκτέλεσης δηλαδή (το πλήθος εντολών που εκτελούνται ταυτόχρονα στο σύστημα, καθώς βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια). Το αυξημένο throughput σημαίνει πως περισσότερες εντολές εκτελούνται ανά κύκλο ρολογιού. Επιπροσθέτως με τον τρόπο αυτό αξιοποιείται

αποδοτικότερα το υλικό αφού ανεξάρτητες διεργασίες δεν χρειάζεται να περιμένουν το πέρας όλων των άλλων σταδίων της εντολής για να επαναλειτουργήσουν.

Το πλήθος των σταδίων ποικίλει από 4-5 στάδια στους Pentium, μέχρι και πάνω από 14 στάδια σε υπολογιστές υπερδιοχέτευσης (superpipeline), όπως ήταν ο Pentium Pro. Όσο μακρύτερο είναι το pipeline (άρα περισσότερων σταδίων), τόσο υψηλότερη συχνότητα ρολογιού μπορούμε να έχουμε. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη κατάτμηση των εντολών με αποτέλεσμα την ύπαρξη μικρότερων υποεντολών που μπορούν να εκτελεστούν γρηγορότερα⁵¹.

Πρέπει να σημειωθεί πως η εκτέλεση που παρουσιάζεται στο παράδειγμα είναι ιδανική, μιας και υπάρχουν διάφορες καθυστερήσεις. Τέτοιες είναι οι:

- **Data Flow Dependency:** καθυστερήσεις λόγω εξάρτησης δεδομένων, εντολές που περιμένουν δεδομένα από προηγούμενη εντολή. Αντίστοιχες λύσεις είναι τα bypasses (προώθηση δεδομένων απευθείας με το πέρας της εκτέλεσης μιας εντολής, πριν δηλαδή καταγραφεί σε θέση μνήμης, με χρήση ενδιάμεσων καταχωρητών) και η μετονομασία καταχωρητών (register renaming, αρχιτεκτονική P6)
- **Control Flow Dependencies:** καθυστερήσεις λόγω διακλάδωσης της ροής του κώδικα που θα εκτελεστεί (IF...THEN...ELSE). Αυτό επιλύεται με πρόβλεψη διακλάδωσης – Branch Prediction.
- **Άλλες:** τέτοιες μπορεί να οφείλονται σε Cache Misses (τα δεδομένα που χρειάζεται η εντολή δεν έχουν προφτάσει να έρθουν από την κύρια μνήμη (μακριά σε χρόνο προσπέλασης) στην Cache μνήμη (πλησιέστερα στον επεξεργαστή)), εκτέλεση εντολών υψηλής καθυστέρησης.

Ενδεικτικά βλέπουμε στον παρακάτω πίνακα το πλήθος των σταδίων και τις συχνότητες ρολογιού ανά μοντέλο επεξεργαστή (**Πίνακας 12**).

⁵¹ <http://www.karbosguide.com/books/pcarchitecture/chapter30.htm>

Μοντέλο CPU	Πλήθος σταδίων pipeline	Μέγιστη συχνότητα ρολογιού
Pentium	5	300 MHz
Motorola G4	4	500 MHz
Motorola G4e	7	1000 MHz
Pentium II and III	12	1400 MHz
Athlon XP	10/15	2500 MHz
Athlon 64	12/17	>3000 MHz
Pentium 4	20	>3000 MHz
Pentium 4 „Prescott“	31	>5000 MHz

Πίνακας 12. Σύνοψη των σταδίων και συχνοτήτων των επεξεργαστών.

2.6. P6 (1995)

Η P6 μικροαρχιτεκτονική αποτελεί την 6^η γενιά των Intel x86 αρχιτεκτονικών και πρωτοϋλοποιήθηκε στον μικροεπεξεργαστή Pentium Pro, ο οποίος βγήκε στην αγορά το 1995. Αποτελεί την εξέλιξη της μικροαρχιτεκτονικής P5, έχοντας τις παρακάτω τεχνικές οι οποίες πρωτοχρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν (**Πίνακας 13**):

- **Υποθετική εκτέλεση (speculative execution)⁵²:** πρόκειται για μία τεχνική βελτιστοποίησης, κατά την οποία ένα υπολογιστικό σύστημα πραγματοποιεί κάποιες διεργασίες οι οποίες δεν χρειάζονται σίγουρα. Η κύρια ιδέα είναι να εκτελείται εργασία προτού να είναι γνωστό εάν θα χρειαστεί ή όχι, έτσι ώστε να αποτραπεί καθυστέρηση όταν αργότερα θα χρειαστεί. Αν η εργασία δεν χρειαστεί οποιαδήποτε αποτελέσματα αγνοούνται και οποιεσδήποτε αλλαγές επανέρχονται στην προηγούμενή τους κατάσταση. Η συγκεκριμένη λειτουργία χρησιμοποιούταν σε διάφορες περιοχές συμπεριλαμβανομένης της πρόβλεψης διακλάδωσης (branch prediction)⁵³ σε επεξεργαστές με διοχέτευση (pipeline, εξηγείται παρακάτω).
- **Δυναμική Εκτέλεση (Dynamic Execution ή Out-Of-Order Execution)⁵⁴:** αφορά την χρήση κύκλων εντολών που διαφορετικά θα πήγαιναν χαμένοι (instruction cycle=κύκλος εντολής. fetch-decode-execute-write back)⁵⁵ είναι ο χρόνος εκτέλεσης μιας εντολής και όχι απαραίτητα ενός κύκλου επεξεργαστή, μιας και μια εντολή σε έναν επεξεργαστή με pipeline χρειάζεται περισσότερους από έναν κύκλους ρολογιού επεξεργαστή). Αποτελεί μία βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός επεξεργαστή καθώς έτσι εκτελούνται εντολές που βρίσκονται «κοντά» στον επεξεργαστή και όχι κατ' ανάγκην εντολές με την σειρά

⁵²https://en.wikipedia.org/wiki/Speculative_execution

⁵³https://en.wikipedia.org/wiki/Branch_predictor

⁵⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Out-of-order_execution

⁵⁵http://www.c-jump.com/CIS77/CPU/InstrCycle/Z77_0010_instruction_cycle.htm

προγραμματισμού τους. Έτσι μπορεί να εκμεταλλευτεί χρόνος αναμονής που απαιτείται π.χ. για την μεταφορά μιας εντολής από την κύρια μνήμη. Στην τεχνική αυτή δίνεται έμφαση στην ροή δεδομένων και όχι στην σειρά του προγράμματος, μιας και διάφορες εξαρτήσεις δεδομένων κωλύουν την σειρά αυτή (**Εικόνα 34**).

- **Υπερκλιμάκωση (Superscalar):** Πρόκειται για μία μορφή παραλληλισμού η οποία καλείται instruction-level parallelism (παραλληλισμός σε επίπεδο εντολής) εντός ενός επεξεργαστή (δεν πρέπει να συγχέεται με την παράλληλη επεξεργασία δύο επεξεργαστών ή πυρήνων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερο throughput (το πλήθος των εντολών που εκτελούνται και ολοκληρώνονται ανά μονάδα χρόνου)⁵⁶.
- **Superscalar Level 2:** Ο επεξεργαστής Pentium είχε 2 διαύλους εκτέλεσης (execution pipes: U και V), συνεπώς ήταν superscalar level 2. Αντίστοιχα ο P6 μπορεί να ολοκληρώσει 3 εντολές ανά κύκλο ρολογιού, οπότε είναι superscalar level 3. Αξίζει να σημειωθεί πως σε περίπτωση που χρειαστεί καθυστέρηση (stall) αυτή θα είναι μεγαλύτερη.
- **Υπερδιοχέτευση (Superpipelining):** Σε αυτήν την μικροαρχιτεκτονική αυξήθηκαν τα στάδια του pipeline από 5 που ήταν στον Pentium σε 14 στον Pentium Pro, και τελικά διαμορφώθηκαν σε 10 στον Pentium 3 και σε 12 με 14 στάδια στον Pentium M.
- **PAE – Physical Address Extension⁵⁷:** αποτελεί ένα είδος διαχείρισης μνήμης η οποία ορίζει μία ιεραρχία πινάκων σελίδας τριών επιπέδων (δομή δεδομένων που χρησιμεύει στην αντιστοίχιση φυσικής με virtual μνήμης)⁵⁸, με στοιχεία πίνακα 64 bits έκαστο αντί για 32, επιτρέποντας έτσι την πρόσβαση μνήμης με φυσικές διευθύνσεις συνολικού μεγέθους μεγαλύτερου των 4GB (2^{32} bytes). Πιο συγκεκριμένα το address bus είναι 36bits επιτρέποντας την ύπαρξη μνήμης μεγέθους έως και 64GB.
- **Μετονομασία Καταχωρητών – Register Renaming⁵⁹:** Πρόκειται για μία τεχνική η οποία εξαλείφει τις λάθος εξαρτήσεις δεδομένων (false data dependencies), οι οποίες προκύπτουν από την επαναχρησιμοποίηση καταχωρητών από επόμενες εντολές, οι οποίες όμως δεν εξαρτώνται πραγματικά από τις προηγούμενες. (βλ. Register Renaming)
- **CMOV νέες εντολές:** εντολές μεταφοράς δεδομένων υπό συνθήκη (conditional move), οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν πάρα πολύ σε βελτιστοποιήσεις κατά το compiling.
- **Άλλες νέες εντολές: FCMOV, FCOMI/FCOMIP/FUCOMI/FUCOMIP, RDPMC, UD2**

⁵⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Superscalar_processor

⁵⁷https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_Address_Extension

⁵⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Page_table

⁵⁹https://en.wikipedia.org/wiki/Register_renaming

- Νέες εντολές στον Pentium II: FXSAVE, FXRSTOR
- Νέες εντολές στον Pentium II: SSE

1	2	3	4	5	6	7	8
F	D	E	W				
F	D	E	W				
	F	D	E	W			
	F	D	E	W			
		F	D	E	W		
		F	D	E	W		
			F	D	E	W	
			F	D	stall	E	W

Εικόνα 34. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση.

ARCHITECTURE	P6
L1 CACHE	32 KB
L2 CACHE	128 KB to 512 KB 256 KB to 2048 KB (Xeon)
MODEL	Celeron Series
CREATED	November 1, 1995
TRANSISTORS	7.5M 350 nm
INSTRUCTIONS	MMX
EXTENSIONS	SSE
SOCKET(S)	Socket 8 Socket 370 Socket 479
PREDECESSOR	P5
SUCCESSOR	NetBurst

Πίνακας 13. Τα χαρακτηριστικά του επεξεργαστή P6⁶⁰.

2.6.1. Cache Μνήμη

Κατά αυτήν την γενιά υπολογιστών προέκυψε εντονότερα η ανάγκη κλιμάκωσης και ιεράρχησης της μνήμης, μιας και οι απαιτήσεις σε αυτήν όλο και μεγάλωναν. Πιο συγκεκριμένα την περίοδο εκείνη είχε παρατηρηθεί πως η κατανάλωση της μνήμης διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το έτος 2000 οι απαιτήσεις ήταν

⁶⁰<http://www.ece.uvic.ca/~amiralib/courses/p6.pdf>

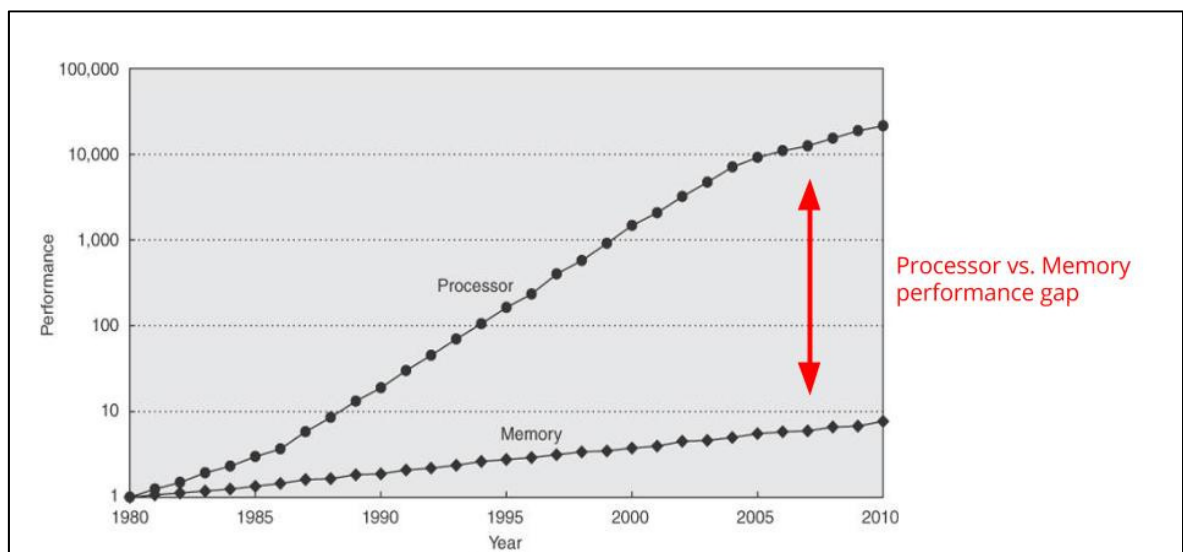
στα 64MB-128MB, το 2002 128MB-256MB, ενώ σήμερα φτάνει ξεπερνάει τα 16GB σε έναν προσωπικό υπολογιστή⁶¹.

Το πρόβλημα το οποίο είχε προκύψει ήταν ότι η εξέλιξη της ταχύτητας του επεξεργαστή είχε μεγαλύτερο ρυθμό από εκείνη της μνήμης και των αρτηριών ροής δεδομένων (buses). Ενδεικτικά παρακάτω βλέπουμε τις αντίστοιχες συχνότητες CPU/Bus (**Πίνακας 14**):

	486		Pentium	Pentium II	Pentium III	Pentium 4
CPU	25-66MHz		66-233MHz	200-450MHz	0.5-1.33GHz	1.4-2.4GHz
Bus	33MHz		66MHz	66-100MHz	133-200MHz	400MHz

Πίνακας 14. Συγκριτικός πίνακας των ταχυτήτων της οικογένειας Pentium.

Αντίστοιχα παρακάτω παρατηρούμε σε γράφημα την ταχύτητα ρολογιού επεξεργαστή και την ταχύτητα της αρτηρίας μνήμης (memory bus) κατά την εξέλιξή τους χρονικά (**Εικόνα 35**).



Εικόνα 35. Εκτέλεση της διοχέτευσης συγκριτικά με τη σειριακή εκτέλεση⁶².

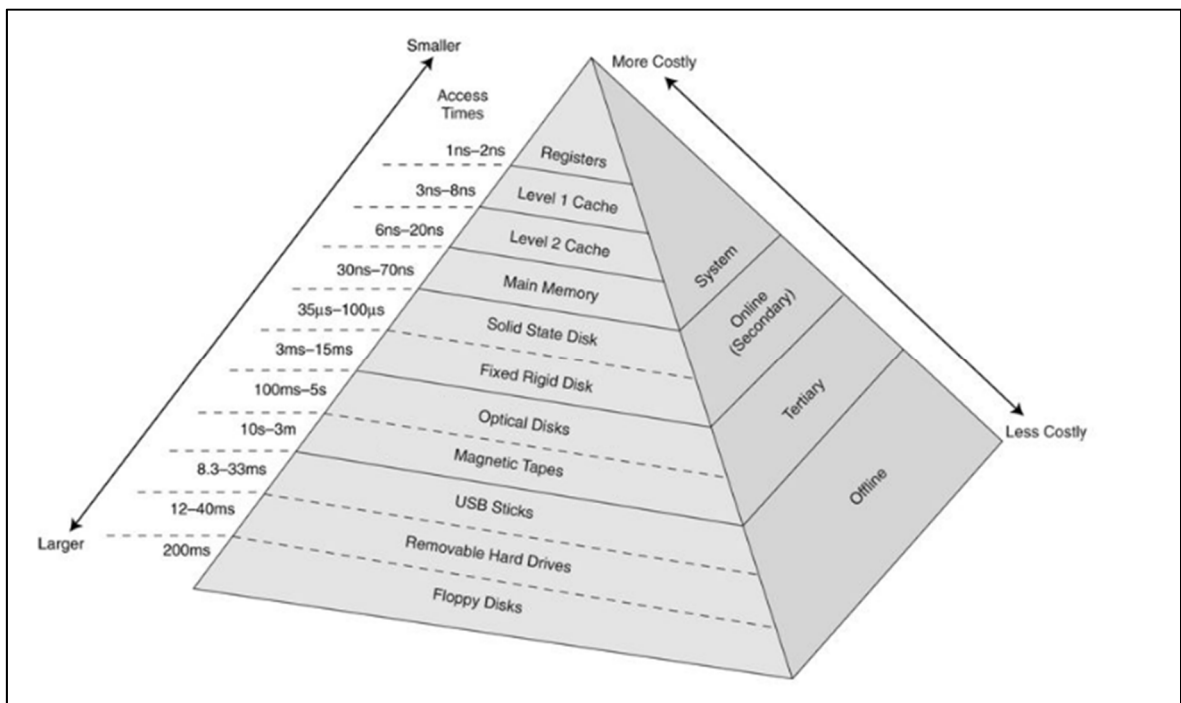
Αυτό το πρόβλημα συνέβαλλε στην εξέλιξη και ενσωμάτωση μίας μικρής (αναλογικά με την κύρια μνήμη ή τα μέσα μόνιμης αποθήκευσης, πχ σκληρός δίσκος) γρήγορης μνήμης μέσα στον επεξεργαστή, η οποία επιτρέπει την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, κάνοντας την ανάκτηση δεδομένων γρηγότερη και πιο αποδοτική. Έτσι αποθηκεύονται

⁶¹ <http://www.encyclopedia.com/science-and-technology/computers-and-electrical-engineering/computers-and-computing/cache-memory>

⁶² <https://dave.cheney.net/2014/06/07/five-things-that-make-go-fast>

τα συχνώς χρησιμοποιούμενα δεδομένα σε μία μνήμη κοντά στον επεξεργαστή μεγιστοποιώντας έτσι την επίδοσή του.

Η ιεράρχηση της μνήμης διευρύνεται με τα χρόνια εξέλιξης και τμηματοποιείται σε πολλά επίπεδα, ξεκινώντας από τον καταχωρητή που είναι το πιο άμεσα προσπελάσιμο μέσον μνήμης στον επεξεργαστή και φτάνοντας μέχρι και εξωτερικά μέσα αποθήκευσης. Έτσι ακόμα και η Cache σήμερα τμηματοποιείται σε περισσότερα επίπεδα (L1, L2, L3 κλπ). Γενικότερα θα μπορούσαμε να δούμε την ιεραρχία της μνήμης ως μία πυραμίδα, με την κορυφή να δηλώνει την πιο κοντινή μνήμη στον επεξεργαστή και πιο γρήγορα προσπελάσιμη. Όσο πιο γρήγορο τόσο μικρότερη, μιας και το κόστος αυξάνεται.



Εικόνα 36. Η Πυραμίδα ιεράρχησης της μνήμης⁶³.

Η Cache λοιπόν εισήχθηκε στον P6, ως μία μικρή γρήγορη και κοντινή μνήμη στον επεξεργαστή, χωρίς να απαιτείται η τεράστια αύξηση του κόστους. Περιείχε ένα μικρό ποσοστό των δεδομένων της κύριας μνήμης, παρέχοντας όμως ένα υψηλό ποσοστό επιτυχούς εύρεσης των δεδομένων που χρειαζόταν ο επεξεργαστής την εκάστοτε στιγμή, μιας και άλλαζε δυναμικά. Αυτά στηρίχθηκαν δεδομένου ότι ο κώδικας εισέρχεται σειριακά και πολλές φορές επαναεκτελείται (loops, procedures), ενώ η πρόσβαση σε προηγούμενα δεδομένα είναι συχνή.

⁶³http://images.slideplayer.com/27/9203219/slides/slide_10.jpg

2.6.2. Branch Prediction (Πρόβλεψη Διακλάδωσης)

Ο κώδικας διακλαδίζεται συνεχώς με αποφάσεις συνθήκης, γεγονός το οποίο καθιστά την ροή του εκτελέσιμου κώδικα σχετική. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα στην τεχνική pipeline, είναι πολύ σημαντικό να ξεκινά η εκτέλεση εντολών παρότι η εντολή απόφασης διακλάδωσης μπορεί να μην έχει ολοκληρωθεί ακόμα. Αν αυτό γίνεει τυχαία τότε το ποσοστό επιτυχίας είναι πάρα πολύ κακό, με αποτέλεσμα να εκτελείται κώδικας και να απασχολούνται πόροι κάνοντας εργασία η οποία πολύ συχνά θα πρέπει να πεταχτεί.

Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό εισήχθηκε η έννοια του Branch Prediction κατά το οποίο γίνεται πρόβλεψη της διακλάδωσης με τρόπο ευφυή, ώστε η ανούσια εκτέλεση κώδικα να είναι σπάνια. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η συνθήκη τερματισμού ενός for-loop 100 επαναλήψεων. Εάν το σύστημά μας είναι αρκετά έξυπνο ώστε να προβλέψει ότι μάλλον ο κώδικας του loop θα ξανατρέξει, τότε το ποσοστό επιτυχίας θα είναι 99%, μιας και θα αποτύχει μόνο την τελευταία φορά, όπου θα προέβλεπε ότι το for-loop ξανατρέχει, ενώ στην ουσία θα είχε ολοκληρωθεί.

Στον P6 η υλοποίηση του Branch Prediction γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Χρησιμοποίηση ιστορικού (ιδιωτικού ή παγκόσμιου) για την πρόβλεψη της κατεύθυνσης (τεχνικές simple Lee&Smith, advanced Yeh& Patt)
- Η διεύθυνση προορισμού λαμβάνεται από κάποιον πίνακα (γρηγρότερο) ή από κάποια εντολή (πιο αργό)
- Ο πίνακας ανανεώνεται αρχικά σύμφωνα με την πρόβλεψη και αργότερα σύμφωνα με την πραγματική εκτέλεση

Το κόστος κακής πρόβλεψης από την άλλη μεριά μπορεί να είναι μεγάλο, καθώς υπάρχει ένα βάθος εκτέλεσης εντολών, η χρησιμότητα του οποίου μπορεί να ποικίλει. Συνεπώς και το κόστος λάθος πρόβλεψης ποικίλει ανάλογα με το είδος του προβλέπτη (υψηλό κόστος στον Pentium Pro). Το ποσοστό σωστής πρόβλεψης στον P6 ήταν 92% με 95%, που αντιστοιχούσε σε μία λάθος πρόβλεψη ανά ~60 – 100 εντολές (θεωρώντας ότι κάποια διακλάδωση υφίσταται ανά 5 εντολές κατά μέσο όρο).

Η αρχιτεκτονική αυτή εφαρμόστηκε στα chips: Celeron, Pentium Pro, Pentium II Overdrive, Pentium II, Pentium II Xeon, Pentium III, Pentium III Xeon. Ήταν γνωστή ευρέως για την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την εξαιρετική απόδοση πράξεων ακεραίων και το υψηλό IPC (Instructions Per Cycle – πλήθος εντολών που εκτελούνται ανά κύκλο ρολογιού). Η

γενιά αυτή είχε διάδοχο την NetBurst (P68) η οποία παρουσιάστηκε στον Pentium 4. Αυτή ακολουθούσε τελείως διαφορετικό σχεδιασμό στηριζόμενο σε πολύ μακριά pipelines που επέτρεπαν υψηλές συχνότητες ρολογιού με αποτέλεσμα την μείωση του IPC αλλά και την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

2.6.3. Speculative Execution (Υποθετική Εκτέλεση)

Πρόκειται για μία τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στον P6 και αφορά στην εκτέλεση εντολών από ένα προβλεπόμενο (αλλά και μη βέβαιο) μονοπάτι κώδικα⁶⁴. Η κύρια ιδέα είναι η πραγματοποίηση εργασίας εκ των προτέρων προτού καταστεί γνωστό εάν χρειάζεται, έτσι ώστε να αποφευχθεί η καθυστέρηση που θα προέκυπτε εάν εκτελούνταν αφότου γινόταν γνωστή η αναγκαιότητά της. Η τεχνική αυτή σχετίζεται άμεσα με την πρόβλεψη διακλάδωσης στον pipelined P6, αλλά και με την εκ των προτέρων μεταφορά δεδομένων σε κοντινότερου επιπέδου μνήμη.

2.6.4. Dynamic Scheduling

Αφορά στον χρονικό προγραμματισμό της ροής των εντολών κατά τον χρόνο εκτέλεσης (run time) από τον Hardware και όχι κατά τον χρόνο μεταγλώττισης (Compile time) από το Software.

Αυτό είχε ως πλεονέκτημα ότι μπορεί να λειτουργήσει κατά την δυναμική ροή δεδομένων προγραμματίζοντας ανάμεσα σε procedures, modules κλπ.. Επίσης μπορούν έτσι να προσπελαστούν δυναμικά μεταβαλλόμενες τιμές και να διαχειριστούν ποικίλες καθυστερήσεις.

Το μειονέκτημα ήταν ότι μπορεί να προγραμματίσει μέσα σε ένα περιορισμένο χρονικό παράθυρο και όντας γρήγορο δεν μπορεί να είναι πολύ «έξυπνο», δηλαδή δεν μπορεί να γίνει πάντα ο αποδοτικότερος δυνατός προγραμματισμός εντολών.

2.6.5. Register Renaming και Data Dependency

Για να γίνει κατανοητό το πώς λειτουργεί η μετονομασία καταχωρητών ας υποθέσουμε τον παρακάτω κώδικα (**Πίνακας 15**).

⁶⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Speculative_execution

	Εντολή	Καταχωρητής προορισμού	Καταχωρητής πηγής	Αληθινή Εξάρτηση	Αντι-Εξάρτηση	Output Εξάρτηση
1	load	R2	(R1) μνήμη	■ ¹	▲ ¹	● ¹
2	mov	R3	R2	■ ¹ , ■ ²	▲ ²	
3	mov	R1	a	■ ³	▲ ¹	
4	mov	R2	R3	■ ²	▲ ²	● ¹ , ● ²
6	add	R2	R1	■ ³		● ²

Πίνακας 15. Η λειτουργία των καταχωρητών.

Εδώ παρατηρούμε αρχικά τις αληθινές εξαρτήσεις (1>2, 2>4, 3>5), κατά τις οποίες για να εκτελεστεί μία επόμενη εντολή χρειάζεται δεδομένα που προκύπτουν από μία προηγούμενη.

Οι υπόλοιπες εξαρτήσεις δεν είναι πραγματικές, μιας και δεν σχετίζονται μεταξύ τους ουσιωδώς. Πιο συγκεκριμένα στις αντι-εξαρτήσεις παρατηρούμε εγγραφή καταχωρητή από επόμενη εντολή ενώ θα πρέπει να αναγνωστεί νωρίτερα από προηγούμενη εντολή. Αυτό θα μπορούσε εύκολα να επιλυθεί με μετονομασία καταχωρητών. Επίσης παρατηρούμε Output εξαρτήσεις κατά τις οποίες μια προηγούμενη και μια επόμενη εντολή γράφουν στον ίδιο καταχωρητή.

Ο σκοπός της μετονομασίας καταχωρητών είναι να επιλύσει τις μη πραγματικές εξαρτήσεις, όπως φαίνεται στον παρακάτω κώδικα (**Πίνακας 16**):

	Before	After	Mapping
1	load R2, (R1)	load r21, (r10)	[R2 -> r21]
2	mov R3, R2	mov r31, r21	[R3 -> r31]
3	mov R1, a	mov r11, a	[R1 -> r11]
4	mov R2, R3	mov r22, r31	[R2 -> r22]
6	add R2, R1	add r23, r11, r22	[R2 -> r23]

Πίνακας 16. Η λειτουργία των καταχωρητών.

Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται οι ψευδείς εξαρτήσεις και οι περιορισμοί σε πλήθος καταχωρητών. Η υποθετική εκτέλεση υποστηρίζεται, μιας και οι μετονομασμένοι καταχωρητές παραμένουν μέχρις ότου η υπόθεση εξακριβωθεί ότι είναι σωστή.

2.6.6. Reorder Buffer (ROB)

Πρόκειται για έναν μηχανισμό μετονομασίας και απόσυρσης των καταχωρητών. Υλοποιείται με την βοήθεια ενός πίνακα ο οποίος έχει τις εντολές in-order, με την σειρά

δηλαδή που εμφανίζονται στον κώδικα⁶⁵. Στον πίνακα αυτό εισέρχονται οι εντολές και οι καταχωρητές μετονομάζονται αναλόγως. Όταν γίνει η ανάθεση των καταχωρητών η σειρά εκτέλεσης είναι αδιάφορη, ενώ μετά την εκτέλεση τα δεδομένα του πίνακα μαρκάρονται ως «ολοκληρωμένα» (έχουν εκτελεστεί). Ένα στοιχείο που έχει «ολοκληρωθεί» μπορεί να αποσυρθεί όταν όλες οι προηγούμενες εντολές έχουν αποσυρθεί (retired). Με την απόσυρση ενημερώνονται οι «πραγματικοί» καταχωρητές με τιμές και με αντίστοιχα ονόματα και η μνήμη ενημερώνεται.

Παρέχει ένα μεγάλο αριθμό φυσικών καταχωρητών για την μετονομασία καταχωρητών, με ένα register file μεγέθους 40. Πραγματοποιεί τις αλλαγές μόνο όταν επιλυθεί η υποθετική εκτέλεση, ενώ ταυτόχρονα εντοπίζει εξαιρέσεις (exceptions) και λανθασμένες προβλέψεις (mispredictions) και εκκινεί την επιδιόρθωση ώστε να επιστρέψει ο υπολογιστής στην σωστή κατάσταση και στην σωστή ροή εκτέλεσης. Συναυτά διατηρεί το πραγματικό σύνολο καταχωρητών (Real Register File – RRF).

2.6.7. Reservation Stations

Πρόκειται για ένα είδος δεξαμενής (pool) με όλες τις «όχι ακόμα εκτελεσμένες» εντολές. Σε αυτήν διατηρούνται τελεστές κατάστασης τύπου «έτοιμη/όχι-έτοιμη», ενώ σε κάθε κύκλο οι εκτελεσμένες εντολές θέτουν περισσότερους τελεστές ως «έτοιμους». Οι εντολές των οποίων όλοι οι τελεστές είναι «έτοιμοι» μπορούν «απελευθερωθούν» (dispatched) προς εκτέλεση. Η δομή «απελευθέρωσης» προς εκτέλεση επιλέγει ποιες από τις εντολές θα εκτελεστούν στην συνέχεια^{66,67}.

2.6.8. Memory Order Buffere (MOB)

Η κύρια ιδέα σε αυτό είναι η εκτός σειράς λειτουργία (out of order) μεταξύ λειτουργιών που σχετίζονται με την μνήμη. Το πρόβλημα σε αυτό είναι όταν υπάρχουν εξαρτήσεις μνήμης οι οποίες δεν μπορούν να επιλυθούν πλήρως στατικά (memory disambiguation), όπως για παράδειγμα όταν πρόκειται να καταχωρηθεί κάτι στην μνήμη, όπου η διεύθυνση μνήμης προέρχεται από καταχωρητή που το περιεχόμενό του δεν έχει επιλυθεί ακόμα, όπως φαίνεται παρακάτω.

Store r1, a; load r2,b => γίνεται να προβεί στην load πριν το store

Store r1, [r3]; load r2,b => το load πρέπει να περιμένει μέχρι η r3 να είναι γνωστή

⁶⁵<https://courses.cs.washington.edu/courses/cse471/07sp/lectures/Lecture4.pdf>

⁶⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Reservation_station

⁶⁷<http://www.icsa.informatics.ed.ac.uk/cgi-bin/hase/tomasulo.pl?reserv-t.html>

Στο παραπάνω παράδειγμα πρέπει αναγκαστικά η Load να περιμένει την store καθώς υπάρχει πιθανότητα η πρώτη εντολή να γράφει στην ίδια θέση όπου θέλει να διαβάσει η δεύτερη εντολή, δημιουργώντας ασυνέπεια.

Η δομή που υλοποιεί το MOB μοιάζει πολύ με εκείνη του ROB. Κάθε πρόσβαση προσδιορίζεται από ένα στοιχείο της MOB. Διευθύνσεις και δεδομένα (για τις εντολές store) ανανεώνονται όταν είναι γνωστά. Κάθε Load ελέγχεται έναντι όλων των προηγούμενων stores ως εξής:

- Αναμονή για εγγραφή από κάποια store στην ίδια διεύθυνση μέχρι τα δεδομένα να είναι έτοιμα
- Ένα τα σωστά δεδομένα είναι αποθηκευμένα απλά τα χρησιμοποιεί
- Αναμονή για εγγραφή από προηγούμενη store, εαν η διεύθυνση προορισμού δεν έχει επιλυθεί ακόμα
- Αν δεν υπάρχει εμπλοκή σχετικά με την διεύθυνση τότε πηγαίνει στην μνήμη

2.6.9. Dynamic Execution

Πρόκειται για έναν καινοτόμο συνδυασμό τριών επεξεργαστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται στον P6 και επιταχύνουν το λογισμικό:

- **Πολλαπλό Branch Prediction:** Αρχικά ο επεξεργαστής κοιτάει πολλαπλά βήματα μπροστά στο λογισμικό και προβλέπει ποιες διακλαδώσεις ή ομάδες εντολών είναι πιθανότερο να εκτελεστούν στην συνέχεια.
- **Ανάλυση Ροής Δεδομένων (data flow analysis):** ο επεξεργαστής P6 αναλύει ποιές εντολές είναι εξαρτημένες μεταξύ τους (true dependencies), ώστε να δημιουργηθεί ένας βελτιωμένος προγραμματισμός της σειράς εκτέλεσης των εντολών
- **Υποθετική εκτέλεση (speculative execution):** οι εντολές στη συνέχεια διεκπεραιώνονται σύμφωνα με αυτόν τον βελτιωμένο προγραμματισμό, χρησιμοποιώντας την superscalar επεξεργαστική ισχύ του chip αυξάνοντας την συνολική επίδοση του software.

2.7. NetBurst

Η μικροαρχιτεκτονική αυτή (ονομαζόμενη και P68 στην Intel) ήταν ο διάδοχος της P6 στην οικογένεια x86 της Intel. Ο πρώτος επεξεργαστής που χρησιμοποίησε αυτήν την αρχιτεκτονική ήταν ο Willamette-core Pentium 4 (**Εικόνα 37**), ο οποίος βγήκε στην αγορά τον Νοέμβριο του 2000 και αποτελούσε τον πρώτο Pentium 4. Όλοι οι επόμενοι Pentium 4

και Pentium D στηρίχθηκαν σε αυτήν την μικροαρχιτεκτονική. Στα μέσα του 2001 η Intel έβγαλε τον Foster core, ο οποίος επίσης στηριζόταν στην NetBurst, ενώ παράλληλα άλλαξε τους Xeon επεξεργαστές σύμφωνα με την νέα αρχιτεκτονική. Ο Celeron που βασίστηκε στον Pentium 4 χρησιμοποιούσε επίσης NetBurst μικροαρχιτεκτονική. Η μικροαρχιτεκτονική αυτή αντικαταστάθηκε από την Core μικροαρχιτεκτονική το 2006.

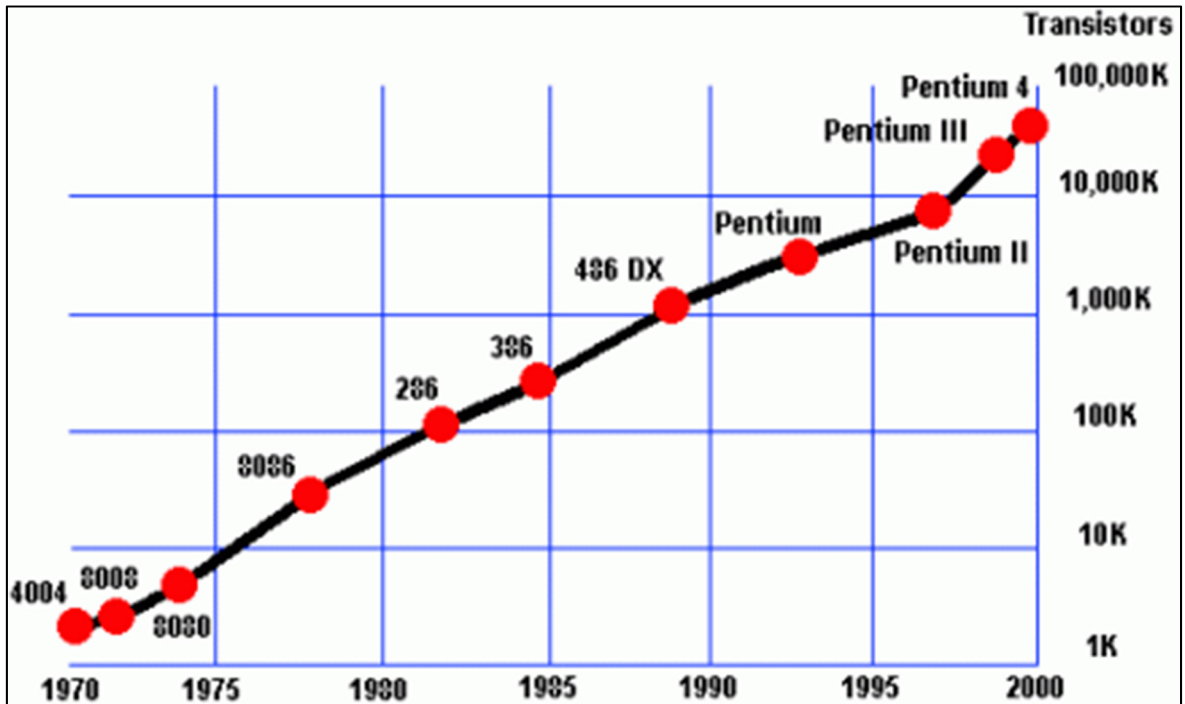


Εικόνα 37. Ο επεξεργαστής Pentium 4⁶⁸.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ο νόμος του *Moore* και πώς αυτός επιβεβαιώθηκε από την Intel⁶⁹. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, ο οποίος ορίστηκε από τον *Gordon Moore* το 1965 (συνιδρυτής της Intel), το πλήθος των transistors ανά ολοκληρωμένο κύκλωμα διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες. Ο *Moore* προέβλεψε πως αυτή η τάση θα ισχύσει για τα επόμενα 10 έτη, όμως, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, η Intel κατάφερε να ακολουθήσει τον νόμο αυτό για πολύ περισσότερο. Το 1978 ο 8086 έτρεχε στα 4.77MHz και είχε λιγότερα από 30,000 transistors. Με το τέλος της χιλιετίας ο Pentium 4 είχε 42 εκατομμύρια on-chip transistors και έτρεχε στα 1.5 GHz!

⁶⁸<http://i.nextmedia.com.au/news/intelp4netburst.jpg>

⁶⁹<https://www.pctechguide.com/cpu-architecture/moores-law-in-it-architecture>



Εικόνα 38. Ο νόμος του Moore⁷⁰.

ARCHITECTURE	NETBURST (P68)
L1 CACHE	8 KB to 16 KB per core
L2 CACHE	128 KB to 2048 KB
L3 CACHE	256 KB to 2048 KB (Xeon)
MODEL	4 MB to 16 MB shared
CREATED	Celeron Series
TRANSISTORS	November 20, 2000
INSTRUCTIONS	42M 180 nm (B2, C1, D0, E0)
EXTENSIONS	MMX
SOCKET(S)	x86-64, Intel 64 SSE, SSE2, SSE3, SSSE3 Socket 423 Socket 478 Socket 603 Socket 604 LGA 771 LGA 775
PREDECESSOR	P6
SUCCESSOR	Intel Core

Πίνακας 17. Τα χαρακτηριστικά του Netburst.

⁷⁰<https://www.pctechguide.com/cpu-architecture/moores-law-in-it-architecture>

Η γενιά αυτή είχε διάφορες βελτιώσεις που δεν υπήρχαν σε παλαιότερες εκδόσεις. Αναφορικά είναι τα:

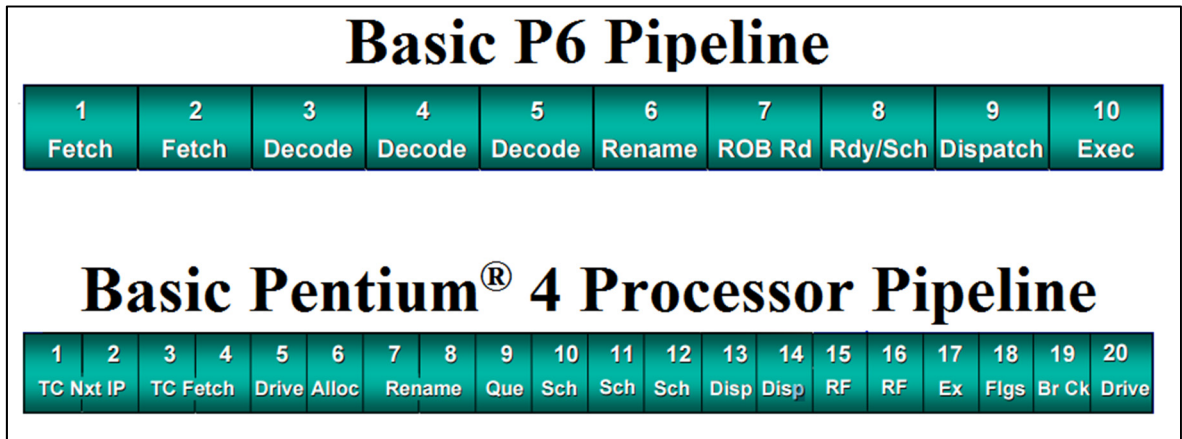
- Hyper Pipelined Technology,
- Hyper-Threading,
- Quad-Pumped Front-Side Bus
- Rapid Execution Engine,
- Replay System

2.7.1. Hyper Pipelined Technology

Το όνομα αυτό δόθηκε στο 20 σταδίων pipeline του Willamette core. Πρόκειται για μία σημαντική αύξηση στο πλήθος των επιπέδων συγκριτικά με τον Pentium III, το οποίο είχε μόνο 10 στάδια. Ο Prescott core έχει Pipeline 31 επιπέδων (μερικά επίπεδα απλά μεταφέρουν δεδομένα σε διάφορα μέρη του CPU). Παρόλο που ένα βαθύτερο (περισσοτέρων σταδίων) pipeline έχει μεγαλύτερο misprediction penalty (χρονική ποινή λανθασμένης πρόβλεψης), το μεγαλύτερο πλήθος σταδίων επιτρέπει στη CPU μεγαλύτερες ταχύτητες ρολογιού, οι οποίες υπερκάλυπταν κάθε απώλεια σε επίδοση λόγω λανθασμένης πρόβλεψης.

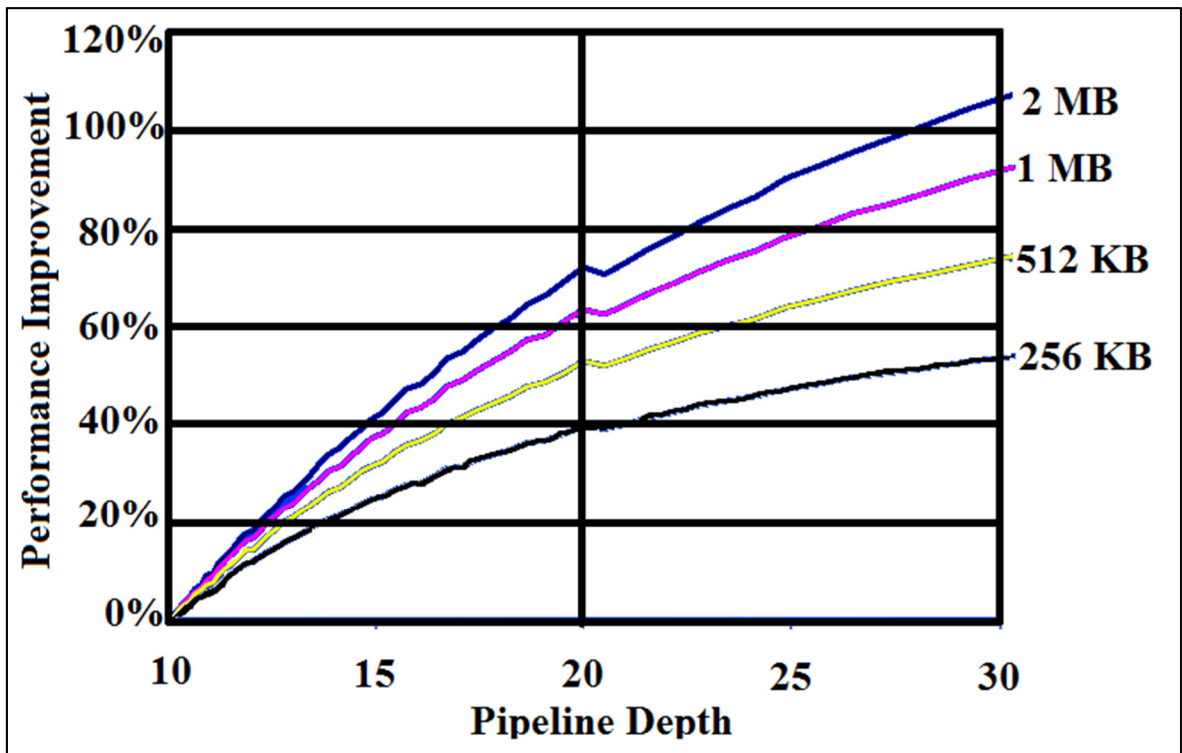
Μία έμμεση συνέπεια της αύξησης του βάθους pipeline είναι η μείωση του IPC (Instructions Per Cycle – εντολές που διευθετούνται ανά κύκλο ρολογιού). Ένα άλλο μειονέκτημα της ύπαρξης περισσοτέρων σταδίων είναι το μεγαλύτερο πλήθος πίσω βημάτων που πρέπει να πραγματοποιηθούν σε περίπτωση λανθασμένης πρόβλεψης, αυξάνοντας το missprediction-penalty σε μονάδες χρόνου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα η Intel ανέπτυξε την Rapid Execution Engine και επένδυσε πολλά στην τεχνολογία πρόβλεψης διακλάδωσης (branch prediction technology), η οποία σύμφωνα με την Intel μείωσε τα branch miss-predictions κατά 33% συγκριτικά με τον Pentium III⁷¹ (**Εικόνα 39**).

⁷¹[https://en.wikipedia.org/wiki/NetBurst_\(microarchitecture\)#Hyper_Pipelined_Technology](https://en.wikipedia.org/wiki/NetBurst_(microarchitecture)#Hyper_Pipelined_Technology)



Εικόνα 39. Οι τεχνολογίες διοχέτευσης των Pentium P6 και Pentium 4⁷².

Σύμφωνα με εκτέλεση κώδικα των συνηθισμένων εφαρμογών της εποχής (έτος 2000), μήκους όπως φαίνεται στην δεξιά στήλη, με την αύξηση του βάθους του pipeline από 10 στάδια έως και 30 έχουμε βελτίωση της επίδοσης μέχρι και πάνω από 100%, όπως ανακοίνωνε η Intel το 2002 (Εικόνα 40).



Εικόνα 40. Συγκριτικό διάγραμμα απόδοσης των τεχνολογιών διοχέτευσης⁷³.

⁷²<http://cseweb.ucsd.edu/classes/wi02/cse240/carmean.pdf>

⁷³<http://cseweb.ucsd.edu/classes/wi02/cse240/carmean.pdf>

2.7.2. Hyper Threading Technology (HTT)⁷⁴

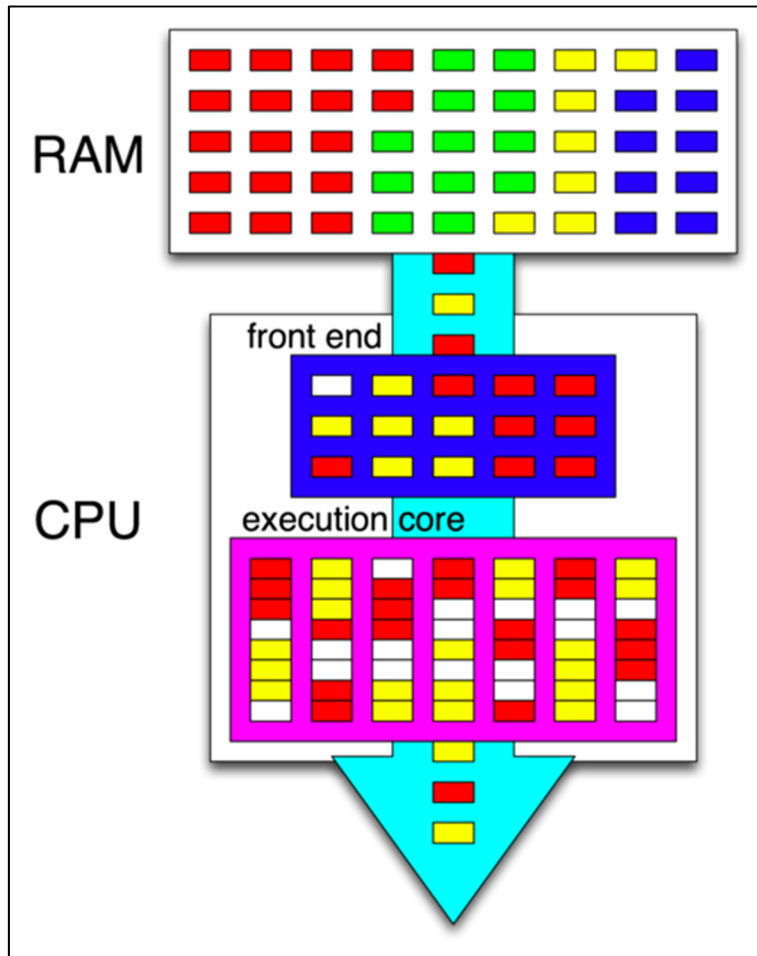
Το Hyper-Threading αφορά στο Simultaneous multithreading (SMT)⁷⁵ το οποίο ανέπτυξε η Intel στην αρχιτεκτονική αυτή ώστε να βελτιώσει το κομμάτι της παραλληλοποίησης των υπολογισμών, εκτελώντας tasks παραλλήλως χρονικά. Αυτό ήταν εφικτό μέσω hardware multithreading και επιτρέπει σε πολλαπλά ανεξάρτητα νήματα να εκτελούνται χρησιμοποιώντας καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους. Πρωτοεμφανίστηκε στους επεξεργαστές Xeon για servers τον Φεβρουάριο του 2002 και τον Νοέμβριο του ίδιου έτους στους Pentium 4 desktop CPUs.

Για κάθε επεξεργαστικό πυρήνα που υπάρχει φυσικά το λειτουργικό σύστημα διευθυνοδοτεί δύο εικονικούς (virtual ή logical) πυρήνες και διαμοιράζει τον φόρτο εργασίας μεταξύ των δύο όταν αυτό είναι εφικτό. Η κύρια λειτουργία του hyper-threading είναι η αύξηση του πλήθους των ανεξάρτητων εντολών μέσα στο pipeline. Εκμεταλλεύεται την superscalar αρχιτεκτονική στην οποία πολλαπλές εντολές εκτελούνται σε ξεχωριστά δεδομένα παραλλήλως. Κατά την HTT ένας φυσικός πυρήνας εμφανίζεται σαν δύο επεξεργαστές στο λειτουργικό σύστημα επιτρέποντας τον ταυτόχρονο προγραμματισμό (scheduling) δύο υπολογιστικών διαδικασιών ανά πυρήνα. Επιπροσθέτως δύο ή περισσότερες εντολές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τους ίδιους πόρους, δεδομένου ότι εάν οι πόροι για μία εντολή δεν είναι διαθέσιμοι μία άλλη εντολή μπορεί να συνεχίσει εάν οι πόροι της είναι διαθέσιμοι.

Στην παρακάτω απεικόνιση υψηλού επιπέδου του HTT οι εντολές έρχονται από την μνήμη RAM (διαφορετικά χρώματα απεικονίζουν διαφορετικά προγράμματα), αποκωδικοποιούνται και επανοργανώνονται στο front-end (τα άσπρα κουτάκια συμβολίζουν τις pipeline bubbles ή stalls) και περνούν τον πυρήνα εκτέλεσης, ο οποίος είναι ικανός να εκτελεί εντολές από δύο διαφορετικά προγράμματα στον ίδιο κύκλο ρολογιού.

⁷⁴ <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyper-threading>

⁷⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_multithreading



Εικόνα 41. Η τεχνολογία Hyper Threading⁷⁶.

2.7.3. Quad Front-Side Bus

Το Northwood και το Willamette είχαν ένα εξωτερικό Front-Side Bus ο οποίος έτρεχε στα 100MHz και είχε εύρος 64 Bits⁷⁷. Επειδή όμως ήταν τετραπλός (quad pumped) παρείχε ροή δεδομένων με την μνήμη με ρυθμό 3.2GB/s. Το chipset Intel Northwood i850 με διπλό κανάλι RD-RAM μπορούσε να παρέχει memory bandwidth 3.2GB/s. Ο Presler είχε έναν 800MHz front side bus εύρους 64bits, οπότε είχε την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων με ρυθμό 6.4GB/s με μνήμη 800MHz DDR2.

2.7.4. Rapid Execution Engine

Με αυτήν την τεχνολογία οι δύο ALUs (Arithmetic and Logical Units) στον πυρήνα της CPU είναι double-pumped (διπλής άντλησης), το οποίο σημαίνει ότι λειτουργούν στην

⁷⁶https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hyper-threaded_CPU.png

⁷⁷https://en.wikipedia.org/wiki/Front-side_bus

διπλάσια συχνότητα συγκριτικά με το ρολόι (σε έναν κύκλο εκτελούν διπλή εργασία). Για παράδειγμα σε έναν 3.8 GHz επεξεργαστή οι δύο ALUs δουλεύουν με συχνότητα 7.6 GHz. Ο λόγος δημιουργίας αυτής της τεχνικής ήταν προς βελτίωση της χαμηλής IPC (Instructions per cycle). Επιπροσθέτως η τεχνική αυτή βελτιώνει αισθητά την απόδοση του επεξεργαστή σχετικά με τις πράξεις ακεραίων. Η Intel επίσης αντικατέστησε τον υψηλής ταχύτητας barrel shifter (ψηφιακό κύκλωμα που μπορεί μετατοπίσει μία λέξη δεδομένων χωρίς χρήση ακολουθιακής λογικής, αλλά με χρήση συνδυαστικής λογικής)⁷⁸ με μία μονάδα εκτέλεσης shift/rotate, η οποία λειτουργεί στην ίδια συχνότητα με εκείνη του πυρήνα της CPU. Το μειονέκτημα είναι ότι λόγω αυτού συγκεκριμένες εντολές είναι πολύ πιο αργές συγκριτικά με προηγούμενες εκδόσεις, κάνοντας πολύ δύσκολη την βελτιστοποίηση (optimization) CPU στοχευμένης εργασίας.

2.7.5. Execution Trace Cache

Μέσα στην L1 cache της CPU η Intel ενσωμάτωσε την Execution Trace Cache. Αυτή ως κύρια εργασία είχε την αποθήκευση των μικροεντολών (micro-operations), έτσι ώστε όταν εκτελείται μία καινούργια εντολή, αντί να μεταφέρεται η εντολή (fetching) και να αποκωδικοποιείται (decoding) ξανά, η CPU έχει άμεση πρόσβαση στις αποκωδικοποιημένες μικροεντολές από την ETCache και ως εκ τούτου εξοικονομείται αξιοσημείωτος χρόνος.

Επιπλέον οι μικροεντολές cachάρονται στο προβλεπόμενο μονοπάτι εκτέλεσης, το οποίο σημαίνει ότι όταν οι εντολές έρχονται στην CPU από την Cache βρίσκονται ήδη στην σωστή σειρά εκτέλεσης. Αργότερα η Intel εισήγαγε μια παρόμοια αλλά απλούστερη έννοια, την UOP Cache ή Microoperation Cache⁷⁹.

2.7.6. Replay System

Πρόκειται για ένα υποσύστημα που πρωτοεμφανίστηκε στον επεξεργαστή Intel Pentium 4. Η κύρια λειτουργία του είναι να «πιάνει» εντολές οι οποίες έχουν σταλεί λανθασμένα προς εκτέλεση από τον scheduler του επεξεργαστή. Οι εντολές «πιάνονται» από το replay system και επανεκτελούνται σε ένα loop μέχρι οι απαραίτητες συνθήκες για την ορθή τους εκτέλεση να ικανοποιηθούν.

⁷⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Barrel_shifter

⁷⁹https://en.wikipedia.org/wiki/CPU_cache#UOP-CACHE

Αυτό το σύστημα προέκυψε λόγω της δημιουργίας απαιτήσεων υψηλών συχνοτήτων και κατ' επέκταση ενός μεγάλου βάθους pipeline (31 σταδίων) προς βελτίωση της επίδοσης των επεξεργαστών. Εξαιτίας αυτού υπήρχαν μέχρι και 6 στάδια μεταξύ του scheduler και των μονάδων εκτέλεσης του πυρήνα. Σε μία προσπάθεια διατήρηση αποδεκτών επιδόσεων οι μηχανικοί της Ίντελ έπρεπε να σχεδιάσουν έναν scheduler πολύ αποδοτικό⁸⁰.

Παρά τις βελτιώσεις αυτές η αρχιτεκτονική NetBurst δημιούργησε εμπόδια για τους μηχανικούς που προσπαθούσαν να κλιμακώσουν την επίδοση των επεξεργαστών αυτών. Με την συγκεκριμένη μικροαρχιτεκτονική η Ίντελ προσπάθησε να πετύχει ταχύτητες ρολογιού μέχρι και 10 GHz, αλλά λόγω της αντίστοιχα αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας αναγκάστηκε να κρατήσει την ταχύτητα σε αποδεκτά όρια. Η Ίντελ έφτασε σε ένα όριο ταχύτητας στα 3.8 GHz τον Νοέμβριο του 2004, αλλά αντιμετώπισε πολλά προβλήματα προσπαθώντας να το πετύχει αυτό. Εγκατέλειψε την NetBurst αρχιτεκτονική το 2006 όταν τα προβλήματα θερμότητας έφτασαν σε απαγορευτικά επίπεδα, οπότε ανέπτυξε την μικροαρχιτεκτονική Core, η οποία εμπνεύστηκε από την P6 Core και τον Pentium Pro καθώς και από τον Tualatin Pentium III-S και τον Pentium M.

2.7.7. Εκδόσεις

Στη γενιά αυτής της μικροαρχιτεκτονικής παρήχθησαν πολλές εκδόσεις, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Από τον αρχικό πυρήνα Willamette προέκυψε ο επόμενος, ο Northwood, τον Ιανουάριο του 2002. Ο πυρήνας αυτός συνδύαζε την αυξημένου μεγέθους Cache, μία μικρότερη πυκνότητα εκτύπωσης στα 130nm, καθώς και την Hyper-Threading Technology (παρότι τα αρχικά μοντέλα με εξαίρεση το 3.06 GHz μοντέλο είχαν απενεργοποιημένη αυτήν την λειτουργία).

Το Φεβρουάριο του 2004 η Intel παρουσίασε τον Prescott Πυρήνα, μία πιο ριζοσπαστική έκδοση του NetBurst. Ο πυρήνας αυτός είχε πυκνότητα εκτύπωσης στα 90nm και περιελάμβανε αρκετές σημαντικές αλλαγές στον σχεδιασμό, συμπεριλαμβανομένης μίας ακόμα μεγαλύτερης μνήμης Cache (από τα 512 KB του Northwood, στα 1MB αλλά και 2MB στον Prescott), ένα ακόμα βαθύτερο Pipeline (31 στάδια αντί των 20), έναν ισχυρώς βελτιωμένο branch predictor, την χρήση για πρώτη φορά SSE3 εντολών και αργότερα την υλοποίηση του Intel 64, όνομα το οποίο παραπέμπει στην υλοποίηση της x86-64 bits έκδοσης η οποία είναι συμβατή με την μέχρι τότε x86 μικροαρχιτεκτονική. Δύο από τα

⁸⁰https://en.wikipedia.org/wiki/Replay_system

μεγάλα θέματα αυτού του επεξεργαστή ήταν η κατανάλωση ενέργειας και η απαγωγή μεγάλων ποσών θερμότητας, κατατάσσοντας τον Prescott στους πιο «καυτούς» και «ενεργειακά πειναλέους» επεξεργαστές της Intel. Για τον λόγο αυτό ο Prescott περιορίστηκε στα 3.8 GHz, με μία mobile έκδοσή του στα 3.46 GHz.

Η Intel επίσης έβγαλε στην παραγωγή έναν διπύρρηνο επεξεργαστή βασισμένο στην μικροαρχιτεκτονική NetBurst, με το όνομα Pentium D. Ο πρώτος Pentium D είχε κωδικό όνομα Smithfield, ο οποίος στην πραγματικότητα ήταν 2 Prescott σε ένα die. Αργότερα παρήχθησε ο Presler, ο οποίος αποτελούταν από 2 Cedar Mill πυρήνες σε δύο διαφορετικά dies (65nm πυκνότητα εκτύπωσης) (**Πίνακας 18**).

ΕΚΔΟΣΗ	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ	ΣΤΑΔΙΑ PIPELINE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ
WILLAMETTE	Celeron, Pentium 4	20	180 nm	Νοε 2000
NORTHWOOD	Celeron, Pentium 4, Pentium 4 HT	20	130 nm	Ιαν 2002, Μαί 2003 (Hyper Threading)
GALLATIN	Pentium 4 HT Extreme Edition, Xeon	20	130 nm	Σεπ 2003 (Hyper Threading)
PRESCOTT	Celeron D, Pentium 4, Pentium 4 HT, Pentium 4 Extreme Edition	31	90 nm	Μαρ 2004, Φεβ 2004 (Hyper Threading), Prescott 2M Φεβ 2005
CEDAR MILL	Celeron D, Pentium 4	31	65 nm	Ιαν 2006
SMITHFIELD	Pentium D	31	90 nm	
PRESLER	Pentium D	31	65 nm	

Πίνακας 18. Χαρακτηριστικά των NetBurst Pentium 4 επεξεργαστών.

2.8. Intel Pentium IV

Ο Pentium IV ήταν μία γραμμή μονοπύρηνων επεξεργαστών για desktops και laptops καθώς και για βασικού επιπέδου servers, που βγήκε στην παραγωγή τον Νοέμβριο του 2000 και πωλούνταν μέχρι και τον Αύγουστο του 2008. Πρόκειται για το κύριο προϊόν της μικροαρχιτεκτονικής NetBurst P68, της πρώτης με τόσο βαθύ pipeline (20-31 σταδίων) και

τόσο υψηλών συχνοτήτων ρολογιού. Το 2004 μάλιστα βγήκε η πρώτη σειρά 64Bits Pentium 4 ως προέκταση των x86 (x86-64 σύνολο εντολών)⁸¹.

INTEL PENTIUM IV ARCHITECTURE NETBURST P68	
ΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	2000 – 2008
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΡΟΛΟΓΙΟΥ	1.3 GHz – 3.8 GHz
FSB SPEEDS	400 MT/s – 1066MT/s
TRANSISTORS	42M, 180 nm 55M, 130 nm 169M, 130 nm (P4EE) 125M, 90 nm 188M, 65 nm
ΣΥΝΟΛΟ ΕΝΤΟΛΩΝ	x86 (i386), x86-64, MMX, SSE, SSE2, SSE3
ΜΙΚΡΟΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	NetBurst (P68) 1, 2
SOCKETS	Socket 423 Socket 478 LGA 775
ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΣ	Pentium III
ΔΙΑΔΟΧΟΣ	Pentium D, Core
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ	Katmai, Coppermine, Coppermine T, Tualatin

Πίνακας 19. Χαρακτηριστικά των Pentium 4 επεξεργαστών.

Οι πρώτοι Pentium 4 ονόματι Willamette είχαν συχνότητα ρολογιού 1.3 – 2 GHz. Βγήκαν στην αγορά τον Νοέμβριο του 2000 και χρησιμοποιούσαν σύστημα Socket 423. Αξίζει να σημειωθεί το ταχύτητας 400MT/s (Mega Transfers per second) Front Side Bus. Στην πραγματικότητα δούλευε στα 100MHz, όμως λόγω της quad pumped τεχνολογίας (4 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από την συχνότητα ρολογιού) έφτανε την προαναφερθείσα ταχύτητα ροής δεδομένων. Σε αυτούς εισήχθη το SSE2 σύνολο εντολών.

Στην συνέχεια με τους Prescott Pentium 4 εισήχθησε το SSE3 σύνολο εντολών προς επιτάχυνση των υπολογισμών, των μεταφορών δεδομένων, της επεξεργασίας multimedia, 3D γραφικών και παιχνιδιών. Μεταγενέστερες εκδόσεις υποστήριζαν το προαναφερθέν Hyper-Threading Technology (HTT), που επέτρεπε σε έναν φυσικό επεξεργαστή να αντιμετωπίζεται και να εργάζεται σαν δύο εικονικούς (λογικούς) επεξεργαστές. Η Ίντελ

⁸¹https://en.wikipedia.org/wiki/Pentium_4

επίσης προώθησε στην αγορά και τους χαμηλών επιδόσεων Celeron οι οποίοι στηρίζονταν στην NetBurst μικροαρχιτεκτονική (συχνά αναφερόμενους και ως Celeron 4) και τους υψηλών επιδόσεων Xeon που προορίζονταν σε servers πολλών επεξεργαστών και σε σταθμούς εργασίας. Το 2005 ο Pentium 4 συμπληρώθηκε από τον Pentium D και τον Pentium Extreme Edition dual-core.



Εικόνα 42. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 4⁸².

2.8.1. Πυρήνες Pentium 4

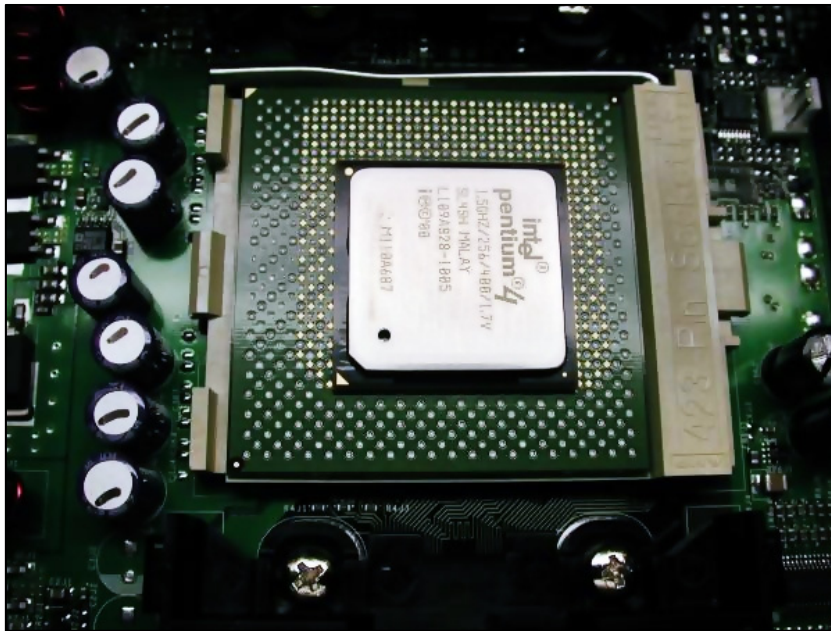
Οι επεξεργαστές αυτοί είχαν ένα ενσωματωμένο σύστημα διάχυσης θερμότητας (Integrated Heat Spreader – IHS), το οποίο εμποδίζει την πρόκληση ζημιάς στο die κατά τοποθέτηση/αφαίρεση κρέμας ψύξης (cooling solution).

2.8.2. Wilamette

Βγήκε στην αγορά τον Νοέμβριο του 2000 σε συχνότητες γύρω στο 1.5 GHz. Η πυκνότητα εκτύπωσής του ήταν στα 180nm και αρχικά χρησιμοποιούσε Socket 423 και αργότερα Socket 478. Θεωρείται ότι βγήκε στην αγορά κάπως πρώιμα για να καλύψει ένα κενό αγοράς που κατείχαν εταιρείες ανταγωνιστές, για αυτό και οι επιδόσεις του δεν ήταν και τόσο εντυπωσιακές, μιας και Pentium III υψηλών συχνοτήτων τον ξεπερνούσαν. Μειονεκτούσε στο ότι απαιτούσε RDRAM η οποία παρότι ήταν γρήγορη ήταν ιδιαίτερα ακριβή, χωρίς σημαντικές βελτιώσεις. Τον Απρίλιο του 2001 βγήκε στην αγορά ένας 1.7 GHz Pentium 4, για πρώτη φορά φανερά υπέρτερος από τον Pentium II. Τον Αύγουστο του 2001 η Intel έβγαλε 1.9 – 2.0 GHz Pentium 4 ενώ παράλληλα προώθησε το 845 chipset, το οποίο

⁸²<http://www.hardwaresecrets.com/wp-content/uploads/pentium4.png>

αντικαθιστούσε την ακριβή RDRAM από την κατά πολύ φθηνότερη PC133 SDRAM. Αυτό είχε την άμεση αύξηση της δημοτικότητας και των πωλήσεων των Pentium 4 (**Εικόνα 43**).



Εικόνα 43. Ο Pentium 4 τοποθετημένος σε μητρική⁸³.

2.8.3. Northwood

Τον Ιανουάριο του 2002 η Intel έβγαλε στην αγορά τους επεξεργαστές αυτούς σε τέσσερις επιλογές ταχύτητας: 1.6, 1.8, 2, 2.2 GHz, αυξάνοντας τόσο την L2 cache από 256 σε 512 KB, όσο και την πυκνότητα εκτύπωσης τρανζίστορ, μειώνοντας το μέγεθός του σε 130 nm και αυξάνοντας το πλήθος αυτών σε 55 εκατομμύρια (από 42). Τον ίδιο μήνα βγήκε στην αγορά το 845 chipset που υποστήριζε DDR SDRAM, διπλάσιου bandwidth της PC133 SDRAM.

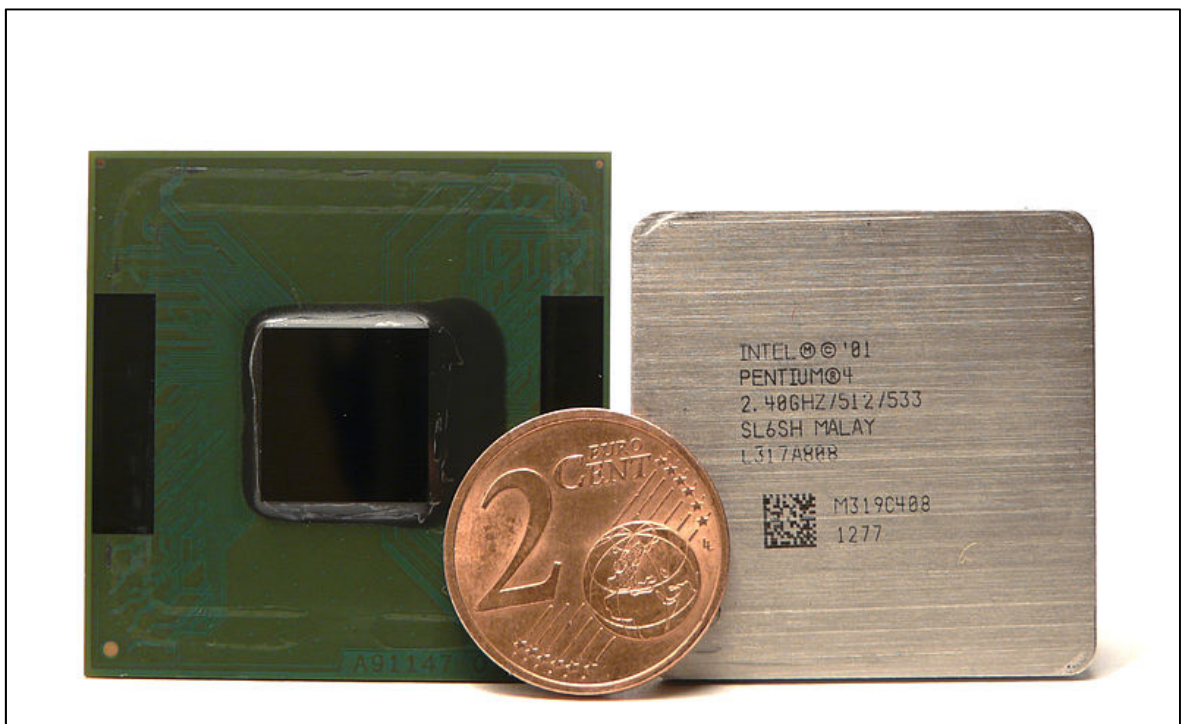
Τον Απρίλιο του 2002 βγήκε στην αγορά ο 2.4 GHz Pentium 4, στον οποίο υπήρχε αυξημένη ταχύτητα ροής δεδομένων στον FSB από 400MT/s σε 533MT/s (133 MHz συχνότητα ρολογιού bus), σταδιακά για τους 2.26, 2.4, 2.53, 2.66, 2.8 και 3.06 GHz που βγήκαν μέχρι το τέλος του έτους εκείνου.

Το 3.06 GHz Pentium 4 μοντέλο είχε ενεργοποιημένη την Hyper Threading Technology και αποτέλεσε την απαρχή των εικονικών επεξεργαστών (ή εικονικών πυρήνων), επιτρέποντας πολλαπλά νήματα εκτέλεσης να εκτελούνται ταυτόχρονα από τον ίδιο φυσικό επεξεργαστή.

⁸³https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Pentium_4_1.5_GHz_Willamette_Socket_423.jpg

Έτσι χρησιμοποιούνταν περισσότερο οι πόροι του επεξεργαστή, που σε διαφορετική περίπτωση θα έμεναν αχρησιμοποίητοι. Ο αρχικός 3.06 GHz 533FSB Pentium 4 Hyper-Threading enabled processor ήταν γνωστός και ως Pentium HT και βγήκε στην αγορά τον Νοέμβριο του 2002.

Τον Απρίλιο του 2003 βγήκε ο Pentium 4 HT με 800MT/s FSB (200 MHz physical clock), με συχνότητα ρολογιού επεξεργαστή 3 GHz, και HTT. Μέσα στο ίδιο έτος βγήκαν μοντέλα με συχνότητες 2.4, 2.6, 2.8 και 3.2 GHz, ενώ τον Φεβρουάριο του 2004 βγήκε η έκδοση Northwood στα 3.4 GHz (**Εικόνα 44**).



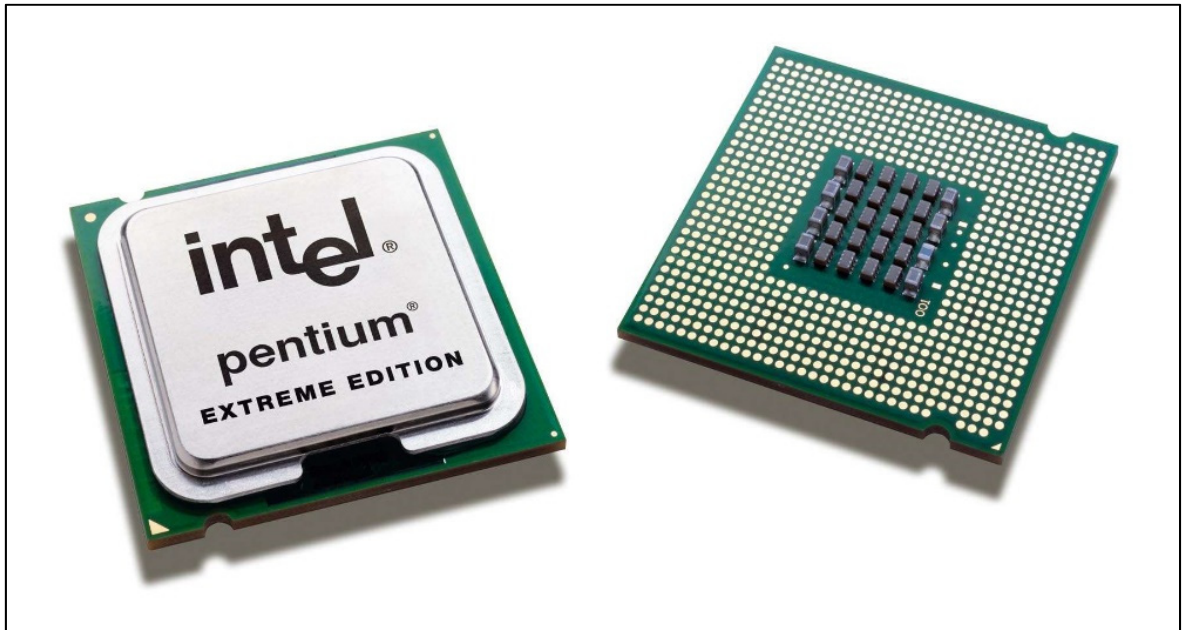
Εικόνα 44. Ο Pentium 4 και το συγκριτικό του μέγεθος⁸⁴.

2.8.4. Gallatin-Extreme Edition

Τον Σεπτέμβριο του 2003 βγήκε στην αγορά ο Pentium 4 Extreme Edition. Ο σχεδιασμός ήταν σχεδόν ίδιος με τους προηγούμενους Pentium 4, αλλά είχε επιπλέον 2 MB L3 Cache, 800MT/s FSB. Το μοντέλο αυτό είχε αυξημένες επιδόσεις ικανοποιώντας ανάγκες gaming και εφαρμογών multimedia.

⁸⁴https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pentium_4_Northwood_SL6SH.jpg

Τον Ιανουάριο του 2004 βγήκε μία έκδοση στα 3.4 GHz χρησιμοποιώντας αρχικά το Socket 478 και στην συνέχεια το Socket 775. Κατά το τέλος του έτους υπήρξε μία ελαφριά βελτίωση του μοντέλου λόγω της αύξησης της ταχύτητας του FSB στα 1066 MT/s και στα 3.46 GHz ρολόι επεξεργαστή. Στη συνέχεια βγήκε ο 3.73 GHz Extreme Edition, ο οποίος όμως δεν ήταν αποδοτικότερος από τον αντίστοιχο 3.46 GHz, με εξαίρεση την ικανότητα εκτέλεσης προγραμμάτων 64-bits (**Εικόνα 45**).



Εικόνα 45. Ο Pentium 4 Gallatin Extreme Edition⁸⁵.

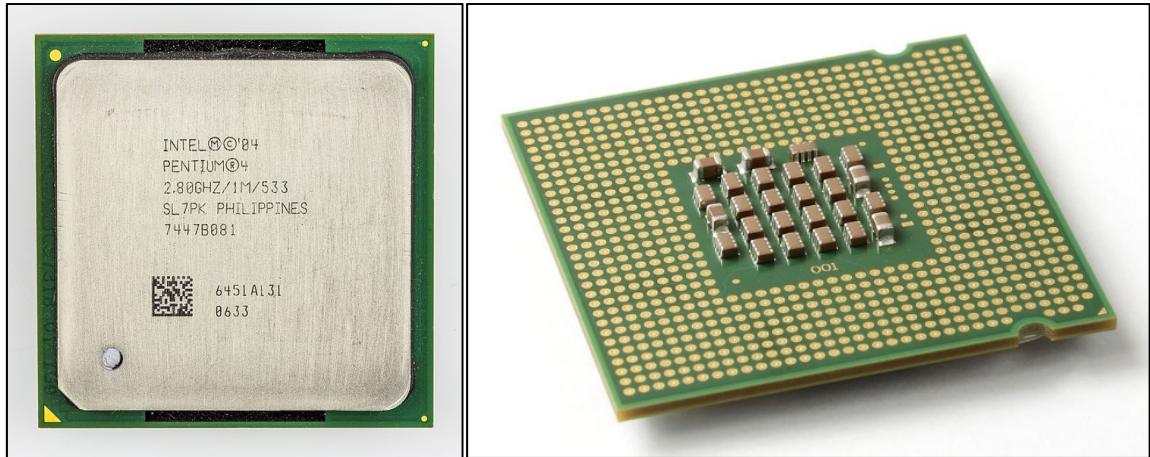
2.8.5. Prescott

Βγήκε στην αγορά τον Φεβρουάριο του 2004, με πυκνότητα εκτύπωσης της τάξης των 90nm για πρώτη φορά. Παρόλα αυτά οι γενικές επιδόσεις δεν ήταν ξεκάθαρα βελτιωμένες. Κάποια προγράμματα επωφελούνταν από την διπλάσια cache και το SSE3 instruction set του Prescott, ενώ άλλα έτρεχαν χειρότερα λόγω του βαθύτερου pipeline. Η συχνότητα του επεξεργαστή ήταν ελαφρώς αυξημένη φτάνοντας στο αποκορύφωμα τα 3.8 GHz, αφού υπήρχε πρόβλημα κατανάλωσης ενέργειας και απαγωγής θερμότητας.

Το Prescott περιείχε 125 εκατομμύρια transistors και είχε επιφάνεια die 112 mm². Η Intel έβγαλε αρχικά δύο γραμμές Prescott: την E-series με 800MT/s FSB και Hyper Threading, η οποία ήταν αποδοτικότερη, και την A-series με 533MT/s FSB και απενεργοποιημένο το Hyper Threading.

⁸⁵http://i.nextmedia.com.au/Features/pentiumee_processor.jpg

Στις αρχές του 2005 βγήκε στην παραγωγή το Prescott 2M Extreme Edition, υποστηρίζοντας Intel 64, XD Bit, EIST (Enhanced Intel SpeedStep Technology), Tm2 ενώ είχε 2 MB L2 Cache. Παρόλα αυτά η μεγαλύτερη καθυστέρηση της L2, καθώς και το διπλάσιο μέγεθος λέξης όταν χρησιμοποιούταν το mode Intel 64 ακύρωναν κάθε προτέρημα της νέας Cache. Τον Νοέμβριο του 2005 η Intel έβγαλε στην αγορά Prescott 2M επεξεργαστές με VT (Virtualization Technology).



Εικόνα 46. Ο Pentium 4 Prescott^{86,87}.

2.8.6. Cedar Mill

Η τελευταία έκδοση Pentium 4 ήταν η Cedar Mill και βγήκε στην αγορά τον Ιανουάριο του 2006. Αποτελούσε μία σμίκρυνση στο μέγεθος transistor στα 65 nm συγκριτικά με τους Prescott επεξεργαστές, χωρίς ιδιαίτερες διαφορές, παρέχοντας όμως αισθητά μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Είχε ίδιο 31 σταδίων pipeline, 800MT/s FSB ταχύτητα ροής δεδομένων, Intel 64, Hyper Threading Technology, δίχως όμως Virtualization Technology. Είχε 2 MB L2 Cache και έβγαινε σε συχνότητες 3 GHz με 3.6 GHz.

⁸⁶https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Pentium_4_2.80A-4014.jpg

⁸⁷https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_CPU_Pentium_4_640_Prescott_bottom.jpg



Εικόνα 47. Ο Pentium 4 Cedar Mill^{88,89}.

2.8.7. Core

Πρόκειται για την επόμενη γενιά μικροαρχιτεκτονικής της Intel μετά την NetBurst, η οποία βγήκε στην αγορά στις αρχές του 2006⁹⁰ (**Εικόνα 48**). Η γενιά αυτή αφορούσε επεξεργαστές που απευθύνονταν τόσο σε desktop όσο και σε mobile μηχανήματα, αλλά και σε servers, θέτοντας σε πρωταγωνιστικό ρόλο τους πολυπύρηνους επεξεργαστές. Πρόκειται για μία βελτίωση των παλαιότερων τεχνολογιών τόσο σε θέματα καθαρής επίδοσης (performance), όσο και σε θέματα κατανάλωσης ενέργειας, μιας και τέθηκαν πλέον πρωτεύοντες όροι όπως performance-per-watt και energy efficiency. Αυτή η μικροαρχιτεκτονική επεκτείνει την φιλοσοφία του energy efficiency (ενεργειακή αποδοτικότητα) της Mobile μικροαρχιτεκτονικής που υπήρχε στους Intel Pentium M επεξεργαστές και την ενισχύει με πολλές καινούργιες καινοτομίες αλλά και με προεκτάσεις της NetBurst μικροαρχιτεκτονικής⁹¹. Επιπλέον δόθηκε μεγάλη έμφαση στην κλιμάκωση των διεργασιών πολυπύρηνων επεξεργαστών σε συνδυασμό πάντα με τις υψηλές επιδόσεις και την χαμηλή κατανάλωση.

⁸⁸<https://89.img.avito.st/640x480/1302409889.jpg>

⁸⁹https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_CPU_Pentium_4_640_Prescott_bottom.jpg

⁹⁰[https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_Core_\(microarchitecture\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_Core_(microarchitecture))

⁹¹<http://bnrg.eecs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS294.F07/IntelNewArchitecture.pdf>



Εικόνα 48. Ο λογότυπος της Intel για τον Pentium 4 Core⁹².

Πιο συγκεκριμένα η μικροαρχιτεκτονική αυτή εμπνεύστηκε από τον πολυπύρηνο επεξεργαστή Yonah, ο πρώτος πυκνότητας εκτύπωσης 65nm, ο οποίος θεωρείται επέκταση της P6 μικροαρχιτεκτονικής, παρότι αποτελούσε μέλος της Pentium M μικροαρχιτεκτονικής. Η Intel Core μικροαρχιτεκτονική ήρθε να αντικαταστήσει την NetBurst η οποία έδειχνε ανικανότητα να προσφέρει λύσεις στα θέματα κατανάλωσης και υπερβολικής παραγωγής θερμότητας, καθώς και στα όρια αύξησης της συχνότητας του ρολογιού, αλλά και λόγω του ανεπαρκούς έναντι των απαιτήσεων pipeline της. Η νέα αυτή μικροαρχιτεκτονική είχε τελείως διαφορετικό σχεδιασμό, προσφέροντας υψηλή αποδοτικότητα με ένα μικρού βάθους pipeline παρά με υψηλές συχνότητες ρολογιού. Η μικροαρχιτεκτονική Core ποτέ δεν έφτασε τις ταύτητες ρολογιού της NetBurst ακόμα και όταν έφτασε σε πυκνότητα εκτύπωσης (λιθογραφία) των 45 nm. Παρόλα αυτά μεταγενέστερες μικροαρχιτεκτονικές που στρίχθηκαν στην Core ξεπέρασαν τις συχνότητες της NetBurst, όπως για παράδειγμα η Devil's Canyon, κατά την οποία η βασική συχνότητα ήταν 4 GHz, ενώ η μέγιστη επιτυχής λειτουργικά κατά τα πειράματα ήταν η 4.4 GHz, με λιθογραφία στα 22 nm.

⁹²https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Core_2_Quad.png

ARCHITECTURE	INTEL CORE X86
L1 CACHE	64 KB per core
L2 CACHE	1 MB to 8MB unified
L3 CACHE	8 MB to 16 MB shared (Xeon)
MODEL	Celeron Series
CREATED	2006
TRANSISTORS	105M 65 nm (A1, M0)
INSTRUCTIONS	MMX
EXTENSIONS	x86-64, Intel 64 SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4
SOCKET(S)	Socket M (μPGA 478) Socket P (μPGA 478) Socket T (LGA 775) FCBGA (μBGA 479) FCBGA (μBGA 965)
PREDECESSOR	Enhanced Pentium M
SUCCESSOR	Penryn (tick) Nehalem (tock)

Πίνακας 20. Χαρακτηριστικά των Pentium 4 Core επεξεργαστών.

Οι πρώτοι επεξεργαστές της γενιάς είχαν τα ονόματα “Merom” (για mobile computing), “Conroe” (για Desktop Systems) και “Woodcrest” (για servers και workstations). Παρότι αυτοί οι τρεις επεξεργαστές ήταν πανομοιότυποι από αρχιτεκτονική σκοπιά, διέφεραν στο κύκλωμα στο οποίο εφαρμόζονταν (sockets), στις ταχύτητες bus, αλλά και στην κατανάλωση ενέργειας. Οι συνηθισμένοι επεξεργαστές που βασίστηκαν στην αρχιτεκτονική αυτή ονομάζονταν στην αγορά Pentium Dual-Core ή Pentium, ενώ οι αντίστοιχοι χαμηλότερων επιδόσεων ονομάζονταν Celeron. Οι αντίστοιχοι server ή workstation επεξεργαστές ονομάστηκαν Xeon. Οι πρώτοι 64 bit desktop και mobile επεξεργαστές της Core μικροαρχιτεκτονικής ονομάστηκαν Core 2.

Αξίζει να σημειωθεί πως η κύρια ιδέα του Performance έχει να κάνει τόσο με την συχνότητα του ρολογιού του επεξεργαστή όσο και με τις ολοκληρωθείσες εντολές ανά κύκλο ρολογιού, το οποίο περιγράφεται ως:

$Performance = Frequency \times Instructions\ Per\ Cycle\ (IPC)$, **Εξίσωση 3.**

Ιδανικά για να αυξηθεί το performance πρέπει να αυξηθούν και οι δύο μεταβλητές της συναρτησης αυτής. Παρόλα αυτά η γενιά αυτή εστίασε περισσότερο στην αύξηση του IPC διατηρώντας σχεδόν σταθερό το Frequency συγκριτικά με την προηγούμενη γενιά.

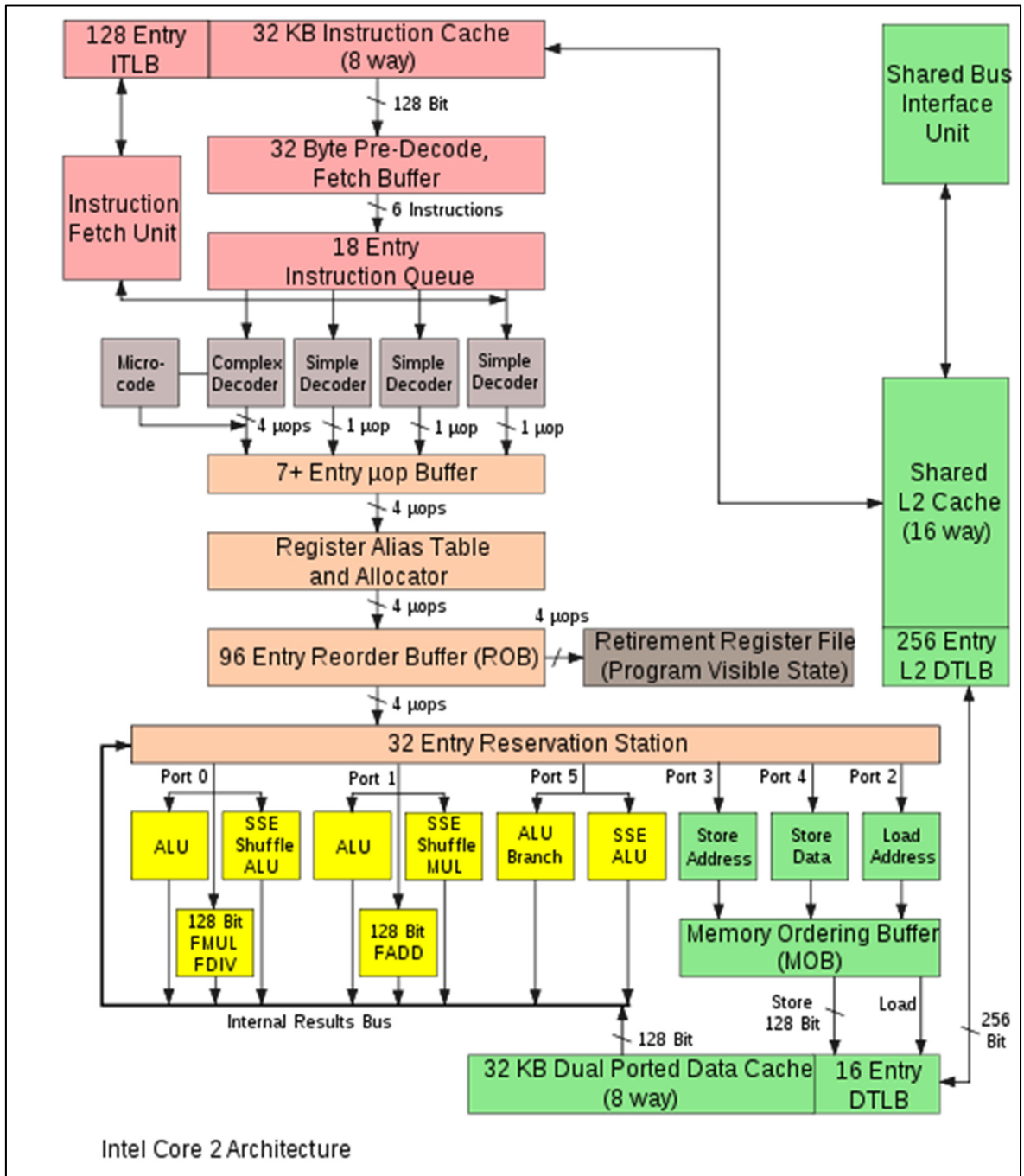
Επιπλέον η αύξηση των επιδόσεων μπορεί να επιτευχθεί με την μείωση των εντολών που χρειάζονται να πραγματοποιηθούν για να ολοκληρωθεί μία διεργασία. Η τεχνική Single Instruction Multiple Data (SIMD) είναι μία τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για αυτόν ακριβώς τον λόγο. Πρωτοεφαρμόστηκε σε εντολές ακεραίων 64 bit το 1996 στον επεξεργαστή Intel Pentium με τεχνολογία MMX και στην συνέχεια εμφανίστηκε σε πράξεις floating point (κινητής υποδιαστολής) μονής ακρίβειας 128 bit SIMD, αλλά και σε Streaming SIMD Extensions (SSE) στον Pentium III καθώς και SSE2 και SSE3 σε επόμενες γενιές.

Μία άλλη καινοτόμα τεχνικής που εισήγαγε η Intel στην Core γενιά ήταν η microfusion. Αυτή συνδύαζε πολλές συνηθισμένες micro-operations (micro-ops, uops, εσωτερικές εντολές του επεξεργαστή) μέσα σε μία micro-op, οπότε έτσι μειωνόταν ο συνολικός αριθμός των μικροεντολών που χρειαζόταν να εκτελεστούν για μία συγκεκριμένη διεργασία.

Επιπροσθέτως στην προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας η Ίντελ άρχισε να λαμβάνει υπόψη την ενέργεια που θα καταλάωνε ένας επεξεργαστής για να ολοκληρώσει ένα συγκεκριμένο task. Εδώ η κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται με την δυναμική χωρητικότητα (η αναλογία του ηλεκτροστατικού φορτίου σε έναν αγωγό προς την διαφορά δυναμικού μεταξύ των αγωγών που απαιτείται για την διατήρηση του φορτίου) που απαιτείται για την διατήρηση της αποδοτικότητας της IPC, επί το τετράγωνο της τάσης που παρέχεται στα transistors και στους I/O Buffers επί την συχνότητα αλλαγής των transistors και των σημάτων. Ως συνάρτηση αυτό θα μπορούσε να εκφραστεί ως:

$Power = Dynamic\ Capacitance \times Voltage^2 \times Frequency$, **Εξίσωση 4.**

Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την συνάρτηση κατανάλωσης ισχύος σε συνδυασμό με την συνάρτηση επίδοσης (προηγούμενη) οι σχεδιαστές ισορρόπησαν προσεκτικά την IPC Efficiency με το Dynamic Capacitance σε συνδυασμό με την παρεχόμενη τάση και την συχνότητα, ώστε να βελτιστοποιήσουν κατά το δυνατόν τον συνδυασμό αυτών των βασικών στόχων στην μικροαρχιτεκτονική Core: Performance + Power Consumption, αυξάνοντας τον λόγο Performance Per Wat (**Εικόνα 49**).



Εικόνα 49. Η μικροαρχιτεκτονική του Intel Core⁹³.

2.8.8. Χαρακτηριστικά της Intel Core Μικροαρχιτεκτονικής

Το πρώτο χαρακτηριστικό αυτής της γενιάς είναι ότι επέστρεψε σε χαμηλότερες συχνότητες ρολογιού αλλά με βελτιωμένη χρήση των διαθέσιμων κύκλων ρολογιού και της κατανάλωσης ενέργειας συγκριτικά με την NetBurst μικροαρχιτεκτονική. Παρείχε πιο αποδοτικά στάδια decoding (αποκωδικοποίησης της εισερχόμενης στον επεξεργαστή

⁹³https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Intel_Core2_arch.svg

εντολής), αποδοτικότερες μονάδες επεξεργασίας, caches, και buses, μειώνοντας την κατανάλωση των Core 2 επεξεργαστών και ταυτόχρονα αυξάνοντας την επεξεργαστική τους δύναμη.

Όπως και οι επεξεργαστές NetBurst οι Core επεξεργαστές υποστηρίζουν πολλαπλούς πυρήνες και hardware virtualization (Intel VT-x), καθώς και Intel 64 και SSSE3. Παρόλα αυτά οι Core επεξεργαστές δεν είχαν την Hyper Threading Technology που είχαν οι Pentium 4. Αυτό συμβαίνει διότι η Core Μικροαρχιτεκτονική αποτελεί απόγονο της P6 που χρησιμοποιούσαν οι επεξεργαστές Pentium Pro, Pentium II, Pentium III και Pentium M.

Το μέγεθος της L1 Cache μνήμης αυξήθηκε από 32 KB στους Pentium II/III (16 KB L1 Data + 16 KB L1 Instruction) σε 64 KB L1 Cache/Core (32 KB L1 Data + 32 KB L1 Instruction) στους Pentium M αλλά και στους Core/Core 2. Επίσης δεν υπάρχει L3 cache με εξαίρεση τα Xeon Core μοντέλα. Τόσο η L3 Cache, όσο και το Hyper Threading επανήλθε στην επόμενη μικροαρχιτεκτονική ονόματι Nehalem. Παρακάτω θα αναφερθούν κάποια από τα καινοτόμα χαρακτηριστικά αυτής της γενιάς.

2.8.8.1. Intel Wide Dynamic Execution

Πρόκειται για έναν συνδυασμό τεχνικών (data flow analysis, speculative execution, out-of-order execution και superscalar (=ανάλυση ροής δεδομένων, υποθετική εκτέλεση, εκτέλεση εκτός σειράς, υπερκλιμάκωση)), τα οποία είχαν πρωτοεισηχθεί στην μικροαρχιτεκτονική P6 της Ίντελ (βλ. και προαναφερθέντα). Στην γενιά NetBurst η Intel είχε δημιουργήσει την Advanced Dynamic Execution engine, μία υψηλού βάθους (σε αρμονία με το υψηλό βάθος pipeline της γενιάς), out-of-order μηχανή υποθετικής εκτέλεσης, σχεδιασμένη έτσι ώστε οι μονάδες εκτέλεσης του επεξεργαστή να συνεχίζουν αδιάκοπα να εκτελούν εντολές. Στην γενιά NetBurst υπήρχε επίσης ένας ενισχυμένος αλγόριθμος πρόβλεψης διακλάδωσης (branch prediction algorithm) για την μείωση των λάθους προβλέψεων (mispredictions).

Όλα αυτά τα προτερήματα ενισχύθηκαν από το Wide Dynamic Execution, το οποίο επέτρεπε το πέρας περισσότερων εντολών ανά κύκλο ρολογιού. Κάθε πυρήνας εκτέλεσης ήταν ευρύτερος επιτρέποντας σε κάθε πυρήνα να φέρνει, αποκωδικοποιεί, εκτελεί κι επιστρέφει έως και 4 πλήρεις εντολές ταυτόχρονα (οι Mobile και NetBurst μικροαρχιτεκτονικές επέτρεπαν την διαχείριση το πολύ τριών εντολών κάθε φορά). Στην τεχνολογία αυτή ενσωματώθηκαν ακριβέστεροι Branch predictors, βαθύτεροι Instruction buffers αλλά και άλλες τεχνικές που μείωσαν τον χρόνο εκτέλεσης.

Μία τέτοια τεχνική αυτής της τεχνολογίας ήταν και το macrofusion. Σε προηγούμενες γενιές κάθε εισερχόμενη εντολή αποκωδικοποιούταν και εκτελούταν μεμονομένα. Με την τεχνική macrofusion δόθηκε η δυνατότητα να συνδυαστούν συσχετιζόμενες νοηματικά εντολές (όπως για παράδειγμα μία εντολή σύγκρισης με μία εντολή απόφασης διακλάδωσης υπό συνθήκη) σε μία εσωτερική εντολή, την micro-op, κατά το στάδιο decoding (αποκωδικοποίησης). Δύο εντολές μπορούν έτσι να εκτελεστούν ως μία micro-op μειώνοντας έτσι τον συνολικό όγκο εργασίας που πρέπει να κάνει ο επεξεργαστής και κατ' επέκταση αυξάνοντας το πλήθος των εντολών που μπορούν να έρθουν σε πέρας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (ή αντιστρόφως σκεπτόμενοι μειώνοντας τον χρόνο εκτέλεσης ενός συνόλου εντολών). Επίσης στην τεχνολογία αυτή της Core μικροαρχιτεκτονικής συμπεριλαμβάνεται και μία ενισχυμένη ALU (Αριθμητική και Λογική Μονάδα), η οποία υποστήριζε το macrofusion.

Στη γενιά αυτή επίσης ενισχύθηκε το Micro-Op Fusion, αυξάνοντας τις επιδόσεις και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, ιδέα η οποία πρωτοεισήχθη στους Pentium M επεξεργαστές. Στους επεξεργαστές της Core εποχής οι x86 εντολές ενός προγράμματος (macro-ops) αναλύονταν σε μικρότερα κομμάτια (επιμέρους εντολές), ονομαζόμενες ως micro-ops πριν σταλούν στο pipeline του επεξεργαστή προς επεξεργασία. Η τεχνική Micro-Op Fusion, όπως υπονοεί και το όνομά της, συγχώνευε micro-ops που έρχονταν από την ίδια macro-op, με σκοπό την μείωση των micro-ops που χρειαζόνταν συνολικά να εκτελεστούν μέχρι και κατά 10%, αυξάνοντας έτσι τις επιδόσεις του συστήματος.

2.8.8.2. Intel Intelligent Power Capability

Το χαρακτηριστικό αυτό αφορά σε ένα σύνολο δυνατοτήτων σχεδιασμένων να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και τις απαιτήσεις σχεδιασμού. Αυτό το χαρακτηριστικό διαχειρίζεται την κατά την κτέλεση κατανάλωση ισχύος όλων των πυρήνων του επεξεργαστή. Συμπεριλάμβανε μία προηγμένη δυνατότητα αντιστάθμισης ισχύος που επέτρεπε τον λογικό έλεγχο υποσυστημάτων μεμονομένων λογικών επεξεργαστών, ενεργοποιώντας τα μόνο εάν και όταν αυτά χρειαζόνταν. Επιπλέον πολλά buses και arrays χωρίζονται ώστε τα δεδομένα που απαιτούνται σε συγκεκριμένα modes λειτουργιών να μπορούν να τοποθετηθούν σε χαμηλής ενέργειας κατάσταση όταν δεν χρειάζονται. Έτσι επιτεύχθηκε η εξοικονόμηση ενέργειας με έξυπνο τρόπο, ώστε να συμβαίνει όταν πραγματικά είναι εφικτό, χωρίς να προκύπτει αστάθεια ή μη απόκριση των προγραμμάτων που εκτελούνταν, τουλάχιστον σύμφωνα με την Intel.

2.8.8.3. Intel Advanced Smart Cache

Αυτή η τεχνολογία αφορά στην βελτιωμένη πολυπύρηνη Cache η οποία βελτιώνει την επίδοση και την αποδοτικότητα του συστήματος αυξάνοντας την πιθανότητα κάθε πυρήνας εκτέλεσης του διπύρηνου Core επεξεργαστή να βρει τα δεδομένα που χρειάζεται με την βοήθεια ενός cache υποσυστήματος. Για να το πετύχει αυτό η Intel έδωσε την δυνατότητα από κοινού χρήσης της L2 Cache μεταξύ των πυρήνων. Έτσι η απόδοση ενός παραλληλοποιήσιμου κώδικα αυξάνεται, αφού χρησιμοποιεί πρόσβαση στα ίδια δεδομένα, μειώνοντας έτσι τις χρονοβόρες προσβάσεις σε ανώτερα (πιο μακριά χρονικά) επίπεδα μνήμης και αυξάνοντας το Hit-Miss ratio (διαθεσιμότητα σε κοντινή μνήμη cache των απαιτούμενων δεδομένων).

2.8.8.4. Intel Smart Memory Access

Η τεχνική αυτή βελτίωσε την απόδοση του υπολογιστικού συστήματος βελτιστοποιώντας την χρήση του διαθέσιμου εύρους δεδομένων από το υποσύστημα μνήμης, “κρύβοντας” τις καθυστερήσεις λόγω πρόσβασης σε ανώτερα επίπεδα μνήμης (RAM). Ο στόχος αυτής της τεχνικής ήταν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που έρχονται από την κύρια μνήμη το γρηγορότερο δυνατό και τα δεδομένα να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά όταν χρειάζονται προς επεξεργασία.

Σε αυτήν την προσπάθεια εισήχθησε η δυνατότητα που ονομάστηκε memory disambiguation (αποσαφήνιση μνήμης), η οποία αύξανε την αποδοτικότητα της out-of-order επεξεργασίας, παρέχοντας την δυνατότητα στους πυρήνες επεξεργασίας να φορτώνουν δεδομένα σε cache υποθετικώς, προτού δηλαδή αυτά να χρειαστούν από τις ήδη αποθηκευμένες εντολές. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό αυτό θα πρέπει να σκεφτούμε πώς λειτουργούν οι out-of-order μικροεπεξεργαστές.

Σε φυσιολογικές συνθήκες όταν ένας οσο μικροεπεξεργαστής ανακατατάσσει τις εντολές, μπορεί να επαναπρογραμματίσει φορτώσεις (loads) πριν από αποθηκεύσεις (stores), αφού δεν γνωρίζει εάν υπάρχουν data location dependencies (εξαρτήσεις δεδομένων) που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα συνέπειας του εκτελέσιμου κώδικα. Παρόλα αυτά σε πολλές περιπτώσεις οι φορτώσεις δεν εξαρτώνται από προηγούμενες αποθηκεύσεις και πραγματικά μπορούν να πραγματοποιηθούν εκ των προτέρων, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα. Το πρόβλημα σε αυτό ίναι η αναγνώριση τέτοιου είδους φορτώσεων έναντι εκείνων που πρέπει για λόγους συνέπεια να υποστούνκαθυστέρηση.

Η τεχνική memory disambiguation χρησιμοποίησε ευφυείς αλγορίθμους προς αξιολόγηση εάν μία φόρτωση μπορεί να εκτελεστεί πριν από προηγούμενο κατά σειρά κώδικα store. Εάν λοιπόν προβλεφθεί ότι μπορεί να γίνει τότε οι εντολές φόρτωσης προγραμματίζονται (scheduled) πριν τις εντολές αποθήκευσης, επιτρέποντας την υψηλότερη δυνατή παραλληλοποίηση σε επίπεδο εντολής. Εάν η υποθετική φόρτωση καταλήξει να είναι ορθή τότε ο επεξεργαστής καταναλώνει λιγότερο χρόνο προς αναμονή του δεδομένου έχοντας σαν αποτέλεσμα την γρηγορότερη εκτέλεση και την αποδοτικότερη χρήση των πόρων επεξεργασίας. Εάν στην σπάνια περίπτωση προκύψει ότι η φόρτωση δεν έπρεπε να πραγματοποιηθεί τότε το σύστημα memory disambiguation εντοπίζει το conflict, επαναφορτώνει τα σωστά δεδομένα και επανετελεί την εντολή.

Επιπροσθέτως αυτού του συστήματος το Intel Smart Memory Access συμπεριλάμβανε και προηγμένους προφορτωτές (advanced prefetchers). Η δουλειά αυτών είναι η εκ των προτέρων μεταφορά των δεδομένων μνήμης προτού αυτά ζητηθούν, έτσι ώστε να τοποθετηθούν στην Cache Μνήμη και να είναι άμεσα προσβάσιμα όταν χρειαστούν. Έτσι αυξάνονται οι προσβάσεις στην Cache έναντι των προσβάσεων στην κύρια μνήμη, μειώνοντας έτσι καθυστερήσεις πρόσβασης δεδομένων και άρα αυξάνοντας τις επιδόσεις του συστήματος.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο prefetchers ανά L1 Cache μνήμη και δύο prefetchers ανά L2 Cache μνήμη, οι οποίοι ανιχνεύουν πολλαπλά μοτίβα πρόσβασης δεδομένων ταυτοχρόνως, επιτρέποντας την ορθή προφόρτωση.

Ο συνδυασμός των προαναφερθέντων τεχνικών είχε σαν αποτέλεσμα το βελτιωμένο execution throughput μεγιστοποιώντας την χρήση του διαθέσιμου system-bus-bandwidth (εύρος ροής δεδομένων στις αρτηρίες δεδομένων) και “κρύβοντας” τις τυχούσες καθυστερήσεις.

2.8.8.5. Intel Advanced Digital Media Boost

Το χαρακτηριστικό αυτό βελτιώνει σημαντικά τις επιδόσεις του συστήματος όταν εκτελούνταν εντολές Streaming SIMD Extension (SSE). Οι εντολές 128-bit SIMD ακεραίων αριθμών αλλά και 128-bit SIMD κινητής υποδιαστολής διπλής ακρίβειας μείωναν τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης που χρειαζόταν ένα συγκεκριμένο task προγράμματος και ως εκ τούτου βελτιώναν την συνολική επίδοση. Αυτές οι εντολές επιτάχυναν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών επεξεργασίας video, ομιλίας, εικόνας αλλά

και επεξεργασίας φωτογραφίας, κρυπτογραφίας, οικονομικών, engineering και επιστημονικών εφαρμογών. Οι SSE εντολές ενίσχυαν τις αρχιτεκτονικές της Ίντελ επιτρέποντας στους προγραμματιστές να αναπτύσσουν αλγορίθμους που αναμιγνύουν αριθμούς απλής ακρίβειας, κινητής υποδιαστολής αλλά και ακεραίους χρησιμοποιώντας και SSE αλλά και MMX εντολές.

Σε παλαιότερες γενιές επεξεργαστών, οι 128-bit SSE, SSE2, SSE3 εντολές εκτελούνταν με τον σταθερό ρυθμό της μίας πλήρης εντολής κάθε δύο κύκλους. Το χαρακτηριστικό Intel®Advanced Digital Media Boost επέτρεψε σε αυτές τις 128-bit εντολές να εκτελούνται πλήρως σε ρυθμό μίας κάθε κύκλο ρολογιού, αυξάνοντας έτσι το συνολικό IPC αυτής της γενιάς επεξεργαστών. Αυτή η τεχνική ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές multimedia (graphics, video, audio) αλλά και άλλες εφαρμογές με πλούσια data sets που χρησιμοποιούσαν SSE, SSE2, SSE3 εντολές.

2.8.9. Επεξεργαστές Αρχιτεκτονικής Core

Οι επεξεργαστές αυτής της αρχιτεκτονικής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από το πλήθος των πυρήνων, το μέγεθος των Cache μνημών και το socket. Κάθε συνδυασμός αυτών των χαρακτηριστικών έχει ένα μοναδικό κωδικό όνομα και κωδικό προϊόντος που χρησιμοποιήθηκε σε διάφορες επωνυμίες. Για παράδειγμα το όνομα “Allendale” με κωδικό προϊόντος 80557 είχε δύο πυρήνες, 2 MB L2 Cache και desktop socket 775, αλλά στην αγορά λανσαρίστηκε ως Celeron, Pentium, Core 2 και Xeon, έχοντας ενεργοποιημένα διαφορετικά σύνολα χαρακτηριστικών κάθε φορά (παρότι πρόκειται για το ίδιο chip). Οι περισσότεροι mobile και desktop επεξεργαστές έβγαιναν σε δύο παραλλαγές που δέφεραν στο μέγεθος της L2 Cache, αλλά και συγκεκριμένα ποσά μνήμης L2 σε ένα προϊόν μπορούσαν επίσης να μειωθούν απενεργοποιώντας κάποια μέρη στο chip κατά τον χρόνο παραγωγής. Το Wolfdale-DP και όλοι οι τετραπύρηνοι επεξεργαστές, με εξαίρεση τον Dunnington QC παράγονταν σε πολυκυκλωματικά modules δύο πλακών εκτύπωσης (dies) (Πίνακας 21).

	Mobile		Desktop, UP Server		CL Server	DP server	MP server
Μονοπύρηνιοι 65 nm	Merom-L 8053		Conroe-L 80557				
Μονοπύρηνιοι 45 nm		Penryn-L 80585				Woldale-CL 80588	
Διπύρηνιοι 65 nm	Merom-2M 80537	Merom 80537	Allendale 80557	Conroe 80557	Conroe-CL 80556	Woodcrest 80556	Tigerton-DC 80564
Διπύρηνιοι 45 nm	Penryn-3M 80577	Penryn 80576	Wolfdale-3M 80571	Wolfdale 80570	Wolfdale-CL 80588	Wolfdale-DP 80573	
Τετραπύρηνιοι 65 nm				Kentsfield 80562		Clovertown 80563	Tigerton 80565
Τετραπύρηνιοι 45 nm		Penryn-QC 80581	Yorkfield-6M 80580	Yorkfield 80569	Yorkfield-CL 80584	Harpertown 80574	Dunnington QC 80583
Εξαπύρηνιοι 45 nm							Dunnington 80582

Πίνακας 21. Οι επεξεργαστές αρχιτεκτονικής Pentium 4 Core.

2.8.10. Intel Core 2

Ο κύριος επεξεργαστής αυτής της γενιάς λανσαρίστηκε με το όνομα σειράς Core 2 (**Εικόνα 50**). Πρόκειται για επεξεργαστές ενός, δύο ή και τεσσάρων πυρήνων σχεδιασμένων σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Core. Οι επεξεργαστές ενός ή δύο πυρήνων βρίσκονταν σε μία πλάκα εκτόπωσης (single die), ενώ οι τετραπύρηνιοι βρίσκονταν σε δύο, κάθε μία από τις οποίες περιείχε δύο πυρήνες, συσκευασμένες σε ένα πολυκυκλωματικό module. Η παρουσία των Core 2 επεξεργαστών υποβίβασε το brand Pentium στην μέση αγορά και επανένωσε τις γραμμές επεξεργαστών Laptop και Desktop για λόγους marketin, κάτω από το ίδιο όνομα προϊόντος, που πριν διαχωριζόταν σε Pentium 4, Pentium D και Pentium M brands⁹⁴.



Εικόνα 50. Ο λογότυπος της Intel για τον επεξεργαστή Intel Core 2⁹⁵.

⁹⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_Core_2

⁹⁵https://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Core2_Duo2009.svg

Η ονομασία (brand name) Core 2 εισήχθησε στην αγορά στις 27 Ιουλίου του 2006, περιλαμβάνοντας τις Solo (single-core), Duo (dual-core) και Quad (quad-core) εκδόσεις (μονοπύρηνος, διπύρηνος και τετραπύρηνος επεξεργαστής αντίστοιχα), ενώ το 2007 προέκυψαν οι Extreme εκδόσεις (dual- ή quad-core επεξεργαστές). Επίσης σχεδιάστηκαν εκδόσεις με στόχο τις εταιρικές χρήσεις που είχαν vPro τεχνολογία⁹⁶, συμπεριλαμβανμένων διπύρηνων και τετραπύρηνων επεξεργαστών (**Πίνακας 22**).

INTEL CORE 2 ARCHITECTURE CORE	
ΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	2006 – 2011
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΡΟΛΟΓΙΟΥ	1.06 GHz – 3.33 GHz
FSB SPEEDS	800 MT/s – 1600 MT/s
TRANSISTORS	65 nm to 45 nm
ΣΥΝΟΛΟ ΕΝΤΟΛΩΝ	x86, x86-64, SSE4.1 (45 nm επεξεργαστές)
ΜΙΚΡΟΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	Core
ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	1, 2 ή 4 (2x2)
SOCKETS	Socket T (LGA 775) Socket M (μPGA 478) Socket P (μPGA 478) Micro-FCBGA (μBGA 479) Micro-FCBGA (μBGA 965)
ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΣ	Pentium D, Pentium M, Pentium 4
ΔΙΑΔΟΧΟΣ	Core i3, i5, i7
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ	Allendale, Conroe, Conroe-L, Merom-2M, Merom, Merom-L, Kentsfield, Wolfdale, Yorkfield, Penryn

Πίνακας 22. Τα χαρακτηριστικά των επεξεργαστών Pentium 4 Core 2.

⁹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_vPro

3. COMPUTER CLUSTERS (ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ)

Μια συστοιχία υπολογιστών (*computer cluster*) είναι δύο ή περισσότεροι υπολογιστές, όχι αναγκαστικά ίδιου τύπου ή δυνατοτήτων, που συνδέονται μεταξύ τους (συνήθως μέσω τοπικού δικτύου ή εικονικού ιδιωτικού δικτύου) προκειμένου να εκμεταλλευθούμε τη δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας που αυτοί παρέχουν. Οι υπολογιστές που απαρτίζουν μια συστοιχία καλούνται κόμβοι (*nodes*) ή μέλη (*members*).

Οι συστοιχίες υπολογιστών χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση της εκτέλεσης πολύπλοκων υπολογισμών και διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος εργασίας, που απαιτείται να πραγματοποιηθεί. Ειδικότερα οι κατηγορίες αυτές είναι οι:

Συστοιχίες Υψηλής Διαθεσιμότητας (High Availability Clusters): Οι συστοιχίες αυτές έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν συνεχή πρόσβαση σε εφαρμογές παροχής υπηρεσιών. Διατηρούν επιπλέον κόμβους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εφεδρικά συστήματα στην περίπτωση αστοχίας των κύριων κόμβων. Ο ελάχιστος αριθμός κόμβων σε μία τέτοια συστοιχία είναι δύο (ένας κύριος και ένας εφεδρικός), παρόλο που η συντριπτική πλειοψηφία χρησιμοποιεί περισσότερους κόμβους.

Συστοιχίες Εξισορρόπησης Φορτίου (Load Balancing Clusters): Οι συστοιχίες αυτού του τύπου, προσπαθούν να εξισορροπήσουν το φόρτο εργασίας μεταξύ των ενεργών κόμβων. Για το σκοπό αυτό μεταφέρουν διεργασίες από τον ένα κόμβο στον άλλο, ανάλογα με το φόρτο που έχει το κάθε σύστημα. Οι συστοιχίες εξισορρόπησης φορτίου είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε αυτούς που δουλεύουν με περιορισμένο προϋπολογισμό, γιατί φροντίζουν για την όσο το δυνατό αποδοτικότερη εκμετάλλευση του υπάρχοντος εξοπλισμού.

Συστοιχίες Υψηλής Απόδοσης (High Performance Clusters): Οι συστοιχίες υψηλής απόδοσης σχεδιάστηκαν για να εκμεταλλευτούν την επεξεργαστική ισχύ πολλαπλών κόμβων. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές στις οποίες οι κόμβοι χρειάζεται να επικοινωνούν μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, όταν π.χ. τα αποτελέσματα των υπολογισμών ενός κόμβου χρησιμοποιούνται από κάποιον άλλο.

Η χρήση των συστοιχιών, έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση ενός υπολογιστή αντίστοιχου μεγάλης υπολογιστικής ινακότητας. Ειδικότερα, ένα βασικό πλεονέκτημα είναι η μείωση του κόστους, αφού η τιμή των προσωπικών υπολογιστών έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, και η μείωση αυτή συνοδεύεται από εκρηκτική αύξηση των επιδόσεων και της υπολογιστικής ισχύος τους. Ένα σημερινό, μεσαίων δυνατοτήτων, επιτραπέζιο σύστημα είναι πολλές φορές ισχυρότερο από τους πρώτους

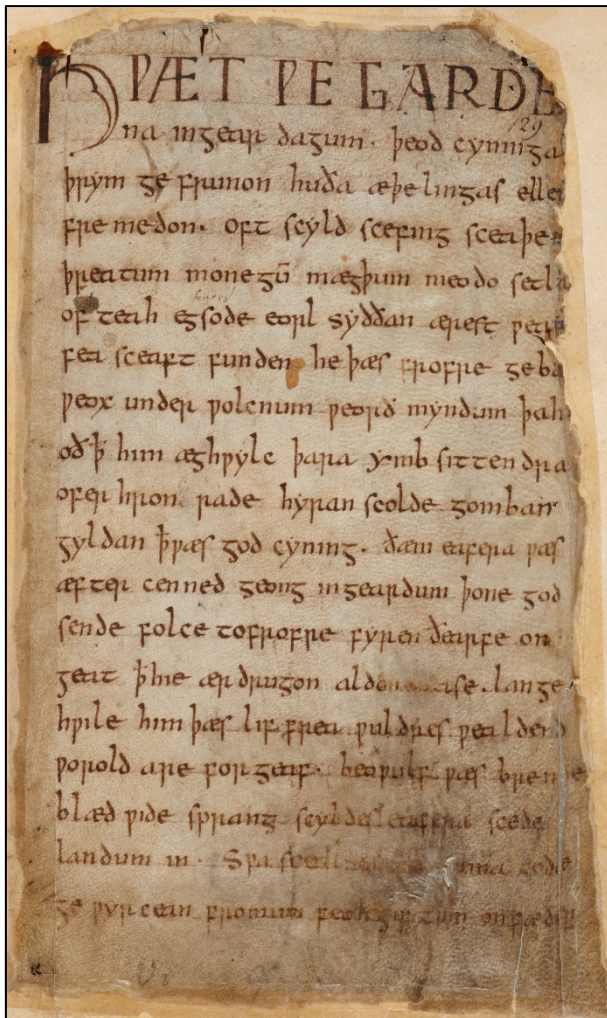
μεγάλους υπολογιστές. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η υπολογιστική ισχύς, η οποία προκύπτει από τη συνδυασμένη υπολογιστική ισχύ μιας συστοιχίας υψηλής απόδοσης. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματικότερη, σε σχέση με το κόστος, από αυτήν ενός μεγάλου υπολογιστή παρόμοιων δυνατοτήτων. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει καλύτερη επιχειρησιακή λειτουργικότητα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η επεκτασιμότητα, η οποία αποτελεί και το σημαντικότερο πλεονέκτημα των συστοιχιών υπολογιστών. Η επεκτασιμότητα προκύπτει από τη δυνατότητα της πρόσθεσης υπολογιστικών μονάδων σε μια συστοιχία. Ενώ οι μεγάλοι υπολογιστές έχουν συγκεκριμένη και σταθερή απόδοση, οι συστοιχίες μπορούν να επεκταθούν κατά βούληση με την απλή προσθήκη περισσότερων κόμβων στο δίκτυο.

Τέλος, ένα βασικό πλεονέκτημα είναι η διαθεσιμότητα του συνόλου ή μέρους των υπολογιστών. Όταν ένας μεγάλος υπολογιστής τίθεται εκτός λειτουργίας, καταρρέει όλο το σύστημα. Αν όμως χαλάσει ένας κόμβος μιας συστοιχίας, οι λειτουργίες που εκτελούσε θα μεταφερθούν σε κάποιον άλλο κόμβο, εξασφαλίζοντας την αδιάκοπη παροχή υπηρεσιών.

4. BEOWULF CLUSTERS

Η ονομασία *Beowulf cluster* αφορά στη συστοιχία υπολογιστών, οι οποίοι είναι αυτό που λέγεται *commodity-grade computers* και οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω ενός μικρού τοπικού δικτύου. Οι υπολογιστές αυτοί περιλαμβάνουν τόσο το κατάλληλο λειτουργικό σύστημα, όσο και τις κατάλληλες βιβλιοθήκες μέσω των οποίων, μπορεί να γίνει παράλληλη επεξεργασία δεδομένων. Η όλη ιδέα, είναι να μπορέσει κανείς να δημιουργήσει ένα υπερ-υπολογιστή από μικρούς, οικιακούς υπολογιστές (10). Η ονομασία *Beowulf* δόθηκε το 1994, από τους *Thomas Sterling* και *Donald Becker* στη NASA (11, 12). Το όνομα *Beowulf* προέκυψε από ένα μεσαιωνικό Αγγλικό ομώνυμο ποίημα (**Εικόνα 51**) (13).



Εικόνα 51. Το ανάτυπο του ποιήματος του *Beowulf*, από το οποίο ονομάστηκε η συστοιχία υπολογιστών⁹⁷.

⁹⁷https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beowulf_Cotton_MS_Vitellius_A_XV_f_132r.jpg

Για τη δημιουργία μιας τέτοιας συστοιχίας δεν είναι απαραίτητη η χρήση ενός συγκεκριμένου λειτουργικού, αλλά μπορεί να γίνει με κάθε τύπο λειτουργικού όπως, Unix, BSD, Linux, ή Solaris, με κοινό παρονομαστή πάντως το γεγονός ότι είναι open source software. Αντίστοιχα, το λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παράλληλη επεξεργασία περιλαμβάνει τη βιβλιοθήκη Message Passing Interface (MPI) και τη Parallel Virtual Machine (PVM). Οι βιβλιοθήκες αυτές είναι εργαλεία, που επιτρέπουν στο χρήστη να διαμοιράσει τα πακέτα εργασιών στους υπολογιστές και να επιτύχουν την παράλληλη επεξεργασία. Το λογισμικό αυτό λέγεται Message Passing Interface (MPI) και παραδείγματα αποτελούν το Open MPI ή MPICH. Οι συστοιχίες *Beowulf* χρησιμοποιούνται παγκοσμίως πλέον σαν ένα μέσο φθηνής υπολογιστικής ισχύος και κυρίως για την υλοποίηση επιστημονικών σκοπών (scientific computing).

Ως εκ τούτου, μια συστοιχία τύπου *Beowulf* ορίζεται ως μια ομάδα υπολογιστών, συνήθως ομοίων προδιαγραφών αλλά όχι απαραίτητως, η οποία χρησιμοποιεί ως λειτουργικό σύστημα ανοιχτό λογισμικό όπως π.χ. το Linux. Η συνδεσμολογία των υπολογιστών γίνεται με τη χρήση TCP/IP LAN και χρησιμοποιεί προγράμματα και βιβλιοθήκες ανοιχτού λογισμικού για την επεξεργασία. Αυτό σημαίνει ότι μια τέτοια συστοιχία, μπορεί να κατασκευασθεί από υπολογιστές οικιακούς (off the shelf) με τη χρήση ενός «οικιακού δικτύου» (home network).

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες δημιουργίας μιας τέτοιας συστοιχίας, όπως π.χ. η προσέγγιση OSCAR⁹⁸, που θεωρείται η πιο απλή και θεωρητικά μπορεί να επιτευχθεί από κάθε χρήστη καθώς επίσης η προσέγγιση NPACI Rocks toolkit⁹⁹, που περιλαμβάνει τη χρήση λειτουργικού Linux της έκδοσης Red Hat.

Και τα δύο προαναφερθέντα εργαλεία για την ανάπτυξη ομάδων δημιουργήθηκαν για να είναι εύχρηστα και απαιτούν ελάχιστη εμπειρία από τον χρήστη. Βασικά, τα εργαλεία που αναφέρθηκαν παραπάνω κάνουν το μεγαλύτερο μέρος της εγκατάστασης και της διαμόρφωσης απλά και σίγουρα στην επιτυχία τους. Υπάρχουν πολλά διαδικτυακά εργαλεία και *fora* τα οποία ασχολούνται με τη δημιουργία τέτοιων συστοιχιών, αφού οι συστοιχίες αυτές άνοιξαν το δρόμο για την απόκτηση υψηλής υπολογιστικής ισχύος με φθινό τρόπο.

⁹⁸<http://svn.oscar.openclustergroup.org/trac/oscar>

⁹⁹<http://www.rocksclusters.org/>

Υπάρχει επίσης πλήθος υλικού εκπαίδευσης για τη δημιουργία συστοιχιών, όπως π.χ. το SCFBio¹⁰⁰, το οποίο αποτελεί μια πολύ καλή εισαγωγή στις συστάδες τύπου *Beowulf*.

Μια από τις πρώτες συστηματικές αναφορές για τη δημιουργία συστάδων τύπου *Beowulf*, αφορούσε στο βιβλίο του *Brown* το 2004, *Engineering a Beowulf-style Compute Cluster* (14). Με βάση το βιβλίο αυτό υπάρχει μια συγκεκριμένη διατύπωση και ορισμός για τις συστοιχίες *Beowulf*. Ως εκ τούτου, μια συστοιχία *Beowulf* έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Οι κόμβοι της συστοιχίας είναι αφιερωμένη στη συστοιχία, ήτοι δεν επιτελούν άλλες εργασίες.
2. Το δίκτυο, που συνδέει τους κόμβους της συστοιχίας επίσης είναι αφιερωμένο στη συστοιχία και δεν επιτελεί άλλες εργασίες.
3. Οι κόμβοι αποτελούνται από οικιακούς υπολογιστές (Mass Market Commercial-Off-The-Shelf (M2COTS) computers).
4. Το δίκτυο είναι επίσης οικιακής χρήσης (COTS entity).
5. Οι κόμβοι λειτουργούν με ανοιχτό, ελεύθερο λογισμικό.
6. Η συστοιχία τελικά χρησιμοποιείται για υπολογισμούς υψηλής απόδοσης (High Performance Computing (HPC)).

Στις ακόλουθες εικόνες παρουσιάζονται μερικές τυπικές δομές και αρχιτεκτονικές της συνδεσμολογίας μιας συστοιχίας *Beowulf*.

4.1. Η Δημιουργία της Συστοιχίας

Η δημιουργία της συστοιχίας αποτελείται από τα ακόλουθα κομμάτια hardware:

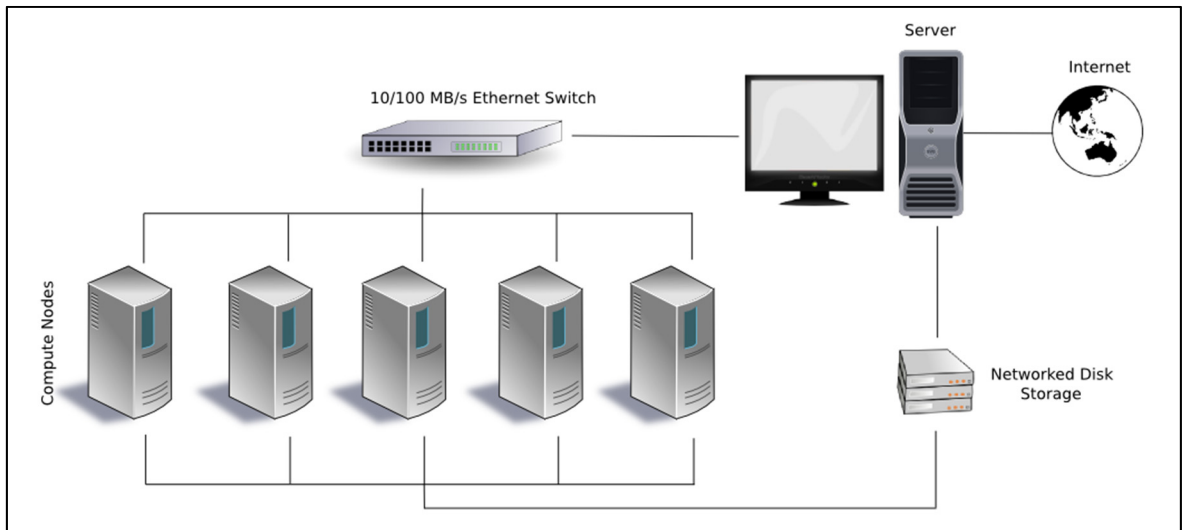
- Το δίκτυο (Network)
- Τον κεντρικό υπολογιστή (Server / Head / Master Node)
- Τους υπολογιστικούς κόμβους (Compute Nodes)
- Τις πύλες επικοινωνίας (Gateway)

Όλοι οι κόμβοι (συμπεριλαμβανομένου και του Server) χρησιμοποιούν το ακόλουθο λογισμικό:

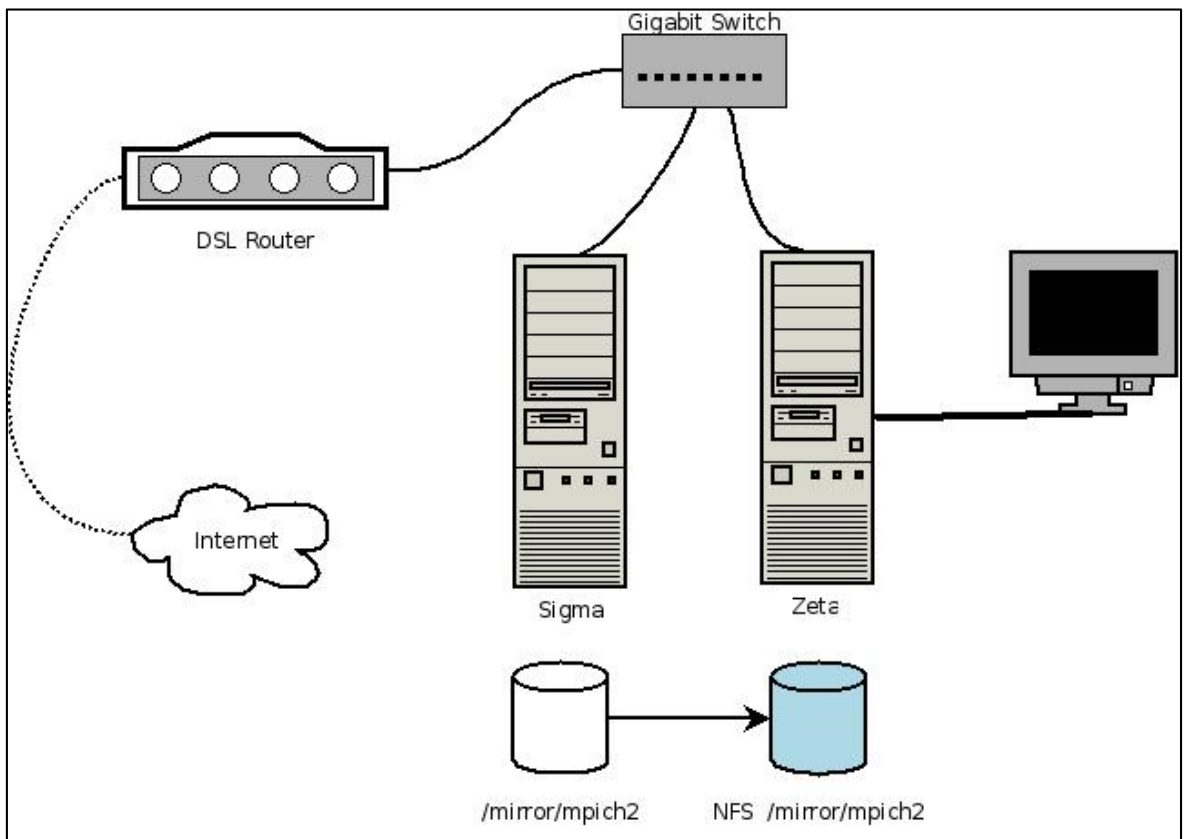
- GNU/Linux OS
- Ubuntu Server Edition.
- Network File System (NFS)
- Secure Shell (SSH)

¹⁰⁰<http://www.scfbio-iitd.res.in/doc/clustering.pdf>

- Message Passing Interface (MPI)
- MPICH



Εικόνα 52. Υπόδειγμα συνδεσμολογίας συστοιχίας *Beowulf*¹⁰¹.



Εικόνα 53. Το ανάτυπο του ποιήματος του Beowulf, από το οποίο ονομάστηκε η συστοιχία υπολογιστών¹⁰².

¹⁰¹https://www-users.cs.york.ac.uk/~mjf/pi_cluster/src/Building_a_simple_Beowulf_cluster.html#_footnote_3

¹⁰²https://www-users.cs.york.ac.uk/~mjf/pi_cluster/src/Building_a_simple_Beowulf_cluster.html#_footnote_3

4.2. Η Παραμετροποίηση (Configuration) της Συστοιχίας

Μετά την ανάπτυξη και σύνδεση της συστοιχίας απαιτείται η παραμετροποίησή της, της οποίας ορισμένα παραδείγματα παρουσιάζονται ακολούθως:

4.2.1. Η Προσθήκη των Κόμβων

Ένα από τα πρώτα βήματα στη δημιουργία της συστοιχίας είναι η φυσική προσθήκη των κόμβων σε ένα χώρο και κατόπιν, η παραμετροποίηση τους με αντιστοίχιση διακριτών ονομάτων. Στην ονοματοδοσία των κόμβων υπάρχουν δύο τρόποι, ο ένας είναι με ένα κωδικό όνομα ώστε ο χρήστης να καταλαβαίνει εύκολα σε ποιον κόμβο αναφέρεται και ο δεύτερος είναι με την αντιστοίχιση μιας IP διεύθυνσης για τη θέση μέσα στο δίκτυο. Όλοι οι κόμβοι πρέπει να έχουν μια στατική διεύθυνση δικτύου (static IP). Παραδείγματα από τη βιβλιογραφία, για το πώς θα μπορούσαν να μοιάζουν οι διευθύνσεις αυτές φαίνονται παρακάτω:

```
127.0.0.1          localhost
192.168.1.6      master
192.168.1.7      node1
192.168.1.8      node2
192.168.1.9      node3
```

Η σύνδεση και επικοινωνία με τους κόμβους μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους και εξαρτάται από το λειτουργικό το οποίο χρησιμοποιείται. Επί παραδείγματι, στο περιβάλλον Ubuntu Linux η κλήση των κόμβων θα γινόταν με τον τρόπο αυτό και θα έδινε τα αντίστοιχα αποτελέσματα:

```
$ ping -c 3 master
PING master (192.168.1.6) 56(84) bytes of data.
64 bytes from master (192.168.1.6): icmp_req=1 ttl=64 time=0.606 ms
64 bytes from master (192.168.1.6): icmp_req=2 ttl=64 time=0.552 ms
64 bytes from master (192.168.1.6): icmp_req=3 ttl=64 time=0.549 ms

--- master ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 1999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.549/0.569/0.606/0.026 ms
```

4.2.2. Ορισμός Χρηστών για τη λειτουργία ενός Message Passage Interface (MPI)

Επόμενο βήμα για τη λειτουργία της συστοιχίας ορίζεται ως ο ορισμός των χρηστών για τη λειτουργία μέσω ενός MPI. Παραδείγματα αυτής της διαδικασίας υπάρχουν αρκετά στη

βιβλιογραφία, όσο και στις ιστοσελίδες που πραγματεύονται θέματα σχετικά με τη λειτουργία συστοιχιών. Στο περιβάλλον Linux η δημιουργία ενός χρήστη μπορεί να γίνει με την εντολή, η οποία δημιουργεί ένα χρήστη με κωδικό αριθμό 999.

```
$ sudo adduser mpiuser --uid 999
```

Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να ανατεθούν και συνθηματικά για κάθε χρήστη.

4.2.3. Εγκατάσταση του Δικτυακού Συστήματος Αρχείων (Network File System (NFS))

Ο λόγος για την εγκατάσταση ενός συστήματος αρχείων για δικτυακή χρήση είναι η διαθεσιμότητα όλων των αρχείων σε όλους τους κόμβους καθώς και να έχουν πρόσβαση όλοι οι χρήστες στα κοινά αρχεία. Ως εκ τούτου, ένα σύστημα Network File System (NFS) επιτρέπει την εγκατάσταση μιας σειράς αρχείων, τα οποία είναι διαθέσιμα στους χρήστες σαν να ήταν εγκατεστημένα σε ένα τοπικό αποθηκευτικό μέσο. Παράδειγμα μιας τέτοιας εγκατάστασης γίνεται με:

```
master:~$ sudo apt-get install nfs-kernel-server
```

Για την εγκατάσταση του Network File System σε όλους τους κόμβους χρησιμοποιείται το:

```
$ sudo apt-get install nfs-common
```

```
master:~$ ls -l /home/ | grep mpiuser
```

```
drwxr-xr-x 7 mpiuser mpiuser 4096 May 11 15:47 mpiuser
```

```
master:~$ sudo chown mpiuser:mpiuser /path/to/shared/dir  
/home/mpiuser *(rw, sync, no_subtree_check)
```

```
master:~$ sudo service nfs-kernel-server restart
```

```
master:~$ sudo exportfs -a
```

```
$ showmount -e master
```

Στην περίπτωση παρουσίας ενός firewall (κάτι που είναι εγκατεστημένο στο Ubuntu) πρέπει να δημιουργηθεί μια εξαίρεση για τις IP διευθύνσεις του δικτύου. Εάν για παράδειγμα οι IP διευθύνσεις είναι του τύπου 192.168.1.*, τότε η διεύθυνση 192.168.1.0 είναι τμήμα του δικτύου και η εξαίρεση μπορεί να γίνει:

```
master:~$ sudo ufw allow from 192.168.1.0/24
```

Όλα τα παραπάνω είναι παραδείγματα της εγκατάστασης ενός δικτύου συστοιχίας.

ΜΕΡΟΣ ΙΙ-ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

5. ΥΛΙΚΟ

5.1. Επεξεργαστές που Χρησιμοποιήθηκαν στην Παρούσα Διπλωματική

Οι υπολογιστές που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική αυτή ήταν της Intel με σειρά μοντέλων Pentium II, Pentium III, Pentium IV και Core 2. Οι αντίστοιχες μικροαρχιτεκτονικές που ακολουθήθηκαν από τους επεξεργαστές αυτούς ήταν η γενιά P6 x86 (έκτη γενιά) για τους επεξεργαστές Pentium II και III, η NetBurst x86 (P68, έβδομη γενιά) για τον Pentium IV και η μικροαρχιτεκτονική Core x86 για τους Intel Core 2. Οι μικροαρχιτεκτονικές της Intel διαδέχθηκαν χρονικά η μία την άλλη με αυτήν την σειρά. Οι υπολογιστές συλλέχθηκαν από απόσυρση ή αντικατάσταση, από μηχανήματα δηλαδή τα οποία τα εργαστήρια είτε άλλαξαν λόγω αναβάθμισης ή λόγω βλάβης. Στην περίπτωση των υπολογιστών με βλάβη γινόταν επιθεώρηση του μηχανήματος και αν επιδεχόταν επισκευής αυτό επισκευαζόταν, αλλιώς τα τμήματά του χρησιμοποιούνται ως ανταλλακτικά για τα επόμενα μηχανήματα. Με τον τρόπο αυτό, συλλέχθηκαν πρώτα αρκετά ανταλλακτικά, τα οποία αποτέλεσαν σημαντικό υλικό για τη δημιουργία των επόμενων υπολογιστικών μονάδων. Συνολικά συλλέχθηκαν 43 υπολογιστικές μονάδες. Η συλλογή των υπολογιστικών μονάδων έγινε από τον Γ. Λάμπρου, στο χρονικό διάστημα από το 2011 μέχρι το 2014 στο Χωρέμειο Ερευνητικό Εργαστήριο (XEE). Οι μονάδες αυτές ελέγχθηκαν τη λειτουργία τους και κατόπιν αφαιρέθηκαν όλα τα λειτουργικά τμήματα, με στόχο να επανασυνδεθούν. Από το σύνολο των υπολογιστικών τμημάτων, επιλέχθηκαν οι ακόλουθες μητρικές για τη δημιουργία της συστοιχίας, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 23).

5.2. Εργαλεία

Για τις ανάγκες της εργασίας, οργανώθηκε ένας ειδικός χώρος στον οποίο δημιουργήθηκαν δύο θέσεις εργασίας, όπου η κάθε μια είχε ένα σετ εργαλείων και δύο οθόνες για ταυτόχρονο έλεγχο των λειτουργικών μηχανημάτων. Ένας λειτουργικός υπολογιστής εγκαταστάθηκε και συνδέθηκε στο διαδίκτυο για άμεση αναζήτηση πληροφοριών καθώς και οδηγούς (drivers) για τα υποτμήματα των υπό κατασκευή υπολογιστών. Επίσης, για τη δημιουργία της συστοιχίας ήταν απαραίτητη η χρήση εργαλείων, ηλεκτρονικής και μικρο-ηλεκτρονικής, κολλητική συσκευή, πολύμετρο και παλμογράφος.

5.3. Λογισμικό

Για τις ανάγκες της συστοιχίας, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και υπολογιστικά περιβάλλοντα. Ειδικότερα χρησιμοποιήσαμε τα λειτουργικά συστήματα,

Windows XP, Windows 7, Linux Ubuntu 12.0, Linux Ubuntu 14.0 και Linux Ubuntu 16.0. Για τη λειτουργία της συστοιχίας χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό περιβάλλον Matlab ® (The Mathworks, Inc.). Για τις υπολογιστικές ανάγκες της συστοιχίας μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και τα περιβάλλοντα SciLab και R. Για τα εμπορικά πακέτα οι άδειες ήταν διαθέσιμες στο ΧΕΕ από το ΕΚΠΑ.

CPU Type	Intel Pentium III, 500 MHz (5 x 100)
Motherboard Name	ECS P6BXT-A+ (2 ISA, 4 PCI, 1 AGP, 3 DIMM)
Motherboard Chipset	Intel 82440BX
System Memory	640 MB (SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium III, 500 MHz (5×100)
Motherboard Name	ECS P6BXT-A+ (2 ISA, 4 PCI, 1 AGP, 3 DIMM)
Motherboard Chipset	Intel 82440BX
System Memory	640 MB (SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (21×133)
Motherboard Name	Jetway P4MDPT (3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)
Motherboard Chipset	VIA VT8751A Apollo P4M266A
System Memory	1024 MB (PC3200 DDR SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (21×133)
Motherboard Name	Jetway P4MDPT (3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)
Motherboard Chipset	VIA VT8751A Apollo P4M266A
System Memory	2048 MB (PC3200 DDR SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (14×200)
Motherboard Name	Asus P4C800 (5 PCI, 1 AGP Pro, 1 WiFi, 4 DDR DIMM, Audio, Gigabit LAN)
Motherboard Chipset	Intel Canterwood i875P
System Memory	1024 MB (DDR SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium 4, 1800 MHz (18×100)
Motherboard Name	DFI PE11-EC/EL (5 PCI, 1 AGP, 3 DIMM, Audio)
Motherboard Chipset	VIA VT8753A Apollo P4X266A
System Memory	640 MB (DDR SDRAM)
CPU Type	Intel Pentium 4, 3000 MHz (15×200)
Motherboard Name	Asus P4P800S SE (5 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, LAN)
Motherboard Chipset	Intel Breeds Hill i848P
System Memory	2048 MB (PC3200 DDR SDRAM)

Πίνακας 23. Οι μητρικές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

6. ΜΕΘΟΔΟΣ

Τα στάδια της μεθοδολογίας, αναφέρθηκαν και σε προηγούμενη ενότητα και ως εκ τούτου περιελάμβαναν την ακόλουθη διαδικασία. Η διαλογή των υπολογιστικών τμημάτων είχε προηγηθεί με τυχαία διαδικασία και ως εκ τούτου το επόμενο στάδιο αφορούσε στην αξιολόγηση της λειτουργικότητας των υπολογιστών. Κάθε μητρική τοποθετείτο στη θέση εργασίας με κατάλληλη τροφοδοσία, μνήμη, σύνδεση σε οθόνη TFT και εξεταζόταν για τη βασική λειτουργία του BIOS. Στην περίπτωση που ευρίσκετο μια κατάλληλη μητρική, ξεκινούσε η διαδικασία συναρμολόγησης σε κατάλληλο κουτί, με τα επακόλουθα εξαρτήματα ήτοι μνήμη, σκληρό δίσκο, κάρτα δικτύου στην περίπτωση που δεν υπήρχε ήδη στη μητρική.

Μετά την εγκατάσταση των τμημάτων των υπολογιστών, ξεκινούσε αμέσως η διαδικασία της εγκατάστασης του λειτουργικού. Ειδικότερα, ο δίσκος χωριζόταν σε δύο διαμερίσματα (partitions), όπου στο ένα εγκαθίστατο το λειτουργικό των Windows XP και στο δεύτερο το λειτουργικό Linux. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήσαμε ένα dual-boot system, όπου στην εκκίνηση μπορούσε ο χρήστης να επιλέξει το λειτουργικό περιβάλλον με το οποίο θα ξεκινούσε ο χρήστης. Κατά την εγκατάσταση σε κάθε υπολογιστή αντιστοιχίσαμε ένα μοναδικό όνομα και μια μοναδική IP. Στην εισαγωγή αναφερθήκαμε στον Έρω τον Αλεξανδρεύ, και από τον οποίο πήρε το όνομά της η συστοιχία μας.

Το τελικό αποτέλεσμα αποτελείται από τρεις συστοιχίες, τον Έρω I (Heron I), τον Έρω II (Heron II) και τον Έρω III (Heron III). Κάθε μονάδα, ελάμβανε ένα σειριακό αριθμό (π.χ. Heron I-01, Heron I-02 κτλ.) ως το μοναδικό συνθηματικό. Η συστοιχία Heron I αφορούσε υπολογιστές βασισμένους σε τεχνολογία P2 και P3, η συστοιχία Heron II αφορούσε σε υπολογιστές βασισμένους σε τεχνολογία P4 και η συστοιχία Heron III αφορούσε σε υπολογιστές Core 2, Quad Core, Xeon και κάρτες γραφικών με τεχνολογία CUDA. Η παρούσα διπλωματική ασχολήθηκε με τη δημιουργία των Heron I και II, ενώ ο Heron III αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης της διπλωματικής του συναδέλφου Αλέξανδρου Διβόλη.

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7. ΟΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ

Η ακολουθία των προηγούμενων βημάτων μας οδήγησε στη δημιουργία των τελικών μηχανημάτων της συστοιχίας, όπως παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες και πίνακες. Ειδικότερα, καταλήξαμε στη δημιουργία οκτώ υπολογιστών, οι οποίοι ονομάστηκαν, όπως περιεγράφηκε στην ενότητα «Υλικό και Μέθοδος». Οι επιμέρους υπολογιστές παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

7.1. Heron I 01

Ο πρώτος υπολογιστής ήταν ο Heron I 01. Ακολουθώς παρουσιάζεται το εσωτερικό του υπολογιστή (Εικόνα 54) καθώς και οι προδιαγραφές του (configuration) (Πίνακας 24).



Εικόνα 54. Το εσωτερικό του υπολογιστή *Heron_I_01*.

Heron I-01	
Computer	HERON-I-01
Generator	Heron_I_01
Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name HERON-I-01	
User Name Heron_I_01	
Logon Domain	HERON-I-01
Motherboard:	
CPU Type	Intel Pentium III, 500 MHz (5×100)
Motherboard Name	ECS P6BXT-A+ (2 ISA, 4 PCI, 1 AGP, 3 DIMM)
Motherboard Chipset	Intel 82440BX
System Memory	640 MB (SDRAM)
DIMM1	Hynix 71V32635HCT8-H 256 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM2	MSC F3264 256 MB PC100 SDRAM (3.0-2-2-5 @ 100 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3	128 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz)
BIOS Type	Award Modular (06/16/99)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)
Display:	
Video Adapter	NVIDIA RIVA TNT2/TNT2 Pro (Microsoft Corporation) (32 MB)
3D Accelerator	nVIDIA RIVA TNT2
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)
Multimedia:	
Audio Adapter	C-Media CMI8738/C3DX Audio Device
Storage:	
IDE Controller	Intel(R) 82371AB/EB PCI Bus Master IDE Controller
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	WDC WD800JB-00JJC0 (74 GB, IDE)
Optical Drive	ASUS CRW-4816A (48×/16×/48× CD-RW)
Optical Drive	ASUS DVD-E616P (16×/48×x DVD-ROM)
SMART Hard Disks Status	OK
Network	
Primary IP Address	88.197.48.108
Primary MAC Address	00-04-76-1B-FB-42
Network Adapter	3Com EtherLink XL 10/100 PCI For Complete PC Management NIC (3C905C-TX) (88.197.48.108)
Processors/Pentium III	
Manufacturer	Intel
Version	Pentium III
External Clock	100 MHz
Maximum Clock	800 MHz
Current Clock	500 MHz
Type	Central Processor
Voltage	3.3 V

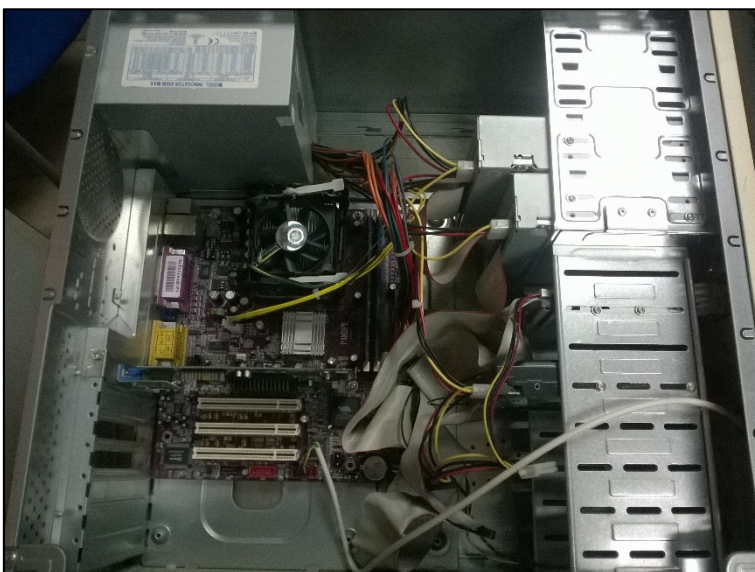
Πίνακας 24. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή *Heron I 01*.

7.2. Heron II 01

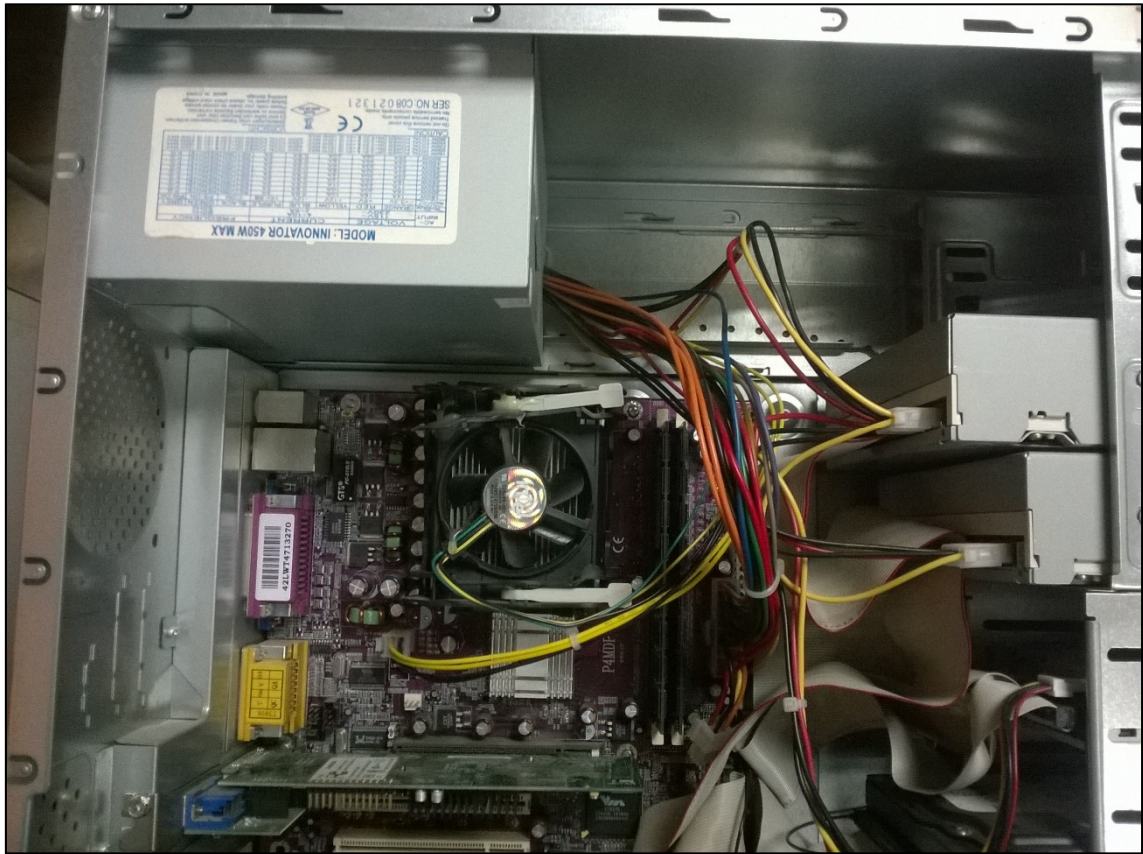
Ο δεύτερος υπολογιστής ήταν ο Heron II 01. Ακολούθως παρουσιάζεται το εσωτερικό του υπολογιστή (Εικόνα 55-Εικόνα 58) καθώς και οι προδιαγραφές του (configuration) (Πίνακας 25).



Εικόνα 55. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_01*.



Εικόνα 56. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_01*.



Εικόνα 57. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_01*.



Εικόνα 58. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_01*.

Heron II-01	
Computer	HERON-II-01
Generator	Heron_II_01
Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name HERON-I-01	
User Name Heron_I_01	
Logon Domain	HERON-II-01
Motherboard:	
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (21 x 133)
Motherboard Name	Jetway P4MDPT (3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video)
Motherboard Chipset	VIA VT8751A Apollo P4M266A
System Memory	1024 MB (PC3200 DDR SDRAM)
DIMM1	512 MB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz) (2.0-2-2-6 @ 133 MHz)
DIMM2	512 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz) (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
BIOS Type	Award Modular (11/20/03)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)
Display:	
Video Adapter	Matrox G550 (Matrox Millennium G550)
3D Accelerator	Matrox G550
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)
Multimedia:	
Audio Adapter	Realtek ALC655 @ VIA AC'97 Enhanced Audio Controller
Storage:	
IDE Controller	Intel(R) 82371AB/EB PCI Bus Master IDE Controller
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	WDC WD400BB-00JHA0 (37 GB, IDE)
Optical Drive	LITEON CD-ROM LTN526 (52x CD-ROM)
Optical Drive	LITE-ON CD-RW SOHR-5238S (52x/32x/52x CD-RW)
SMART Hard Disks Status	OK
Network	
Primary IP Address	88.197.48.106
Primary MAC Address	00-30-18-DA-B2-BF
Network Adapter	VIA Rhine II Fast Ethernet Adapter (88.197.48.106)
Processors/Pentium III	
Manufacturer	Intel
Version	Intel Pentium(R) 4
External Clock	133 MHz
Maximum Clock	2800 MHz
Current Clock	2800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	1.4V

Πίνακας 25. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή *Heron II 01*.

7.3. Heron II 02

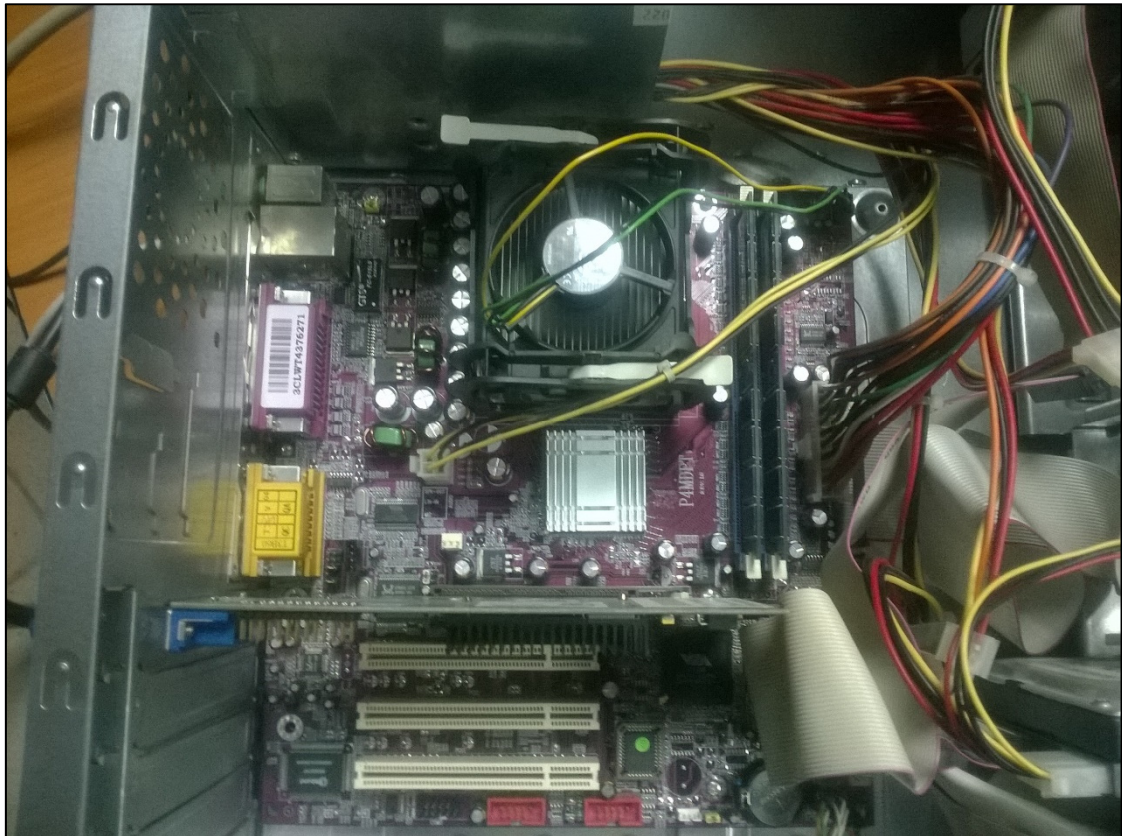
Ο τρίτος υπολογιστής ήταν ο Heron II 02. Ακολούθως παρουσιάζεται το εσωτερικό του υπολογιστή (Εικόνα 59-Εικόνα 63) καθώς και οι προδιαγραφές του (configuration) (Πίνακας 26).



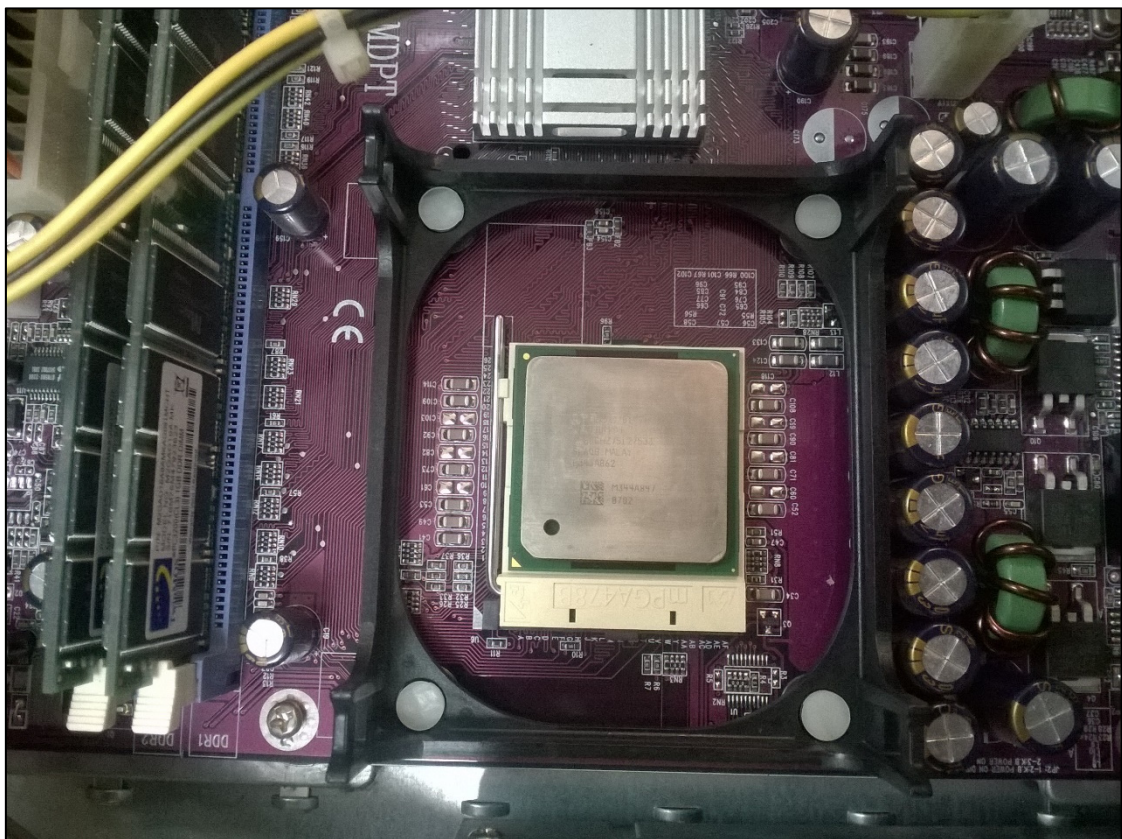
Εικόνα 59. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_02*.



Εικόνα 60. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_02*.



Εικόνα 61. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_02*.



Εικόνα 62. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_02*.



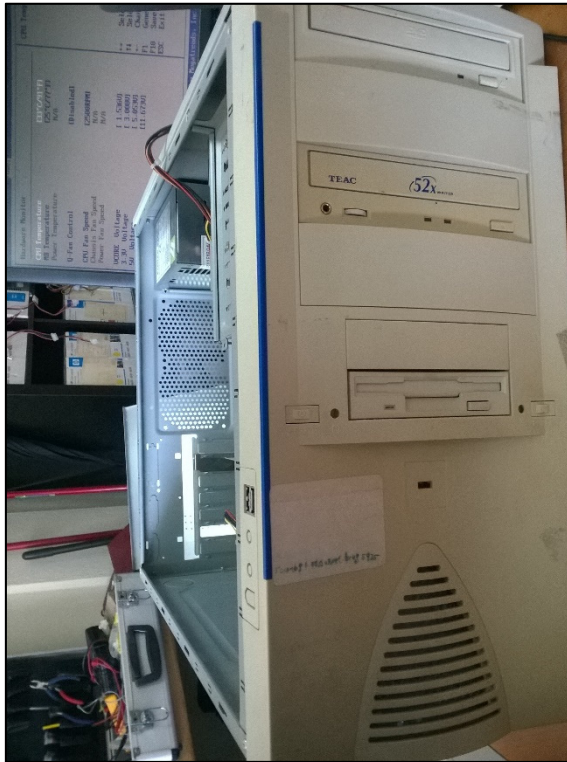
Εικόνα 63. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_02*.

Heron II-01	
Computer	HERON-II-01
Generator	Heron_II_01
Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name HERON-I-01	
User Name Heron_I_01	
Logon Domain	HERON-II-01
Motherboard:	
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (21 x 133)
Motherboard Name	Jetway P4MDPT (3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video)
Motherboard Chipset	VIA VT8751A Apollo P4M266A
System Memory	1024 MB (PC3200 DDR SDRAM)
DIMM1	512 MB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz) (2.0-2-2-6 @ 133 MHz)
DIMM2	512 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz) (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
BIOS Type	Award Modular (11/20/03)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)
Display:	
Video Adapter	Matrox G550 (Matrox Millennium G550)
3D Accelerator	Matrox G550
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)
Multimedia:	
Audio Adapter	Realtek ALC655 @ VIA AC'97 Enhanced Audio Controller
Storage:	
IDE Controller	Intel(R) 82371AB/EB PCI Bus Master IDE Controller
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	WDC WD400BB-00JHA0 (37 GB, IDE)
Optical Drive	LITEON CD-ROM LTN526 (52x CD-ROM)
Optical Drive	LITE-ON CD-RW SOHR-5238S (52x/32x/52x CD-RW)
SMART Hard Disks Status	OK
Network	
Primary IP Address	88.197.48.106
Primary MAC Address	00-30-18-DA-B2-BF
Network Adapter	VIA Rhine II Fast Ethernet Adapter (88.197.48.106)
Processors/Pentium III	
Manufacturer	Intel
Version	Intel Pentium(R) 4
External Clock	133 MHz
Maximum Clock	2800 MHz
Current Clock	2800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	1.4V

Πίνακας 26. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή *Heron II 02*.

7.4. Heron II 03

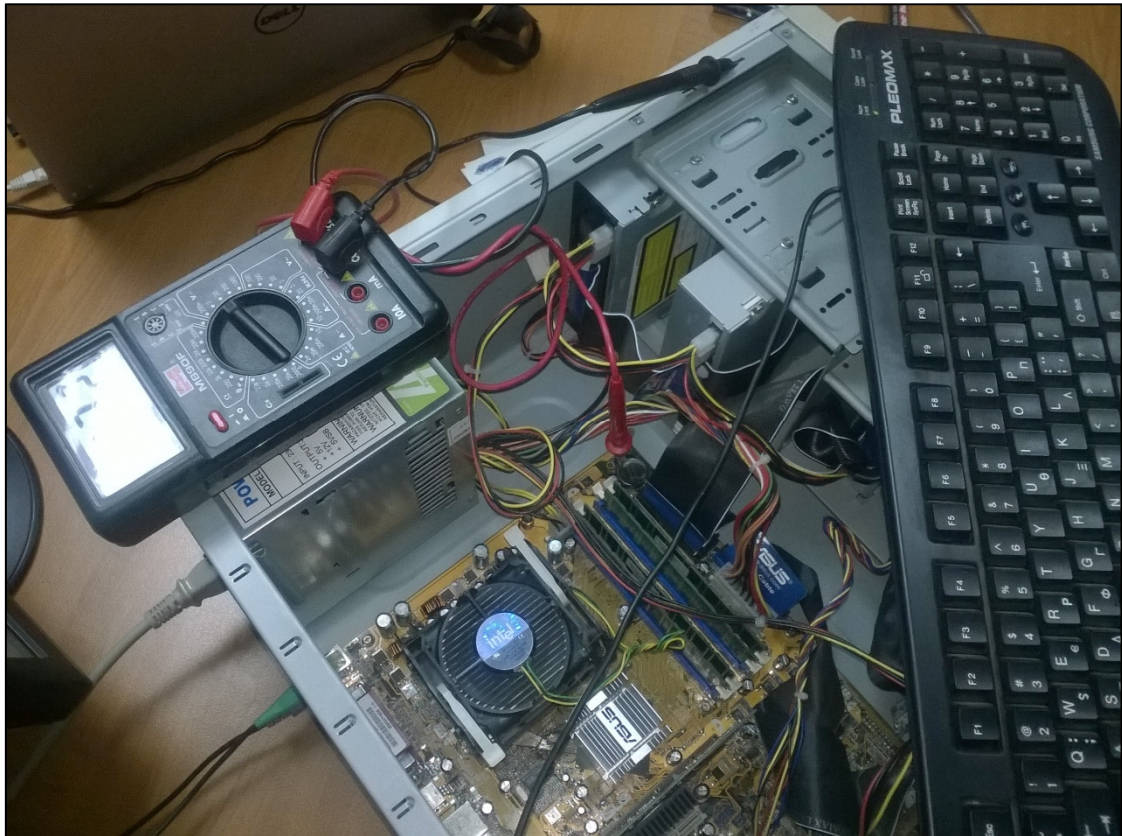
Ο τέταρτος υπολογιστής ήταν ο Heron II 03. Ακολούθως παρουσιάζεται το εσωτερικό του υπολογιστή (Εικόνα 64-Εικόνα 69) καθώς και οι προδιαγραφές του (configuration) (Πίνακας 27). Ειδικότερα, στην Εικόνα 66 και στην Εικόνα 67 παρουσιάζεται η μέτρηση της τάσεως με πολύμετρο επί της μητρικής λόγω προβλήματος με τη μπαταρία και το BIOS.



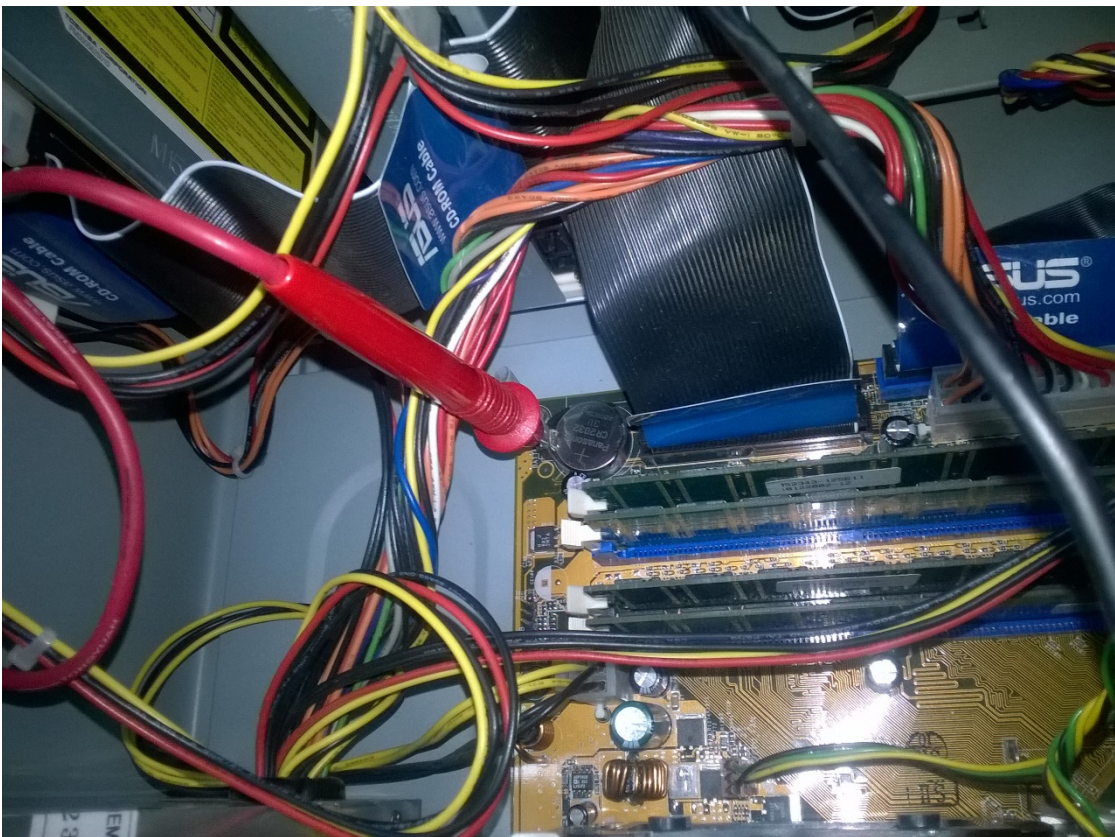
Εικόνα 64. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.



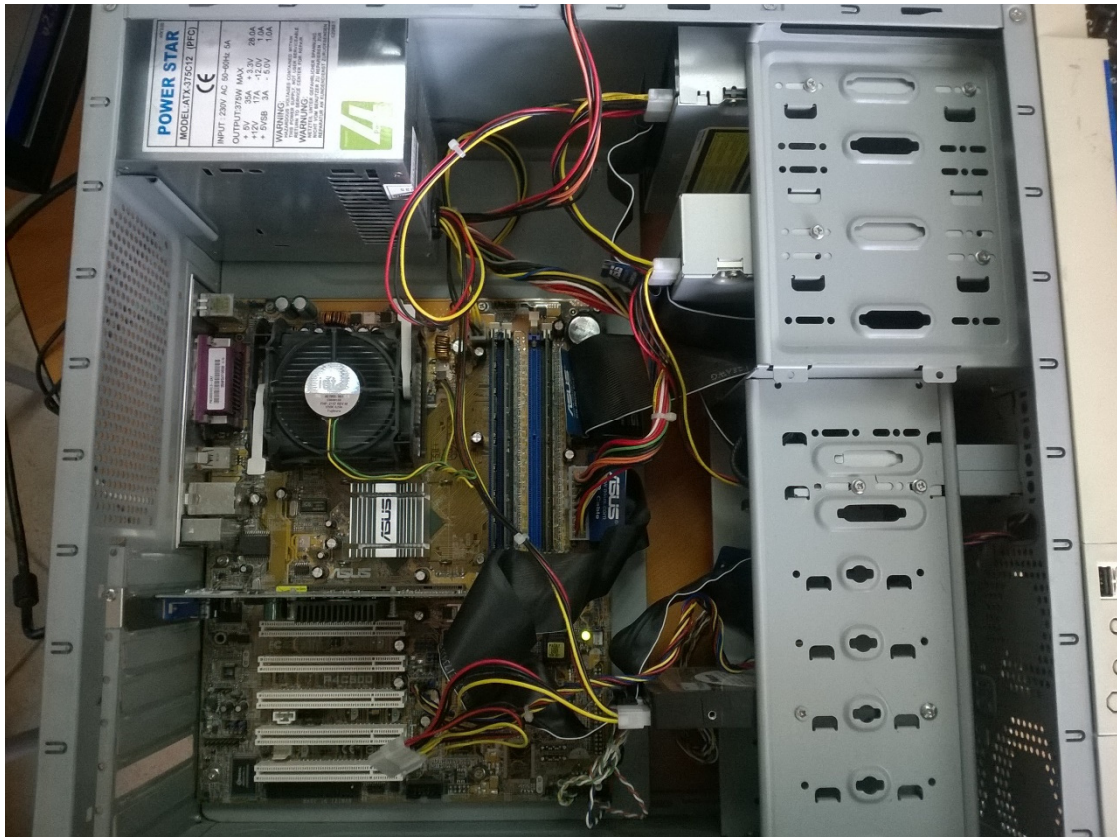
Εικόνα 65. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.



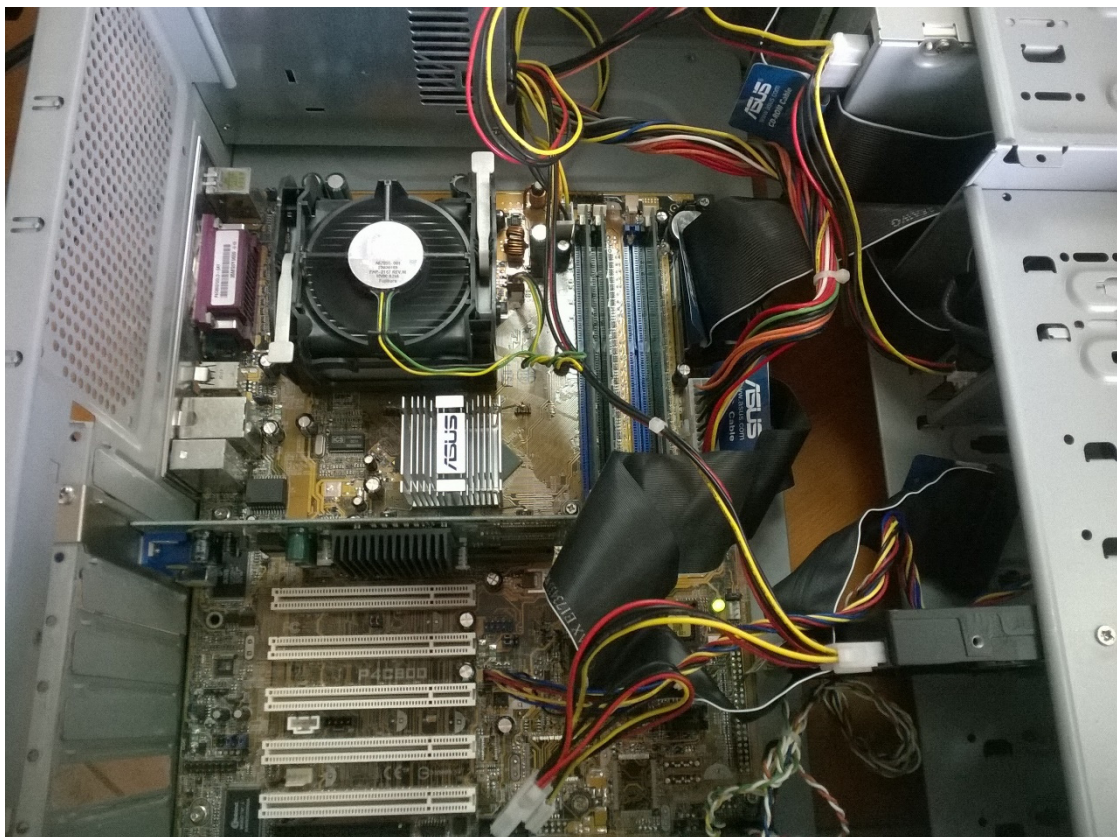
Εικόνα 66. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.



Εικόνα 67. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.



Εικόνα 68. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.



Εικόνα 69. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_03*.

Heron II-03	
Computer	HERON-II-03
Generator	Heron_II_03
Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name	
HERON-I-01	
User Name Heron_I_01	
Logon Domain	HERON-II-03
Motherboard:	
CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (14×200)
Motherboard Name	Asus P4C800 (5 PCI, 1 AGP Pro, 1 WiFi, 4 DDR DIMM)
Motherboard Chipset	Intel Canterwood i875P
System Memory	1024 MB (PC3200 DDR SDRAM)
DIMM1	256 MB PC2700 DDR SDRAM (2.5-3-3-7 @ 166 MHz) (2.0-3-3-6 @ 133 MHz)
DIMM2	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
BIOS Type	Award Modular (11/20/03)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)
Display:	
Video Adapter	NVIDIA GeForce4 MX 440 (64 MB)
3D Accelerator	nVIDIA GeForce4 MX 440
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)
Multimedia:	
Audio Adapter	Analog Devices AD1985 @ Intel 82801EB ICH5 - AC'97 Audio Controller [A-2/A-3]
Storage:	
IDE Controller	Intel(R) 82801EB Ultra ATA Storage Controllers
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	Maxtor 6E040L0 (40 GB, 7200 RPM, Ultra-ATA/133)
Optical Drive	LITEON CD-ROM LTN526 (52x CD-ROM)
Optical Drive	LITE-ON CD-RW SOHR-5238S (52x/32x/52x CD-RW)
SMART Hard Disks Status	OK
Network	
Primary IP Address	88.197.48.108
Primary MAC Address	00-0C-6E-4E-82-A2
Network Adapter	3Com Gigabit LOM (3C940) (88.197.48.108)
Processors/Pentium III	
Manufacturer	Intel
Version	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz
External Clock	200 MHz
Maximum Clock	3600 MHz
Current Clock	2800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	3.3 V, 2.9 V

Πίνακας 27. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή *Heron II 03*.

7.5. Heron II 04

Ο πέμπτος υπολογιστής ήταν ο Heron II 04. Ο υπολογιστής αυτός στήθηκε εξ αρχής χρησιμοποιώντας διάφορα κομμάτια υλικού. Ακολούθως παρουσιάζεται το εσωτερικό του υπολογιστή (Εικόνα 70-Εικόνα 72) καθώς και οι προδιαγραφές του (configuration) ().



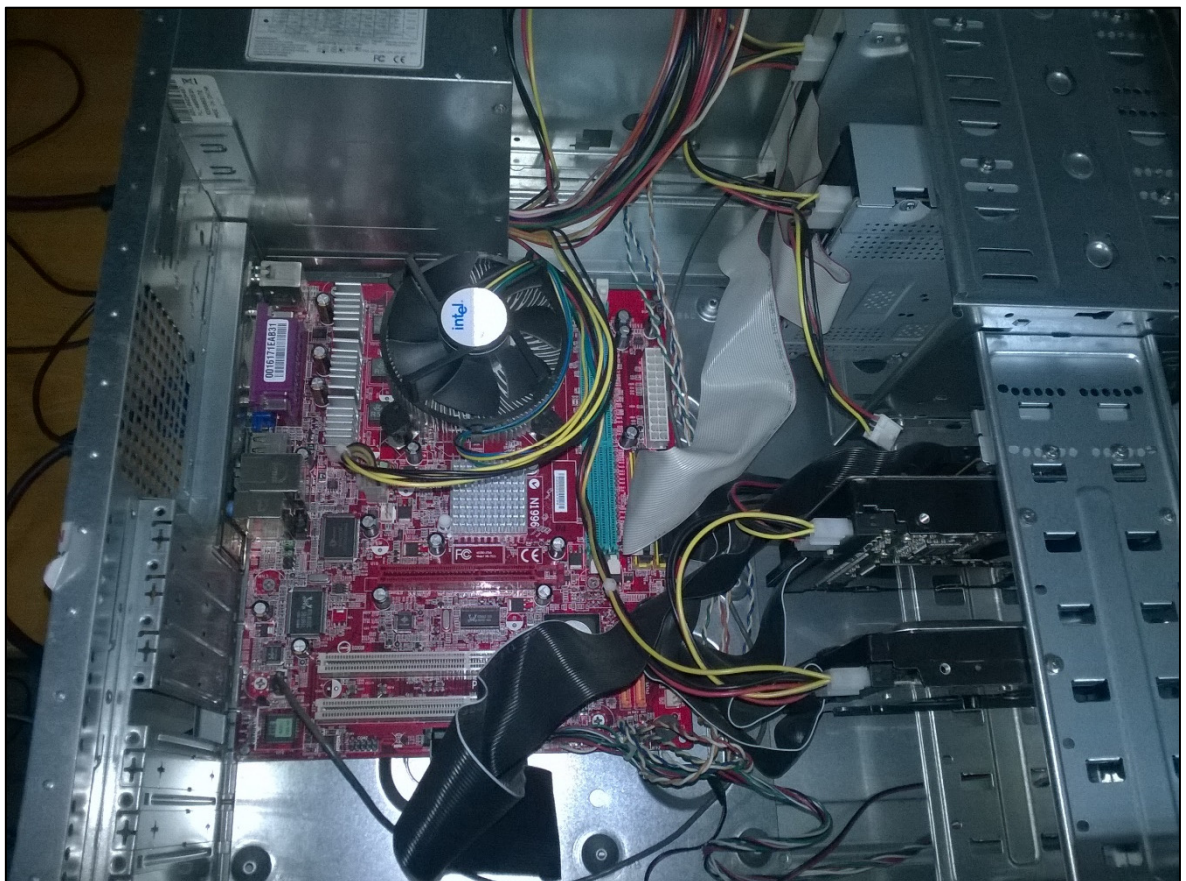
Εικόνα 70. Το εξωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron II 04*.



Εικόνα 71. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron II 04* και ο επεξεργαστής του.



Εικόνα 72. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_04* και το ολοκληρωμένο της μητρικής.



Εικόνα 73. Το εσωτερικό κουτί του υπολογιστή *Heron_II_04* και η μητρική που τελικά χρησιμοποιήθηκε.

Heron II-04	
Computer	HERON-II-04
Generator	Heron_II_04
Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name HERON-I-01	
User Name Heron_I_01	
Logon Domain	HERON-II-04
Motherboard:	
CPU Type	Intel Pentium 4, 1800 MHz (18×100)
Motherboard Name	DFI PE11-EC/EL (5 PCI, 1 AGP, 3 DIMM, Audio)
Motherboard Chipset	VIA VT8753A Apollo P4X266A
System Memory	640 MB (DDR SDRAM)
DIMM1	256 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz) (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
BIOS Type	Award Modular (11/20/03)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)
Display:	
Video Adapter	Matrox Graphics Millennium G550 AGP (32 MB)
3D Accelerator	Matrox Graphics Millennium G550 AGP (32 MB)
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)
Multimedia:	
Audio Adapter	VIA AC'97 Enhanced Audio Controller
Storage:	
IDE Controller	VIA Bus Master IDE Controller
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	ExcelStor Technology J640 (40 GB, 7200 RPM, Ultra-ATA/100)
Optical Drive	LITEON CD-ROM LTN526 (52x CD-ROM)
Optical Drive	LITE-ON CD-RW SOHR-5238S (52x/32x/52x CD-RW)
SMART Hard Disks Status	OK
Network	
Primary IP Address	88.197.48.108
Primary MAC Address	00-4F-4E-17-31-CC
Network Adapter	OvisLink LFE-8139ATX Fast Ethernet Adapter (88.197.48.108)
Processors/Pentium III	
Manufacturer	Intel
Version	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 1.80GHz
External Clock	100 MHz
Maximum Clock	2800 MHz
Current Clock	1800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	1.4 V

Πίνακας 28. Οι προδιαγραφές (configuration) του υπολογιστή *Heron II 04*.

8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (BENCHMARKING) ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

8.1. Διατύπωση του Προβλήματος

Το βιοϊατρικό πρόβλημα, που επελέξαμε να επιλύσουμε με τη βοήθεια της συστοιχίας που κατασκευάσαμε αφορούσε στη μελέτη βολταμετρικών διαγραμμάτων και την υπολογιστική ανάλυσή τους, σκοπός που είναι εξαιρετικά απαιτητικός από την υπολογιστική άποψη. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιήσαμε τα συλλεχθέντα δεδομένα από μια διπλωματική του ΕΜΠ και πιο συγκεκριμένα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού Ιάσωνα Θεοδωρίδη, από την οποία δανειστήκαμε τον κώδικα και με βάση αυτόν κάναμε τους απαραίτητους υπολογισμούς με τη συστοιχία μας (15).

Η έρευνα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ) έχει τις απαρχές της στην αυγή του 19^{ου} αιώνα. Οι πρώτες απόπειρες αφορούσαν τις ανακαλύψεις των μορφολογικών και ανατομικών χαρακτηριστικών του ΚΝΣ, παρά το γεγονός ότι είχαν προηγηθεί κατά έναν αιώνα έρευνες σχετικές με την ηλεκτρική φύση του νευρικού συστήματος, χάρη στις προσπάθειες του *Luigi Galvani*. Επιπλέον, στα μέσα του 20^{ου} αιώνα (1924), η ανακάλυψη της πολαρογραφίας, από τον *Jaroslav Heyrovský*, άνοιξε νέες προοπτικές στην έρευνα της φυσιολογίας του ΚΝΣ (**Εικόνα 74**) (15). Πιο συγκεκριμένα, η ανακάλυψη του *Heyrovský* αφορούσε στην ιδιότητα ορισμένων ηλεκτροδίων να οξειδώνουν μόρια που εκδήλωναν μια τάση οξειδωσης. Με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατό να εκτιμήσεις την παρουσία συγκεκριμένων μορίων ή στοιχείων σε ένα διάλυμα και σε μερικές περιπτώσεις την ποσότητά τους. Ο *Heyrovský* διαμόρφωσε τον πρόδρομο της βολταμετρικής μεθόδου στα 1924, χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο υδραργύρου και συμπεραίνοντας ότι το μετρούμενο ρεύμα από το ηλεκτρόδιο, όταν εφαρμόζεται μια τάση, παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη συγκέντρωση των ουσιών στο διάλυμα που έχουν την ιδιότητα να οξειδώνονται (16). Αργότερα, η ίδια ιδέα εφαρμόστηκε σε ηλεκτρόδια άνθρακα ή άλλου τύπου, και αποτέλεσε την βολταμετρία (17). Αυτές οι ανακαλύψεις άνοιξαν νέες πειραματικές δυνατότητες, όπως οι *in vivo* και *in vitro* ηλεκτροχημικές τεχνικές που θα επέτρεπαν τη μέτρηση βιολογικών ουσιών ή μορίων σε περιοχές του άθικτου ζωντανού εγκεφάλου των ζώων (15, 18).



Εικόνα 74. Ο πολαρογράφος του Heyrovsky¹⁰³.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70, εισάγεται μια ηλεκτροχημική τεχνική που προοριζόταν στο να υπερκεράσει τις δυσκολίες, με το όνομα βολταμμετρία (18, 19). Η βολταμμετρία βασίστηκε στην ηλεκτροχημική ιδιότητα των βιολογικών υγρών, και ειδικότερα κάποιων μορίων όπως οι νευροδιαβιβαστές και οι μεταβολίτες τους (φαινόλες, θιόλες, κλπ.) να οξειδώνονται όταν έρθουν σε απειροστά μικρή απόσταση με μεταλλική ή ημιαγώγιμη επιφάνεια¹⁰⁴ (15, 18, 20, 21). Η βολταμμετρική μέθοδος αποδείχθηκε ότι διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα, όπως ικανοποιητική χρονική (της τάξης των ms) και χωρική ανάλυση, χημική ταυτοποίηση των υπό μελέτη ουσιών, μικρή διαταραχή των περιοχών του εγκεφάλου, αντιστοίχιση μεταξύ των χημικών αποτελεσμάτων και των συμπεριφορικών παραμέτρων, κλπ. (21-23). Η βολταμμετρία έχει εξελιχθεί και έχει αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών. Κάποιες από αυτές είναι η κυκλική βολταμμετρία, η διαφορική βολταμμετρία (Differential Pulse Voltammetry (DPV)), η υδροδυναμική βολταμμετρία, *stripping voltammetry*, η αμπερομετρία, και άλλες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το βασικό πλεονέκτημα της βολταμμετρίας ήταν το γεγονός ότι επέτρεπε *in vivo* μετρήσεις, παρά τον περιορισμό της σε δύο σημαντικά χαρακτηριστικά, την ευαισθησία και την επιλεξιμότητα. Επιπροσθέτως, είχε αναπτυχθεί και ένας αριθμός άλλων τεχνικών για τη μελέτη της φυσιολογίας του ΚΝΣ. Πολλές από αυτές (cortical cup, push-pull cannula, μικροδιάλυση)

¹⁰³ https://en.wikipedia.org/wiki/Polarography#/media/File:Heyrovsk%C3%A9ho_polarograf_2.jpg

¹⁰⁴Οι Hochstetler SE & Wightman RM (1998) εκτιμούν αυτή την απόσταση σε λίγα άγκοστρομ, για τις βολταμμετρικές τεχνικές.

παρουσίαζαν τη δυνατότητα να μετρούν τα επίπεδα μονοαμινών σε *in vitro* και *in vivo* συστήματα. Αυτές οι μέθοδοι παρουσιάζουν υψηλή εκλεκτικότητα και ευαισθησία, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι προκαλούν υπερβολική ζημιά στον εγκεφαλικό ιστό και υλοποιούν ανακριβείς μετρήσεις των υπό μελέτη ουσιών (17, 18, 24).

Καταληκτικά, όλες οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες έχουν βρει εφαρμογή σε μια ευρεία ποικιλία επιστημονικών ερευνών και προσπαθειών, όπως είναι η μελέτη της φυσιολογίας των νευροδιαβιβαστών, που είναι κρίσιμη, λόγω της σχέσης της με τις νευρικές και ψυχικές διαταραχές (κατάθλιψη, άγχος, παχυσαρκία, κλπ.) (25-28).

8.1.1. Στοιχεία Ηλεκτροχημείας

Η ηλεκτροχημεία θα μπορούσε να οριστεί ως ο τομέας που μελετά την αλληλεπίδραση μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας και της χημικής δαπάνης. Όταν μια χημική αντίδραση προκαλείται από ένα εξωτερικά παρεχόμενο ρεύμα, όπως στην ηλεκτρόλυση, τότε αυτή ονομάζεται ηλεκτροχημική αντίδραση. Μια βασική κατηγορία ηλεκτροχημικών φαινομένων είναι οι αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής. Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις αναφέρονται σε μια ηλεκτροχημική διαδικασία, όπου η μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από ή προς ένα μόριο ή ιόν, μεταβάλλει την κατάσταση οξείδωσής του. Αυτές οι αντιδράσεις συμβαίνουν αυθόρμητα ή μετά την εφαρμογή μιας εξωτερικής τάσης. Σε συνέχεια των προηγούμενων, ορίζουμε το ηλεκτροχημικό κύτταρο ως μια συσκευή που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα από ενέργεια που απελευθερώνεται μέσω μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης. Παραδείγματα ηλεκτροχημικών κελιών περιλαμβάνουν συσκευές όπως τα γαλβανικά ή βολταϊκά κύτταρα, καθώς και τα βολταμμετρικά κύτταρα. Τα ηλεκτροχημικά κύτταρα περιλαμβάνουν δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια, ανόδου και καθόδου, όπου το ηλεκτρόδιο ανόδου προκαλεί οξείδωση και το ηλεκτρόδιο καθόδου προκαλεί αναγωγή. Κρίσιμο συστατικό του ηλεκτροχημικού κυττάρου είναι ένα διάλυμα που διευκολύνει τη ροή του ρεύματος, και που ονομάζεται ηλεκτρολύτης. Οι ηλεκτρολύτες είναι συνήθως ρυθμισμένα διαλύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται και ως διαλυτικά μέσα για άλλες ουσίες που πρόκειται να εκτιμηθούν. Στην περίπτωση των βολταμμετρικών κυττάρων προστίθεται ένα ακόμα ηλεκτρόδιο, το οποίο αποτελεί το ηλεκτρόδιο αναφοράς. Δύο κύριες εξισώσεις συγκροτούν την αρχή της ηλεκτροχημείας. Η πρώτη είναι η εξίσωση *Nernst*, η οποία μπορεί να ταυτοποιήσει τη συγκέντρωση των αντιδρώντων σε μια ηλεκτροχημική κυψέλη. Η εξίσωση αυτή εκφράζεται ως:

$$E = E_0 - \frac{RT}{zF} \ln Q_r \quad (5)$$

Ειδικότερα, $E = E_0 - \frac{RT}{zF} \ln Q_r$ (**Εξίσωση 5**), όπου E είναι το δυναμικό του κυττάρου σε θερμοκρασία T , E_0 είναι το δυναμικό ηρεμίας του κυττάρου, R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, z είναι ο αριθμός των moles ή των ηλεκτρονίων που μεταφέρονται λόγω της αντίδρασης, F είναι η σταθερά Faraday και Q_r είναι ο λόγος της συγκέντρωσης των ουσιών που υφίστανται οξείδωση ($[S_{ox}]$) προς τη συγκέντρωση των ουσιών που υφίστανται αναγωγή ($[S_{red}]$).

Η δεύτερη εξίσωση είναι η εξίσωση *Gibbs*, η οποία προβλέπει αν μια αντίδραση μπορεί να συμβεί αυθόρμητα βασισμένη στην ελεύθερη ενέργεια. Η εξίσωση *Gibbs* σχηματίζεται ως εξής:

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q \quad (6)$$

Ειδικότερα, $\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q$ (**Εξίσωση 6**), όπου ΔG είναι η μεταβολή στην ελεύθερη ενέργεια *Gibbs*, ΔG^0 είναι το δυναμικό του κυττάρου όταν $Q=1$, R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, T είναι η θερμοκρασία και $\ln Q$ είναι ο λόγος των προϊόντων επί των αντιδρώντων.

8.1.1.1. Οξείδωση

Στην απλούστερη της μορφή, η οξείδωση συμβαίνει όταν ένα μέταλλο βυθίζεται μέσα σε ένα υδατικό διάλυμα. Στη συνέχεια, ιόντα του ηλεκτρολύτη αντιδρούν με την επιφάνεια του μετάλλου και δωρίζουν ηλεκτρόνια σε αυτή (21). Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί η οξείδωση του ασκορβικού οξέος (Ascorbic Acid (AA)) σε Dehydroascorbate (DHA) (17).

Η γενικευμένη αντίδραση της οξείδωσης μπορεί να γραφεί ως εξής:



Όπου ne^- είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που μεταβαίνουν στην επιφάνεια του μετάλλου (21, 29, 30). Η αντίστροφη διαδικασία, όπου ηλεκτρόνια μεταφέρονται στα ιόντα του ηλεκτρολύτη, ονομάζεται αναγωγή (29).

8.1.1.2. Ηλεκτροκατάλυση

Το φαινόμενο της ηλεκτροκατάλυσης παρουσιάζεται σε ένα διάλυμα με περισσότερες της μίας ουσίες, όταν το ρεύμα οξείδωσης μίας συγκεκριμένης ουσίας ενισχύεται, άρα καταλύεται, από την παρουσία μιας άλλης ουσίας, λόγω επαναληπτικών αντιδράσεων οξείδωσης (21). Για παράδειγμα, στην περίπτωση της ταυτόχρονης παρουσίας ντοπαμίνης (DA) και ασκορβικού οξέος (AA) στο ίδιο διάλυμα, εκδηλώνεται το φαινόμενο της ηλεκτροκατάλυσης. Η ορθοκουϊνόνη (DOQ), που παράγεται από την οξείδωση της ντοπαμίνης, αντιδρά με το ασκορβικό οξύ και παράγει διυδροασκορβικό οξύ (DHA), που

είναι το προϊόν οξείδωσης του AA, και ντοπαμίνη (17, 21). Αυτή η διαδικασία περιγράφεται από την αντίδραση που ακολουθεί:



Αυτός είναι ο λόγος που ένα μέρος της ντοπαμίνης δύναται να οξειδωθεί δύο ή περισσότερες φορές και άρα να μετρηθεί παραπάνω φορές, προκαλώντας λανθασμένα αποτελέσματα (17, 21). Αυτό το ρεύμα ηλεκτροκατάλυσης είναι ανεπιθύμητο και μπορεί να μειωθεί εφαρμόζοντας υψηλούς ρυθμούς σάρωσης (όπως στην FSCV) ή με την χρήση σημαντικά μικρών ηλεκτροδίων (17, 21).

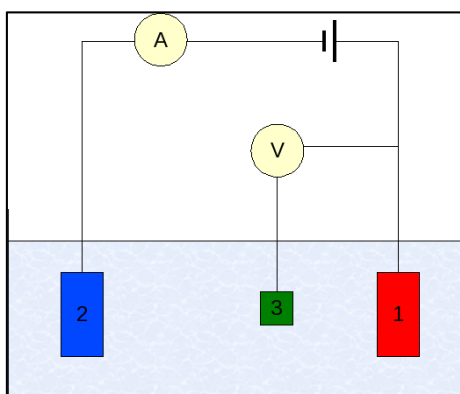
8.1.1.3. Οξειδωτικές Ενώσεις

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο λόγος που η βολταμετρία μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα εύρος πειραματικών ερευνών, προέρχεται από το γεγονός ότι πολλές βιοχημικές ουσίες οξειδώνονται (23), με άλλα λόγια μπορούν να παράξουν ένα ρεύμα (ρεύμα *Faraday*) το οποίο είναι εντοπίσιμο και μετρήσιμο. Το ανιχνεύσιμο ρεύμα μιας άγνωστης ουσίας μπορεί να εκτιμηθεί ποσοτικά με την *in vitro* βαθμονόμηση, όπου γνωστές συγκεντρώσεις αντιστοιχίζονται σε μετρούμενα ρεύματα (24). Στην περίπτωση της έρευνας του εγκεφάλου υπάρχει μια πληθώρα παραδειγμάτων όπου εφαρμόζεται η προηγούμενη μεθοδολογία, όπως λόγου χάρη στην περίπτωση των νευροδιαβιβαστών. Σε μια αναφορά του *Crespi F.* (2011), χρησιμοποιήθηκε η Διαφορική Βολταμετρία και αναφέρθηκαν διάφορα δυναμικά οξείδωσης για ποικίλους νευροδιαβιβαστές. Για παράδειγμα, σημειώνονται οι τιμές οξείδωσης του νευροπεπτιδίου Y (NPY) στα 600mV, των κομματιών 13-36 του NPY στα 595mV και του hPP στα 580mV (25). Επίσης, τα μετρούμενα ρεύματα που καταγράφηκαν ήταν 2.8nA για το NPY, 2.4nA για το hPP και 0.46 nA για τα NPY 13-36 (25). Σε μια άλλη εργασία των *Cesputio et al.* (1981) τα δυναμικά οξείδωσης που ανακαλύφθηκαν περιλαμβάνουν τα -50mV για το AA, 100mV για τις κατεχολαμίνες, 300mV για τις 5-hydroxy ενώσεις (5-HT, 5-HTP, 5-HIAA), 680mV για τα αμινοξέα (τρυπτοφάνη, τυροσίνη) και 680mV μέχρι 800mV για τα νευροπεπτίδια (σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που αναφέρει ο *Crespi F.* (2011)) (23, 25). Επιπλέον, οι *Gonon et al.* (1980), αναφέρουν δυναμικά οξείδωσης στα -50mV για το AA και στα 100mV για το DOPAC στο ραβδωτό σώμα (31), ενώ οι *Clement et al.* (1993) εντόπισαν μια κορυφή τάσης στα 280mV για το 5-HIAA (32). Σημαντικές δυσκολίες φαίνεται να εκδηλώνονται στην ανίχνευση της ισταμίνης, λόγω των ηλεκτροχημικών της ιδιοτήτων. Η ισταμίνη είναι μια αμίνη που οξειδώνεται, αλλά η διαδικασία οξείδωσής της διαφέρει από τις αντίστοιχες της ντοπαμίνης ή της σεροτονίνης, εξαιτίας του γεγονότος ότι προκαλεί μια μετάβαση φορτίου (26). Οι *Samaranayake et al.* (2015) εντόπισαν μια τιμή οξείδωσης, *in vitro* και *in vivo*, περίπου στα 300mV, ενώ οι *Pihel*

et al. (1995) ήταν ικανοί να ανιχνεύσουν την ισταμίνη μόνο μετά από κατάλληλη προεπεξεργασία των ηλεκτροδίων (33). Τέλος, σε μια πολύ ενδιαφέρουσα αναφορά των *Kennedy et al.* (1993) θεμελιώνεται μια προσέγγιση για την ανίχνευση της ινσουλίνης (34). Συμπερασματικά, παρά το γεγονός ότι αρκετές μονοαμίνες έχουν εντοπιστεί μέσω ηλεκτροχημικών τεχνικών, υπάρχει ακόμα μία πληθώρα αυτών που δεν έχουν ακόμα ανιχνευθεί, ή τουλάχιστον όχι ικανοποιητικά. Μία εξήγηση για αυτή τη δυσκολία έχει αποδοθεί στους ελλειπείς μετασχηματισμούς της επιφάνειας των ηλεκτροδίων (21).

8.1.2. Βολταμετρία

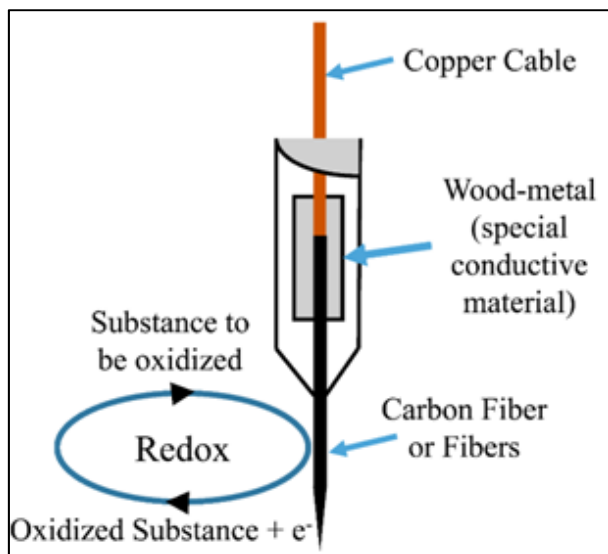
Στη βολταμετρία, ένα δυναμικό που είναι συνάρτηση του χρόνου, εφαρμόζεται σε μια ηλεκτροχημική κυψέλη, μετρώντας το παραγόμενο ρεύμα σαν συνάρτηση αυτού του δυναμικού. Το παραγόμενο διάγραμμα του ρεύματος σε σχέση με το δυναμικό εισόδου ονομάζεται βολταμμόγραμμα, και είναι το ηλεκτροχημικό ισοδύναμο του φάσματος στη φασματοσκοπία, παρέχοντας ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με τις ουσίες που συμμετέχουν στις αντιδράσεις οξειδωσης και αναγωγής. Οι πρώιμες βολταμετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούσαν δύο ηλεκτρόδια, ενώ οι επόμενες έκαναν χρήση ενός συστήματος τριών ηλεκτροδίων (**Εικόνα 75**). Το χρονικά εξαρτώμενο, διεγερτικό δυναμικό εισόδου εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο εργασίας, και έτσι μεταβάλλεται η τάση σε σχέση με το σταθερό δυναμικό του ηλεκτροδίου αναφοράς. Αυτό ακολούθως αλλάζει το ρεύμα που ρέει μεταξύ του ηλεκτροδίου εργασίας και του βοηθητικού ηλεκτροδίου. Το βοηθητικό ηλεκτρόδιο είναι συνήθως ένα σύρμα πλατίνας ενώ το ηλεκτρόδιο αναφοράς είναι συνήθως τύπου *Sat'd Calomel* (SCE) (Χλωριούχου Υδραργύρου Hg/HgCl₂) ή τύπου χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl) (15).



Εικόνα 75. Σύστημα τριών ηλεκτροδίων στη βολταμετρία. (1) Ηλεκτρόδιο εργασίας, (2) βοηθητικό ηλεκτρόδιο, (3) ηλεκτρόδιο αναφοράς¹⁰⁵.

¹⁰⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Voltammetry#/media/File:Three_electrode_setup.png

Η περίπτωση του ηλεκτροδίου εργασίας είναι πιο περίπλοκη, αφού μπορεί να κατασκευαστεί από πολλά διαφορετικά υλικά (υδράργυρος, λευκόχρυσος, χρυσός, ασήμι, άνθρακας, κλπ.). Στις πρώτες βολταμετρικές τεχνικές, όπως και στην πολαρογραφία, χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόδιο εργασίας από υδράργυρο. Λόγω της ρευστής φύσης του υδραργύρου, το ηλεκτρόδιο εργασίας είναι συχνά μια σταγόνα αποκομμένη από το τέρμα ενός τριχοειδούς σωλήνα. Αργότερα, στη βολταμετρία χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρόδια εργασίας από ίνες άνθρακα, ενός νήματος ή πολλαπλών νημάτων (**Εικόνα 76**).



Εικόνα 76. Μοντέλο του βολταμετρικού ηλεκτροδίου και η αντίστοιχη οξειδοαναγωγική αντίδραση στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου άνθρακα (από: Theodoridis & Lambrou (2019)) (35).

8.1.2.1. Βολταμετρικές Τεχνικές

Τροποποιήσεις της βολταμετρικής μεθοδολογίας βασίζονται στις ποικίλες μεταβολές της τάσης εισόδου που εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο εργασίας (18). Κάθε μία από αυτές τις παραλλαγές, διαφέρει σε σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η χρονική ανάλυση, η ευαισθησία, και η δυνατότητα χημικής ταυτοποίησης των εντοπιζόμενων στοιχείων (18). Αρκετές από τις υπάρχουσες βολταμετρικές μεθοδολογίες παρουσιάζονται παρακάτω (15).

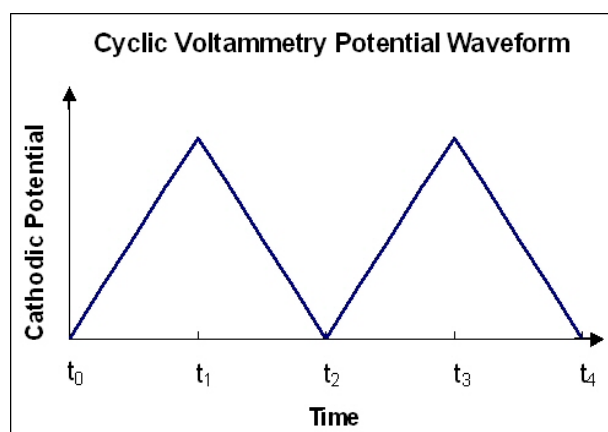
8.1.2.2. Αμπερομετρία

Στην αμπερομετρία, εφαρμόζεται ένα δυναμικό στο ηλεκτρόδιο εργασίας το οποίο διατηρείται σταθερό και αρκούντως θετικό έτσι ώστε να προκαλέσει οξείδωση των υπό μελέτη ουσιών (17, 21, 24). Το ρεύμα εξόδου μετράται σε συνάρτηση με τον χρόνο (19, 21). Το σταθερό δυναμικό εισόδου προκαλεί μειωμένη χωρητικότητα στη διεπιφάνεια ηλεκτροδίου-διαλύματος, και άρα, χαμηλότερο θόρυβο (21), καθώς επίσης και

ικανοποιητικό λόγο ρεύματος Faraday προς ρεύμα φόρτωσης (17, 19). Η αμπερομετρία εκδηλώνει επίσης ικανοποιητική χρονική ανάλυση (υπό της κλίμακας των millisecond (21, 24, 36)) για γρήγορες μετρήσεις (μεταβολές στη συγκέντρωση των νευροδιαβιβαστών, απελευθέρωση, κλπ. (19, 24)). Οι *Adams et al.* (2008) ισχυρίζονται ότι, όταν η αμπερομετρία εφαρμόζεται σε ένα συμβάν απελευθέρωσης νευροδιαβιβαστή, το σχήμα του γραφήματος που προκύπτει παρέχει αρκετές πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες του συμβάντος (37), έχει όμως επίσης αναφερθεί ότι η αμπερομετρία δεν μπορεί να υλοποιήσει χημική ταυτοποίηση της ουσίας που εντοπίζεται σε ένα διάλυμα (15, 17-19, 21, 24, 36).

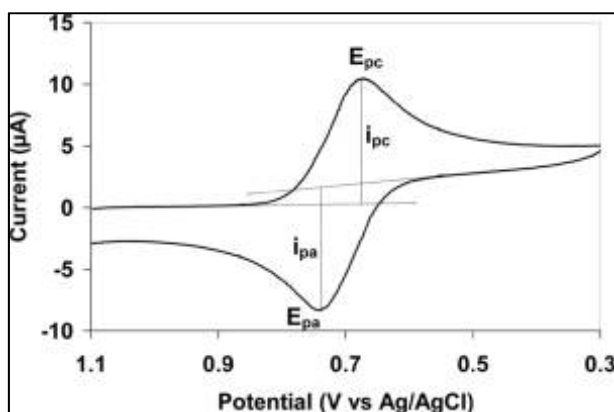
8.1.2.3. Κυκλική Βολταμετρία

Στην κυκλική βολταμετρία, εφαρμόζεται μία αύξουσα τάση με μορφή ράμπας (17), και το ρεύμα οξείδωσης προκύπτει από την στιγμή που το δυναμικό του ηλεκτροδίου φτάνει να ταυτίζεται με τα κατάλληλα δυναμικά οξείδωσης των ουσιών (**Εικόνα 77**) (17). Πριν από αυτή την στιγμή, μετράται μόνο το ρεύμα φόρτισης. Ακολούθως, εφαρμόζεται μια αρνητική σάρωση, όπου επισυμβαίνει η αναγωγή των ουσιών που προηγουμένως είχαν οξειδωθεί (**Εικόνα 78**) (19, 21). Οι *Kawagoe et al.* (1993) ανέφεραν ότι το προϊόν της οξείδωσης μπορεί να υποστεί διάχυση, με αποτέλεσμα οι ουσίες που υφίστανται αναγωγή στην καθοδική σάρωση να υποεκτιμηθούν (19). Κρίσιμη δυνατότητα της κυκλικής βολταμετρίας, όπως και των υπόλοιπων τεχνικών που περιγράφονται παρακάτω (FSCV, DPV, etc.) είναι η παροχή χημικής ταυτοποίησης των ουσιών που υφίστανται οξείδωση (15, 17, 18, 21).



Εικόνα 77. Το δυναμικό εισόδου στην κυκλική βολταμετρία αυξάνει σαν ράμπα γραμμικά σε κυκλικές φάσεις¹⁰⁶.

¹⁰⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_voltammetry#/media/File:Cyclicvoltammetrywaveform.jpg



Εικόνα 78. Κυκλική βολταμετρία¹⁰⁷.

8.1.2.4. Fast Scan Cyclic Voltammetry (FSCV)

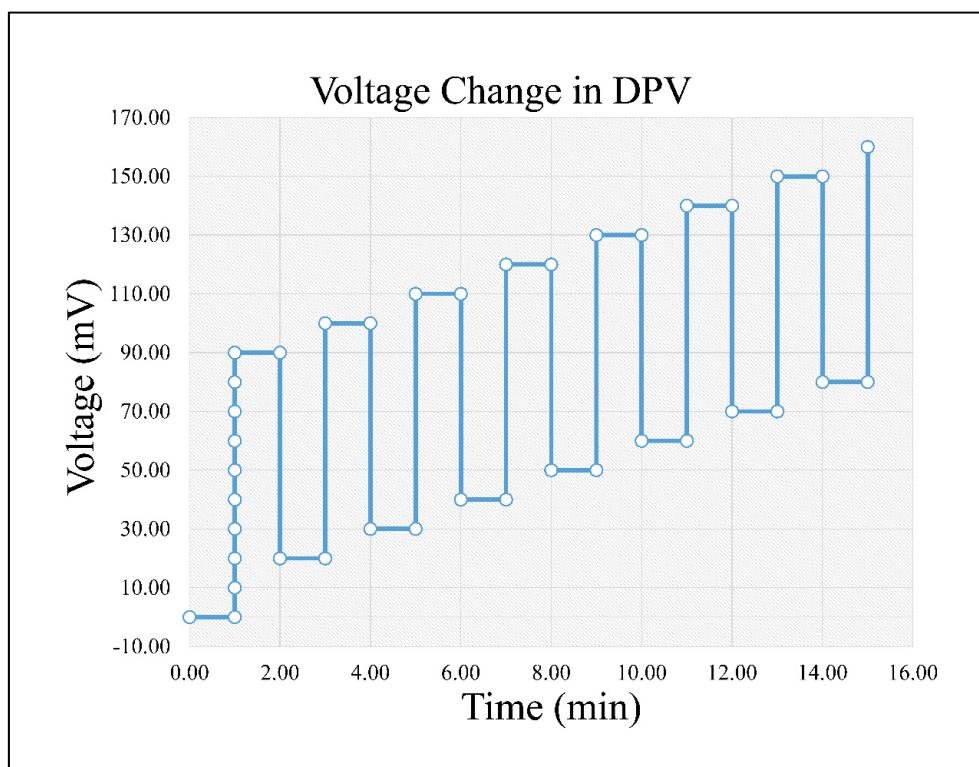
Το εφαρμοζόμενο δυναμικό είναι μια τριγωνική κυματομορφή (21). Η FSCV χρησιμοποιείται κυρίως στη μελέτη της ισταμίνης (26), της σεροτονίνης (24, 27, 37, 38) και της ντοπαμίνης (24, 36, 39, 40), όπως επίσης εφαρμόζεται στον εντοπισμό της απελευθέρωσης και της πρόσληψης των κατεχολαμινών στα χρωμοφόρα κύτταρα (41). Η FSCV παρουσιάζει τη δυνατότητα του εντοπισμού της συγκέντρωσης μονοαμινών στο εύρος των nmol-umol (24, 40).

8.1.2.5. Differential Pulse Voltammetry (DPV)

Η Διαφορική Βολταμετρία αποτελείται από έναν συνδυασμό της αμπερομετρίας και της κυκλικής βολταμετρίας (17-19, 23). Έτσι, η τεχνική αυτή συνδυάζει το πλεονέκτημα της αμπερομετρίας για μειωμένο ρεύμα φόρτισης, μαζί με υψηλή εκλεκτικότητα και ευαισθησία, καθώς επίσης και χημική ταυτοποίηση (17, 19, 25, 42). Παρόλα αυτά, στερείται στην χρονική ανάλυση (19) (για την καταστολή του ρεύματος φόρτισης απαιτούνται χαμηλοί ρυθμοί σάρωσης). Η εφαρμοζόμενη τάση αποτελείται από μια σειρά από χρονικά εξαρτώμενα και διαρκώς αυξανόμενα δυναμικά (Εικόνα 79). Από τη μορφή της τάσης εισόδου προκύπτει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό, ότι το μετρούμενο ρεύμα στην DPV είναι η διαφορά μεταξύ των ρευμάτων στην αρχή και στο τέλος του κάθε παλμού (19, 23). Ο *Crespi F.* (2011) εφάρμοσε την διαφορική βολταμετρία στην αμυγδαλή των ποντικών με σκοπό να μελετήσει τις δραστηριότητες του νευροπεπτιδίου Y (NPY) και των υποδοχέων του (25). Επιπλέον, οι *Clement et al.* (1993) μέτρησαν σεροτονίνη και 5-HIAA στην περιοχή του ραχιαίου πυρήνα ραφής (*nucleus raphe dorsalis*) σε επίμυες χρησιμοποιώντας DPV (32, 43), και οι *Ozel et al.* (2011) μέτρησαν σεροτονίνη *in vivo* με DPV σε έμβρυα του είδους

¹⁰⁷https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_voltammetry#/media/File:Cyclovoltammogram.jpg

Danio rerio (γνωστό ως *zebrafish*, ή σε ελεύθερη απόδοση στα ελληνικά *Ζεβρόψαρο*) (22). Τέλος, υπάρχει μια πληθώρα άλλων παρόμοιων τεχνικών, όπως η *Differential Normal Pulse Voltammetry* (DNPV) (17, 24, 42), η *Differential Double Pulse Voltammetry* (DDPV), η *Steady State Voltammetry* (SSV) (17), *Fast Differential Ramp Voltammetry* (FDRV) (44), *Differential Pulse Amperometry* (DPA) (30, 45) και *Square Wave Voltammetry* (SWV) (29).



Εικόνα 79. Αλλαγή της τάσεως εισόδου στην Διαφορική Βολταμμετρία (από Theodoridis & Lambrou (2019)) (15, 35).

8.1.3. Άλλες Αναλυτικές Τεχνικές

Πέρα από τις βολταμμετρικές τεχνικές που περιγράφηκαν παραπάνω, διαμορφώθηκε μια αξιόλογη συζήτηση γύρω από τη σύγκριση αυτών των βολταμμετρικών μεθόδων με τεχνικές διάχυσης. Οι τεχνικές αυτές εφαρμόστηκαν πρώτη φορά στη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα, και αποτελούνταν κυρίως από τις εξής μεθόδους: *cortical cup*, *push pull cannula* και *μικροδιάλυση* (17, 18). Από τις παραπάνω μεθοδολογίες, η πιο προηγμένη είναι η μικροδιάλυση, κυρίως λόγω της μεμβράνης διάλυσης που εφαρμόζεται στην άκρη του ηλεκτροδίου, αποτρέποντας την εξωτερική διάχυση και τη διαταραχή των ιστών (17, 18). Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στη μικροδιάλυση έχουν διάμετρο στο εύρος των 200-300 μ m, ενώ, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ηλεκτρόδια της βολταμμετρίας πρόσκεινται στο εύρος των 10-35 μ m (17-19, 24). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται στη μικροδιάλυση να προκαλεί υπερβολική και ανεπιθύμητη

διαταραχή ή τραυματισμό της περιοχής του εγκεφάλου στην οποία εισχωρεί (17-19, 24). Αντιθέτως, τα βολταμετρικά ηλεκτρόδια προκαλούν την ελάχιστη δυνατή ζημιά, και έτσι μπορούν να μετρήσουν ηλεκτροχημικές ουσίες σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου (χωρική ανάλυση της τάξης των μm) (17, 23, 24, 46).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ηλεκτροχημικών τεχνικών είναι και η χρονική ανάλυση. Οι βολταμετρικές τεχνικές είναι κατάλληλες για μετρήσεις σε διαστήματα των 100ms (18), ή των 250ms, όπως ανέφερε ο *Stamford JA* (1985) (17), και γενικά αποτυπώνουν παροδικά συμβάντα εύρους 10-500ms (39). Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη, από την στιγμή που η ανίχνευση της απελευθέρωσης ή πρόσληψης νευροδιαβιβαστών συμβαίνει σε διαστήματα μικρότερα του ενός δευτερολέπτου (24, 39). Παρόλα αυτά, οι βολταμετρικές τεχνικές εκδηλώνουν περιορισμένες δυνατότητες στη μέτρηση μη παροδικών, μεγάλης χρονικής κλίμακας μεταβολών (23, 24), ενώ οι μετρήσεις με μικροδιάλυση περιορίζονται σε διαστήματα 5-20 λεπτών (18, 19) (χρονική κλίμακα της τάξης των λεπτών ή ωρών (24)).

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η μικροδιάλυση εκδηλώνει υψηλή ευαισθησία και επιλεκτικότητα, όντας ικανή να ανιχνεύσει οποιαδήποτε χημική ουσία, ανεξαρτήτως της δυνατότητας αυτής να οξειδώνεται (18, 19, 24).

8.1.4. Ανάκτηση Δεδομένων

Το εύρος του σήματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν από -0.150V έως +0.600V και η ενίσχυση εξαρτήθηκε από την ισχύ του σήματος κάθε μέτρησης. Οι λήψεις βολταμετρικών σημάτων υλοποιήθηκαν όπως περιγράφηκε παραπάνω. (47-49) Οι μετρήσεις έγιναν με έναν ορθογώνιο παλμό (-0.1 έως 0.6V έναντι ηλεκτροδίου Ag^+/AgCl , $400\text{V}\cdot\text{sec}^{-1}$) επαναλαμβανόμενο κάθε 100 msec. Το ηλεκτρόδιο διατηρήθηκε στα -0.4 V μεταξύ των σαρώσεων. Η κυματομορφή παράχθηκε και το βολταμετρικό σήμα καταγράφηκε από έναν πολαρογράφο. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το *BIOPULSE Pulse Voltammetry System* (SOLEA amplifier, TACUSSEL Electronique, Lyon-Villeurbanne, France). Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένας τροποποιημένος πολαρογράφος E506 (Metrohm, FRG) για τη λήψη των μετρήσεων διαφορικής βολταμετρίας (Differential Pulse Voltammetry/DPV).

8.1.5. Recording Sessions

Την ημέρα του πειράματος, ένα μικροηλεκτρόδιο ινών άνθρακα εμφυτεύθηκε στο ανατομικό σημείο ενδιαφέροντος με τη βοήθεια ενός μικρο-οδηγού (Microdrive)

(University of North Carolina, Department of Chemistry, Instrument Shop). Η θέση του μικροηλεκτροδίου βελτιστοποιήθηκε ελέγχοντας μια ηλεκτρικώς προκλητή απελευθέρωση ντοπαμίνης (biphasic, 2 ms perphase, 24 pulses, 60 Hz, 125μΑ). Όταν παρατηρήθηκε ένα σημαντικό ικανοποιητικό σήμα, στο ανατομικό σημείο ενδιαφέροντος, θεωρήθηκε αυτό ως η απαρχή των μετρήσεων (19). Τα καταγεγραμμένα δεδομένα, εκτυπώθηκαν σε χαρτί με τη χρήση πολυρογράφου και οι μετρήσεις κρατήθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία (15).

8.1.6. Ψηφιοποίηση Δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων έπρεπε να πραγματοποιηθεί πρωτίστως η ψηφιοποίηση τους. Η ψηφιοποίηση των δεδομένων, δηλαδή των βολταμμογραμμάτων, έγινε χειρονακτικά. Τα γραφήματα σχεδιάστηκαν σε μιλιμετρέ ριζόχαρτο μεγέθους A3 (297×420mm), και ελήφθησαν μετρήσεις του μήκους του βολταγράμματος ανά 1 χιλιοστό του άξονα x . Δεδομένου ότι η ταχύτητα u του χαρτιού ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων και ίση με u , χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$u = \frac{x}{t} \quad (7)$$

Ειδικότερα, $u = \frac{x}{t}$ (Εξίσωση 7), όπου u είναι η ταχύτητα του χαρτιού, x η απόσταση που διανύεται σε χρόνο t .

Αν αντικαταστήσουμε ως, $x=1\text{mm}=0.001\text{m}$, μπορούμε να λύσουμε ως προς t και να υπολογίσουμε την περίοδο ήτοι:

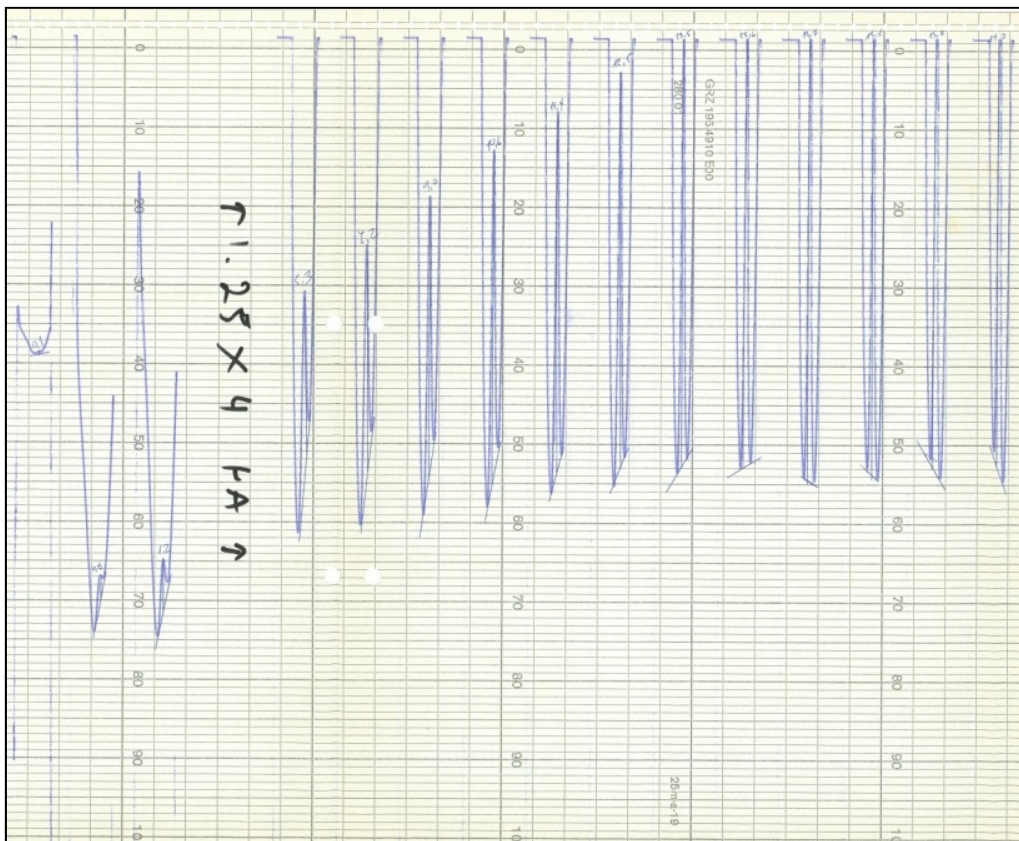
$$T = \frac{x}{u} \quad (8)$$

Ειδικότερα, $T = \frac{x}{u}$ (Εξίσωση 8), όπου T είναι η περίοδος της δειγματοληψίας, x η απόσταση που διανύεται και u η ταχύτητα του χαρτιού.

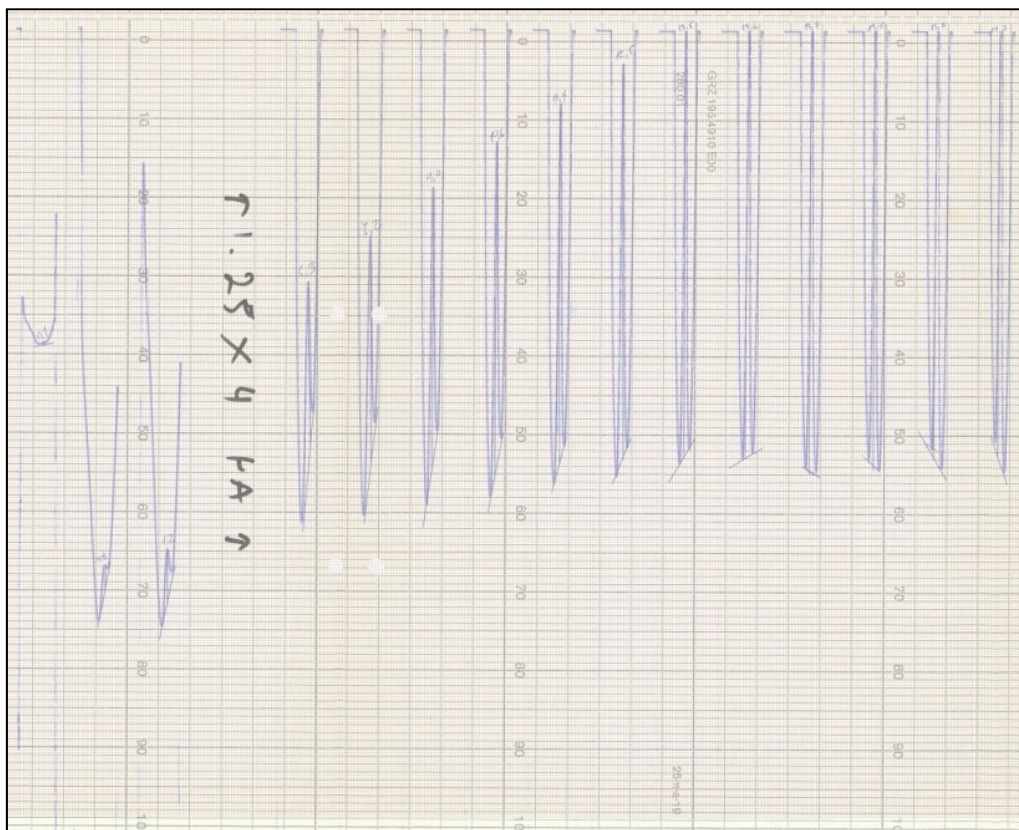
Να σημειωθεί εδώ ότι στον άξονα των y χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη διάσταση του αντιγραφικού χαρτιού (297mm), η οποία ήταν πάντα επαρκής. Η μεγάλη πλευρά του ριζόχαρτου (420mm) χρησιμοποιήθηκε στο μήκος της μέτρησης, και όπου αυτή δεν έφτανε (όπου δηλαδή η μέτρηση υπερέβαινε τα 420mm, κάτι που ισχύει για τις περισσότερες μετρήσεις), προστέθηκαν τα αναγκαία ριζόχαρτα διαδοχικά.

Στην **Εικόνα 80** φαίνεται ένας μέρος μόνο μιας τυχαία επιλεγμένης μέτρησης, ενώ στην **Εικόνα 81** προσθέσαμε ηλεκτρονικά ένα διάφανο millimeter για να παρουσιάσουμε μια προσομοίωση της διαδικασίας. Τέλος, στην **Εικόνα 82** παρουσιάζουμε την ίδια μέτρηση μετά την ψηφιοποίηση.

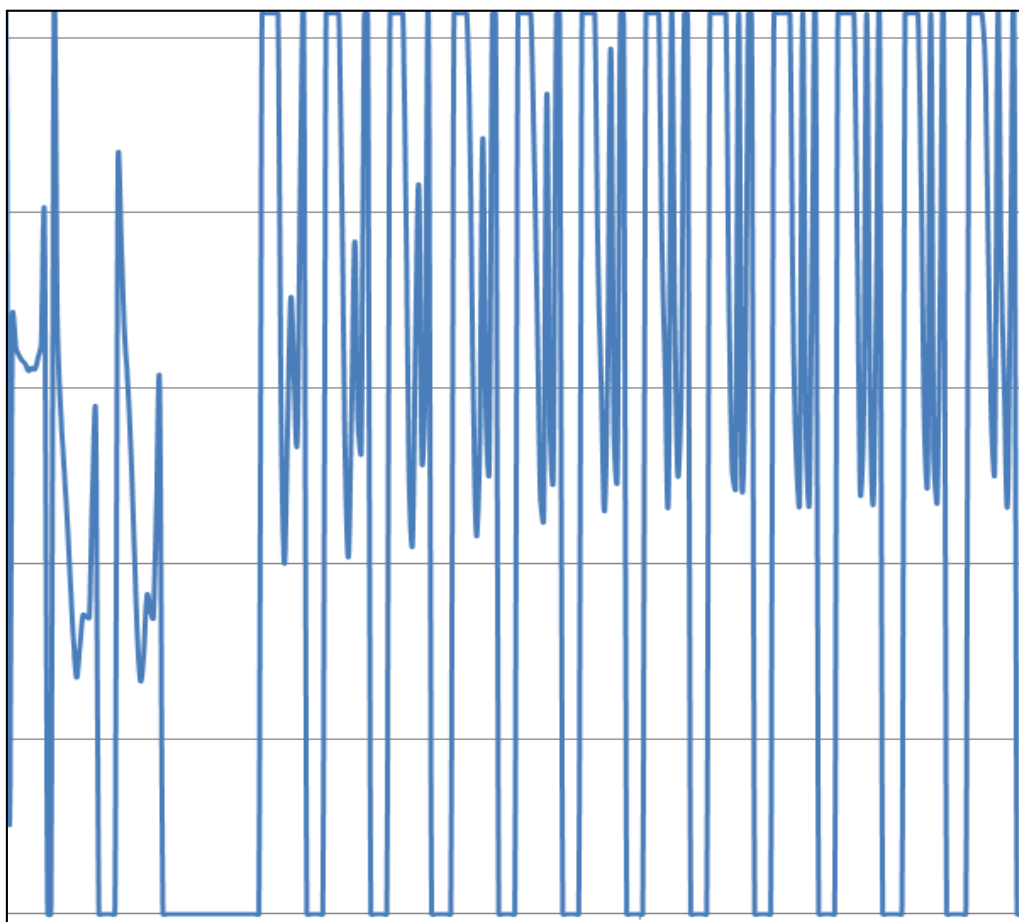
Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη δια χειρός μέτρηση, εισήχθησαν στο πρόγραμμα Microsoft Excel®, για περαιτέρω επεξεργασία. Τα ψηφιοποιημένα σήματα, ταξινομήθηκαν με βάση το είδος της μέτρησης, τις συνθήκες της μέτρησης και τις υπό μέτρηση ενώσεις.



Εικόνα 80. Φωτογραφία μιας μέτρησης (μπλε γραφίδα).



Εικόνα 81. Η μέτρηση με την προσθήκη διάφανου millimeter.



Εικόνα 82. Αναπαράσταση με Excel της παραπάνω μέτρησης μετά την ψηφιοποίηση.

8.1.7. Ανάλυση Δεδομένων

Μετά τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η διόρθωση θορύβου και το ψηφιακό φιλτράρισμα (4-pole Bessel filter, 2 kHz) με προγράμματα γραμμένα στο LABVIEW (National Instruments). Επειδή η κορυφή οξείδωσης της ντοπαμίνης είναι 0.65V κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες, εξετάστηκαν αλλαγές του ρεύματος στο συγκεκριμένο δυναμικό. Για την αξιολόγηση της παρουσίας ντοπαμίνης ατομικά, τα διορθωμένα βολταμογράμματα συγκρίθηκαν με πρότυπα βολταμογράμματα ντοπαμίνης, και υπολογίστηκε ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης r . Εκτός από τη νορεπινεφρίνη, τα κυκλικά βολταμογράμματα όλων των ελεγχόμενων ουσιών έχουν έναν συντελεστή αυτοσυσχέτισης ίσο με 0.86 όταν συγκρίνονται με τη ντοπαμίνη. Σε αυτή την εργασία, τα κυκλικά βολταμογράμματα θεωρούντο ως ταυτοποιηθέντα με τη ντοπαμίνη μόνο εάν προέκυπτε συντελεστής αυτοσυσχέτισης $r > 0.86$.

8.1.8. Μετασχηματισμός Fourier

Τα διορθωμένα για το θόρυβο βολταμογράμματα, υπέστησαν περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση με μετασχηματισμό Fourier. Τα σήματα ήταν διακριτού χρόνου, συνεπώς εφαρμόσαμε Μετασχηματισμό Fourier Διακριτού Χρόνου (Discrete Time Fourier Transform (DTFT)) και Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform (DFT)).

8.1.8.1. Μετασχηματισμός Fourier Διακριτού Χρόνου (DTFT)

Ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου μπορεί να ορισθεί ως ακολούθως. Αν συμβολίσουμε το σήμα του διακριτού χρόνου ως $x[n]$, τότε ο DTFT περιγράφεται από τη σχέση:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n} \quad (9)$$

Ειδικότερα, $X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n}$ (Εξίσωση 9), όπου $x[n]$ είναι το σήμα

διακριτού χρόνου και ω η συχνότητα.

Η $x[n]$ γράφεται ως σύνθεση μικρών μιγαδικών ημιτονοειδών, ήτοι:

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (10)$$

Ειδικότερα, $x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega$ (Εξίσωση 10), όπου $X(e^{j\omega})$ είναι το

Φουριεριανό μετασχημάτισμα και ω η συχνότητα.

Η σχέση αυτή αποτελεί τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier (Inverse Discrete Time Fourier Transform (IDTFT)).

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι η μιγαδική συνάρτηση της συχνότητας ω . Συνεπώς, μπορεί να εκφραστεί είτε σε καρτεσιανή μορφή:

$$X(e^{j\omega}) = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega}) \quad (11)$$

Ειδικότερα, $X(e^{j\omega}) = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega})$ (Εξίσωση 11), όπου $X_R(e^{j\omega})$ το πραγματικό μέρος της συνάρτησης και $X_I(e^{j\omega})$ το φανταστικό μέρος της συνάρτησης, είτε

σε πολική μορφή, ως $X(e^{j\omega}) = |X(e^{j\omega})| e^{j\angle X(e^{j\omega})}$, όπου $|X(e^{j\omega})|$ το μέτρο της μιγαδικής συνάρτησης και $\angle X(e^{j\omega})$ η γωνία της.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, χρησιμοποιούμε την πολική αναπαράσταση του μετασχηματισμού Fourier, όπως θα φανεί και παρακάτω, στις γραφικές παραστάσεις του μέτρου και της γωνίας των μετασχηματισμών των βολταμογραμμάτων. Σημειώνουμε ακόμα ότι για να υπάρχει η $X(e^{j\omega})$ και να συγκλίνει ομοιόμορφα σε συνεχή συνάρτηση του ω , πρέπει η $x[n]$ να είναι απολύτως αθροίσιμη, δηλαδή να ισχύει:

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} |x[n]| < \infty \quad (12)$$

Ειδικότερα, $\sum_{n=-\infty}^{+\infty} |x[n]| < \infty$ (Εξίσωση 12), όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου.

Η παραπάνω σχέση αποτελεί τη συνθήκη απόλυτης αθροισιμότητας, η οποία είναι ικανή συνθήκη ύπαρξης της $X(e^{j\omega})$. Βέβαια, δεν είναι όλες οι ακολουθίες απολύτως αθροίσιμες, αλλά υπάρχουν και τετραγωνικά αθροίσιμες ακολουθίες, για τις οποίες ισχύει:

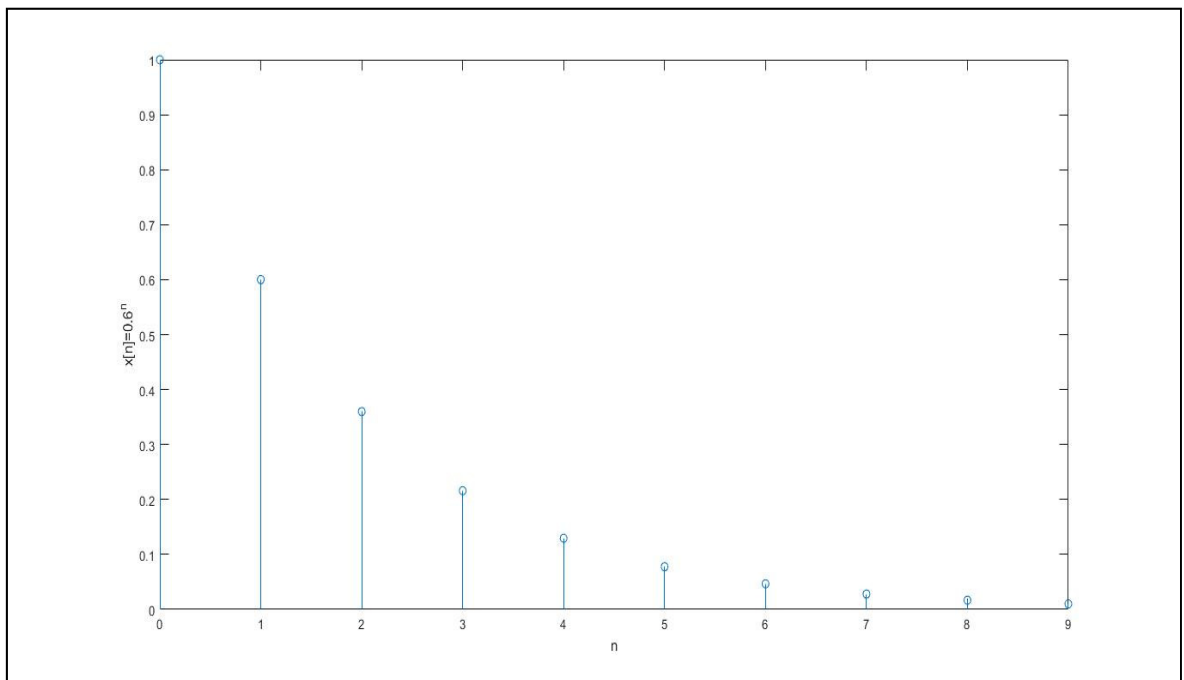
$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} |x[n]|^2 < \infty \quad (13)$$

Ειδικότερα, $\sum_{n=-\infty}^{+\infty} |x[n]|^2 < \infty$ (**Εξίσωση 13**), όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου.

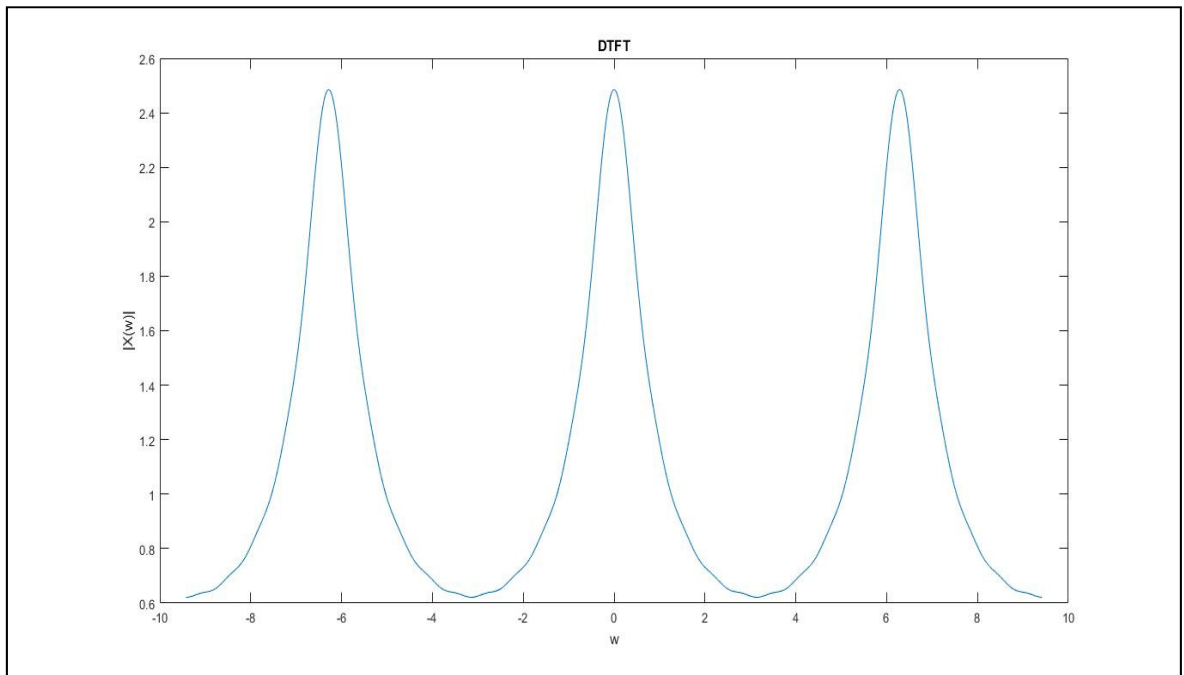
Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει ο μετασχηματισμός Fourier και παρουσιάζει μεσο-τετραγωνική σύγκλιση. Υπάρχουν, τέλος, συναρτήσεις που δεν εκδηλώνουν ούτε απόλυτη, ούτε τετραγωνική αθροισμότητα, αλλά που είναι χρήσιμος ο μετασχηματισμός Fourier. Τέτοιες είναι η σταθερή συνάρτηση $x[n]=1$, για κάθε n , η μοναδιαία βηματική ακολουθία $u[n]$, κλπ. Ολοκληρώνοντας αυτή τη σύνοψη, παραθέτουμε τις εξής ιδιότητες του DTFT, οι οποίες θα γίνουν διακριτές και στους μετασχηματισμούς των βολταμμογραμμάτων των επόμενων κεφαλαίων:

α) ο DTFT είναι συνεχής και περιοδικός ως προς ω με περίοδο 2π (**Εικόνα 84**).

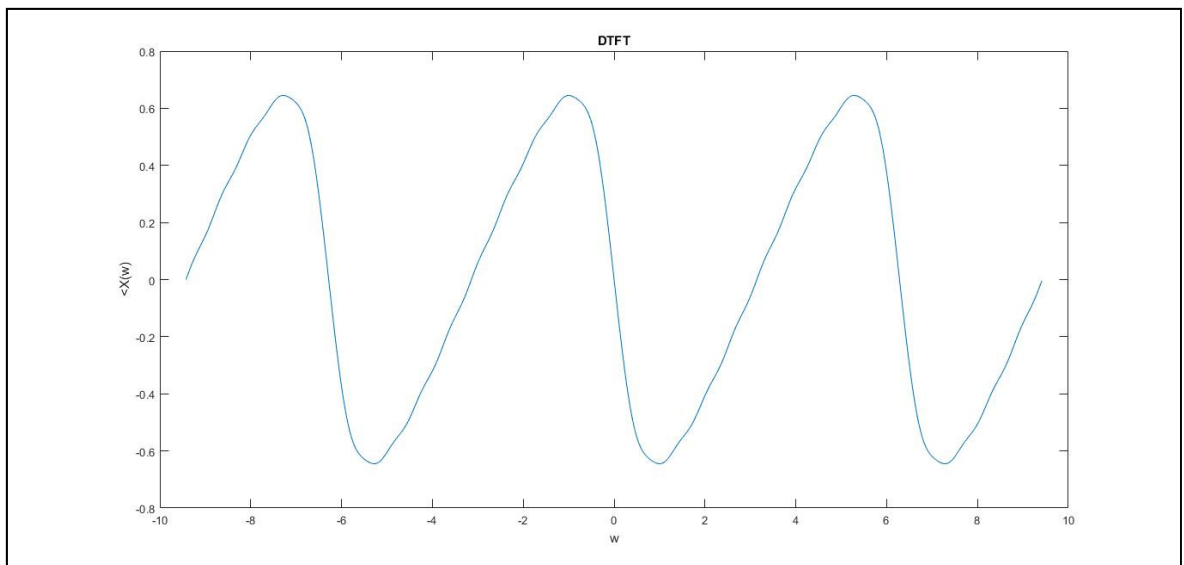
β) αν η $x[n]$ είναι πραγματική συνάρτηση, τότε το μέτρο $|X(e^{j\omega})|$ είναι άρτια συνάρτηση και η γωνία $\angle X(e^{j\omega})$ περιττή συνάρτηση ως προς ω (**Εικόνα 85**).



Εικόνα 83. Γραφική παράσταση της συνάρτησης διακριτού χρόνου $x[n]=0.6^n$, για $0 \leq n \leq 9$.



Εικόνα 84. Γραφική παράσταση του μέτρου $|X(e^{j\omega})|$ του DTFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$ της προηγούμενης εικόνας. Διακρίνεται ότι το μέτρο του DTFT είναι συνεχής συνάρτηση και περιοδική ως προς ω .



Εικόνα 85. Γραφική παράσταση της γωνίας $\angle X(e^{j\omega})$ του DTFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$. Φαίνεται ότι η γωνία του DTFT είναι περιττή συνάρτηση του ω .

8.1.8.2. Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT)

Αντίστοιχα, όπως στην περίπτωση του μετασχηματισμού Fourier διακριτού χρόνου, ορίζεται και ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier και μπορεί να ορισθεί ως ακολούθως.

Σε ένα σήμα $x[n]$ πεπερασμένου μήκους N , μπορούμε να υπολογίσουμε τον Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform (DFT)) κατά τρόπο:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (14)$$

Ειδικότερα,
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (\text{Εξίσωση 14}),$$

όπου όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου.

Ο αντίστροφος DFT (IDFT) δίνεται από την σχέση:

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (15)$$

Ειδικότερα,
$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[k] e^{j \frac{2\pi nk}{N}}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (\text{Εξίσωση 15}),$$
 όπου $x[n]$,

$X(k)$ ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier του $x[n]$.

Φαίνεται λοιπόν ότι $X[k]=0$ εκτός του διαστήματος $[0, N-1]$. Οι τιμές του DFT είναι μιγαδικές, συνεπώς παρουσιάζονται οι δύο εναλλακτικοί τρόποι αναπαράστασης που εκτέθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο για τον DTFT:

α) καρτεσιανή μορφή: $X[k] = \text{Re}\{X[k]\} + j \text{Im}\{X[k]\}$

β) πολική μορφή: $x[k] = |x[k]| e^{j \angle x[k]}$.

Ο DFT των βολταμογραμμάτων θα αποτυπωθεί γραφικά χρησιμοποιώντας την πολική μορφή.

Δύο παρατηρήσεις είναι σημαντικές:

α) ο DFT παίρνει διακριτό σήμα στον χρόνο και δίνει διακριτό σήμα στην συχνότητα, σε αντίθεση με τον DTFT που λαμβάνει σήμα διακριτού χρόνου και δίνει συνεχές σήμα στη συχνότητα (**Εικόνα 86**, **Εικόνα 87**).

β) ο DFT είναι ουσιαστικά μια δειγματοληψία στη συχνότητα του DTFT. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής:

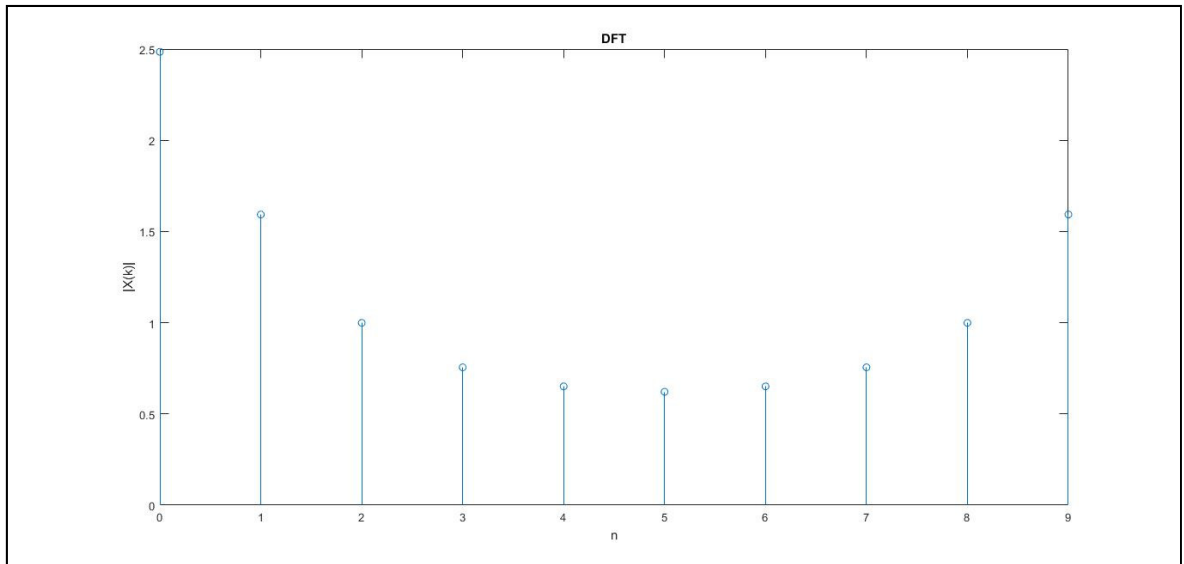
Έστω ένα σήμα $x[n]$, όπου $x[n]=0$ εκτός του διαστήματος $[0, N-1]$. Ο DTFT είναι δίνεται από:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\omega n} \quad (16)$$

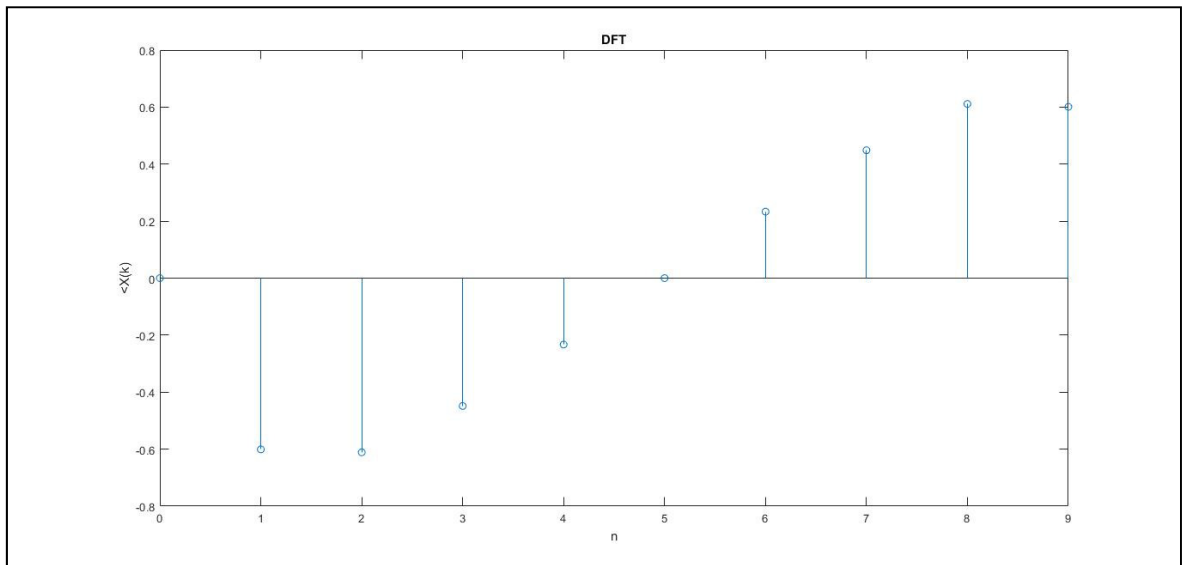
Ειδικότερα,
$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\omega n} \quad (\text{Εξίσωση 16}),$$
 όπου $x[n]$ το σήμα διακριτού χρόνου, $X(e^{j\omega})$ ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου του $x[n]$, και ω η συχνότητα.

Αν αντικαταστήσουμε ως $\omega = \frac{2\pi k}{N}$, διαπιστώνουμε ότι ο DTFT γίνεται

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\frac{2\pi nk}{N}} \quad \text{και ταυτίζεται με τον DFT.}$$



Εικόνα 86. Γραφική παράσταση του μέτρου $|X[k]|$ του DFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$. Διακρίνεται ότι το μέτρο του DFT είναι διακριτή συνάρτηση, σε αντίθεση με τον DTFT.



Εικόνα 87. Γραφική παράσταση της γωνίας $\angle X[k]$ του DFT της συνάρτησης $x[n]=0.6^n$.

8.2. Ο Υπολογισμός του Μετασχηματισμού Fourier με τη Χρήση της Συστοιχίας Υπολογιστών

Για να γίνει η αξιολόγηση της απόδοσης της συστοιχίας, «τρέξαμε» τον ακόλουθο κώδικα σε έναν υπολογιστή P4 και ακολούθως στη συστοιχία σε έξι επεξεργαστές P4 (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II). Το αποτέλεσμα του υπολογισμού ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρον, αφού φάνηκε ότι η παράλληλη επεξεργασία στη συστοιχία απέδωσε αποτελέσματα πολύ ταχύτερα. Ειδικότερα, η συνολική διαδικασία διήρκεσε 226min (Πίνακας 29) με ένα επεξεργαστή ενώ αντίθετα με έξι επεξεργαστές διήρκεσε 4.2min (Πίνακας 30), (Εικόνα 88).

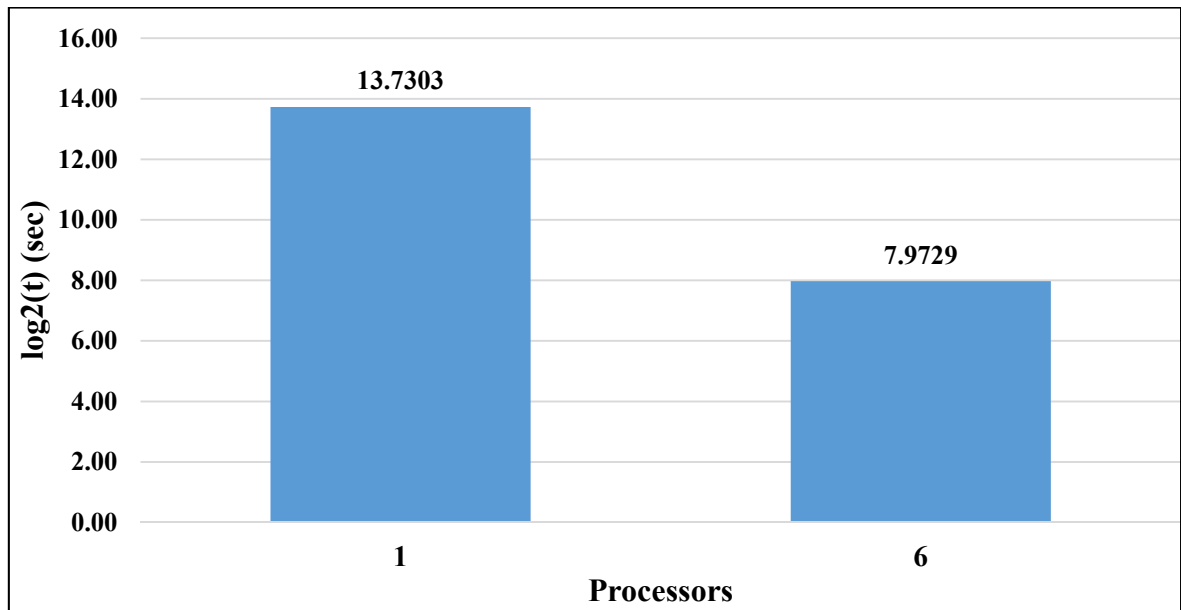
Ως εκ τούτου, η χρήση της συστοιχίας, ήτοι της παράλληλης επεξεργασίας βελτίωσε την απόδοση της ρουτίνας θεαματικά, αφού έδωσε αποτελέσματα 54 φορές ταχύτερα. Τα γεγονόσ αυτό πιστοποίησε τόσο το ότι η συστοιχία μας είχε κατασκευασθεί ορθά, όσο και το ότι ήταν λειτουργική και μπορούσε πλέον να χρησιμοποιηθεί και για άλλες εφαρμογές.

Function Name	Calls	Total Time (sec)	Total Time (min)	log2(total time) (sec)	Self Time* (sec)	log2(self time) (sec)
process	1	13589.9750	226.4996	13.7303	0.1480	-2.7563
mupadmex (MEX-file)	17167	13588.4250	226.4738	13.7301	13588.2530	13.7301
sym.sym>sym.double	9	8975.1680	149.5861	13.1317	0.3380	-1.5649
sym.sym>sym.privUnaryOp	24	4472.7140	74.5452	12.1269	0.0050	-7.6439
sym.abs	5	2294.7310	38.2455	11.1641	0.0010	-9.9658
sym.angle	4	2172.8830	36.2147	11.0854	0.0010	-9.9658
procl	5	146.9910	2.4499	7.1996	0.0060	-7.3808
MSF	5	146.9200	2.4487	7.1989	0.0220	-5.5064
sym.subs	5	117.3900	1.9565	6.8752	0.0030	-8.3808
sym.subs>mupadsubs	5	117.3840	1.9564	6.8751	0.0040	-7.9658
dtft	5	29.5080	0.4918	4.8830	0.0340	-4.8783
sym.sym>sym.privBinaryOp	15	18.8250	0.3138	4.2346	0.0090	-6.7959
sym.sym>tomupad	467	13.0960	0.2183	3.7111	0.0130	-6.2653
sym.sym>cell2ref	88	13.0300	0.2172	3.7038	0.0060	-7.3808
sym.sym>sym.mtimes	10	9.7480	0.1625	3.2851	0.0030	-8.3808
sym.sym>sym.privResolveArgs	483	9.3580	0.1560	3.2262	0.0250	-5.3219
sym.sym>sym.times	5	9.0820	0.1514	3.1830	0.0020	-8.9658
sym.exp	5	5.0700	0.0845	2.3420	0.0020	-8.9658
sym.display	5	3.9270	0.0655	1.9734	0.0190	-5.7179
sym.display>displayVariable	5	3.7550	0.0626	1.9088	0.0210	-5.5735
sym.subs>normalize	5	3.7390	0.0623	1.9027	0.0140	-6.1584
sym.disp	5	3.7340	0.0622	1.9007	0.0240	-5.3808
...dengine>mupadengine.collectGarbage	5	2.8990	0.0483	1.5356	0.0010	-9.9658
sym.sym>sym.sym	467	2.2420	0.0374	1.1648	0.0190	-5.7179

Πίνακας 29. Η απόδοση και ο χρόνος υπολογισμού (benchmarking) του μετασχηματισμού Fourier για τα βολταμετρικά σήματα σε ένα επεξεργαστή.

Function Name	Calls	Total Time (sec)	Total Time (min)	log2(total time) (sec)	Self Time* (sec)	log2(self time) (sec)
process	1	251.239	4.187316667	7.9729	0.137	-2.8678
		251.102	4.185033333	7.9721		#NUM!
parallel_function	1	248.384	4.139733333	7.9564	0.03	-5.0589
procl	5	248.317	4.138616667	7.9560	0.006	-7.3808
MSF	5				0.023	-5.4422
		247.323	4.12205	7.9503	247.153	7.9493
mupadmex (MEX-file)	20938					
		220.458	3.6743	7.7844		
sym.subs	5				0.004	-7.9658
		220.45	3.674166667	7.7843		#NUM!
sym.subs>mupadsubs	5				0.004	-7.9658
dft	5	27.835	0.463916667	4.7988	0.032	-4.9658
sym.sym>sym.privBinaryOp	15	15.491	0.258183333	3.9534	0.008	-6.9658
sym.sym>tomupad	458	11.629	0.193816667	3.5397	0.012	-6.3808
sym.sym>cell2ref	88	11.496	0.1916	3.5231	0.007	-7.1584
sym.sym>sym.privResolveArgs	455	7.821	0.13035	2.9674	0.025	-5.3219
sym.sym>sym.times	5	7.777	0.129616667	2.9592	0.002	-8.9658
sym.sym>sym.mtimes	10	7.719	0.12865	2.9484	0.002	-8.9658
sym.display	5	6.667	0.111116667	2.7370	0.016	-5.9658
sym.display>displayVariable	5	6.492	0.1082	2.6987	0.019	-5.7179
sym.disp	5	6.472	0.107866667	2.6942	0.022	-5.5064

Πίνακας 30. Η απόδοση και ο χρόνος υπολογισμού (benchmarking) του μετασχηματισμού Fourier για τα βολταμετρικά σήματα σε έξι επεξεργαστές.



Εικόνα 88. Γραφική παράσταση του χρόνου υπολογισμού του μετασχηματισμού Fourier με τη χρήση ενός επεξεργαστή και της συστοιχίας υπολογιστών.

ΜΕΡΟΣ IV-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

9. Η ΧΡΗΣΗ ΜΙΑΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μια συστοιχία είναι πρακτικά ένας υπερυπολογιστής, που μπορεί να φτιάξει και να χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε. Πιο συγκεκριμένα η συστοιχία είναι ένας παράλληλος υπολογιστής φτιαγμένος από συνηθισμένα εμπορικά κομμάτια. Αυτή η προσέγγιση εκμεταλλεύεται την εκπληκτική απόδοση, που είναι τώρα διαθέσιμη στους εμπορικούς προσωπικούς υπολογιστές. Με πολλές μετρικές, συμπεριλαμβανομένης της υπολογιστικής ταχύτητας, του μεγέθους της κύριας μνήμης, του διαθέσιμου χώρου στο δίσκο και του εύρους ζώνης, ένας μόνο υπολογιστής του σήμερα είναι πιο ισχυρός από τους υπερυπολογιστές του παρελθόντος. Αξιοποιώντας τη δύναμη των δεκάδων χιλιάδων τέτοιων ισχυρών επεξεργαστικών στοιχείων τόσο χαμηλού κόστους, μπορεί κανείς να δημιουργήσει έναν ισχυρό υπερυπολογιστή. Μάλιστα υπάρχουν πολύ δυνατοί υπερυπολογιστές στην παγκόσμια λίστα των υπερυπολογιστών που είναι ακριβώς όπως η συστοιχία, που κατασκευάσαμε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας (50-54).

Μια συστοιχία είναι μια μορφή παράλληλου υπολογιστή, που δεν είναι τίποτα περισσότερο από έναν υπολογιστή που χρησιμοποιεί περισσότερους από έναν επεξεργαστές. Υπάρχουν διάφορα είδη παράλληλων υπολογιστών, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα από τα είδη επεξεργαστών που χρησιμοποιούν καθώς και από τον τρόπο με τον οποίο οι επεξεργαστές αυτοί ανταλλάσσουν δεδομένα. Μια τέτοια συστοιχία εκμεταλλεύεται δύο συνήθη εμπορικά components: γρήγορες CPUs σχεδιασμένες αρχικά για την αγορά προσωπικών υπολογιστών και δίκτυα σχεδιασμένα να συνδέουν προσωπικούς υπολογιστές (σε αυτό που αποκαλείται Local Area Network (LAN)). Επειδή αυτά είναι εμπορικά εξαρτήματα το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό. Στις συστοιχίες υπάρχουν μερικές συνέπειες στις επιδόσεις του συστήματος και ως εκ τούτου δεν είναι κατάλληλες για όλα τα προβλήματα. Παρόλα αυτά για τα πολλά προβλήματα για τα οποία λειτουργούν καλά, οι συστοιχίες προσφέρουν μια αποδοτική και χαμηλού κόστους λύση με σκοπό την επίδοση τεράστιας υπολογιστικής ισχύος σε εφαρμογές που χρησιμοποιούνται εικονικά παντού.

Αυτό εγείρει το παρακάτω ερώτημα: εάν οι συστοιχίες είναι τόσο σημαντικές γιατί δεν εμφανίστηκαν νωρίτερα; Πολλές πρότερες προσπάθειες χρησιμοποίησαν clusters ή μικρότερα συστήματα, συνήθως workstations, σαν δομικά στοιχεία στην δημιουργία χαμηλού κόστους παράλληλων υπολογιστών. Επιπροσθέτως πολλά software projects

ανέπτυξαν το βασικό λογισμικό για τον προγραμματισμό παράλληλων μηχανημάτων. Μερικά από αυτά διέθεσαν το λογισμικό τους στο ευρύ κοινό και έδωσαν έμφαση στην συμβατότητα του κώδικα, κάνοντας αυτά τα εργαλεία εύκολα συμβατά με νέα μηχανήματα.

Αλλά το project που πραγματικά εκτόξευσε τα clusters ήταν το Beowulf project στο κέντρο Goddard Space Flight της NASA (55). Το 1994 ο Thomas Sterling, ο Donald Becker και άλλοι πήραν ένα πρότερο Linux λειτουργικό σύστημα, ανέπτυξαν λογισμικό Ethernet Driver για Linux και εγκατέστησαν το PVM (ένα λογισμικό πακέτο για προγραμματισμό σε παράλληλους υπολογιστές) σε ένα σύστημα 16 προσωπικών υπολογιστών Intel 80486 στα 100MHz. Το Cluster αυτό χρησιμοποιούσε dual 10-Mbit Ethernet για να παρέχει βελτιωμένο bandwidth στις επικοινωνίες μεταξύ των επεξεργαστών, αλλά ήταν κατά τα άλλα πολύ απλό και πολύ χαμηλού κόστους (55).

Έτσι ερχόμαστε στο ερώτημα του γιατί το Beowulf project πέτυχε. Μέρος της απάντησης είναι το ότι ήταν η σωστή λύση στο σωστό χρόνο. Οι προσωπικοί υπολογιστές ξεκινούσαν να γίνονται ανταγωνίστηκες υπολογιστικές πλατφόρμες (ένας 100MHz 80486 έχει γρηγορότερο ρολόι από τον αυθεντικό Cray 1, ένα μηχάνημα που θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά πρότερα supercomputers). Η έκρηξη του μεγέθους της αγοράς των PCs μείωνε το κόστος του hardware. Ισότιμα σημαντικό παρόλαυτά η δέσμευση στο Beowulf project προς παράδοση μιας λειτουργικής λύσης, όχι μόνο μιας πειραματικής ερευνητικής πλατφόρμας. Το Beowulf project δουλεύοταν σκληρά προς αντιμετώπιση των πραγματικών προβλημάτων που στέκονταν στον δρόμο προς την ευρεία χρήση της τεχνολογίας Cluster για συνηθισμένα εμπορικά εξαρτήματα. Αυτή ήταν μια κρίσιμη συνεισφορά μιας και το να φτιάξει κανείς ένα αξιόπιστο και εύρωστο cluster συνήθως απαιτεί την επίλυση νέων κι ακόμα δυσκολότερων προβλημάτων. Η συνεισφορά της κοινότητας σε αυτήν την προσπάθεια, μέσω της προσφοράς λογισμικού και γενικής βοήθειας σε άλλους οι οποίοι έφτιαχναν Clusters, έκανε το Beowulf clustering συναρπαστικό.

Από την περίοδο των πρώτων Beowulf Clusters, η χρήση commodity-off-theshelf (COTS) εξαρτημάτων (εμπορικών εύκολα αποκτήσιμων εξαρτημάτων) για την κατασκευή Clusters ξεφύτρωσε παντού. Τα Clusters βρίσκονται παντού, από τα σχολεία και τα δωμάτια φοιτητικών εστιών μέχρι τα μεγαλύτερα εργαστήρια υπολογιστών. Μεγάλα Clusters αποτελούν πλέον ένα αυξανόμενο ποσοστό των υπολογιστικών συστημάτων που

βρίσκονται στην λίστα Top500¹⁰⁸. Είναι εφικτό να στήσει κανείς το δικό του cluster αγοράζοντας ξεχωριστά εξαρτήματα, αλλά και αγοράζοντας ένα προσυναρμολογημένο και ελεγμένο cluster από διάφορες εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων τόσο μεγάλων γνωστών εταιρειών υπολογιστών όσο και εταιρειών σχηματισμένων για εξειδικευμένη πώληση clusters.

9.1. Γιατί χρειαζόμαστε ένα Cluster

Πριν μιλήσουμε για cluster υπολογιστική πρέπει να ορίσουμε κάποιους την ορολογία μας. Cluster καλούμε έναν παράλληλο υπολογιστή ο οποίος είναι κατασκευασμένος από συνηθισμένα εμπορικά εξαρτήματα και τρέχει σαν software συστήματος εμπορικό λογισμικό. Ένα cluster είναι φτιαγμένο από nodes (κόμβους), κάθε ένας από τους οποίους εμπεριέχει έναν ή περισσότερους επεξεργαστές, μνήμη η οποία είναι χρησιμοποιείται από κοινού από όλους τους υπολογιστές (και μόνο) του κόμβου και από επιπρόσθετες περιφερειακές συσκευές (όπως δίσκοι). Οι κόμβοι αυτοί είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε ένα δίκτυο που επιτρέπει την ροή δεδομένων μεταξύ τους.

Οι κόμβοι μπορούν να είναι διαφόρων ποικιλιών, αλλά συνήθως αποτελούνται από επεξεργαστές που έχουν σχεδιαστεί για την αγορά προσωπικών υπολογιστών. Αν ένας κόμβος εμπεριέχει περισσότερους από έναν επεξεργαστές αποκαλείται SMP (symmetric multiprocessor – συμμετρικός πολυεπεξεργαστής). Τα δίκτυα επίσης μπορούν να είναι διαφόρων ποικιλιών. Ποικίλουν από πολύ απλά δίκτυα (και σχετικά χαμηλών επιδόσεων) βασισμένα σε επικοινωνία μέσω Ethernet, μέχρι δίκτυα υψηλών επιδόσεων σχεδιασμένα για Clusters.

Τα Clusters μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες: στα «φτιάξε το μόνος σου» και στα προπαρασκευασμένα. Ένα «φτιάξε το μόνος σου» cluster συναρμολογείται από τον χρήστη με την βοήθεια εμπορικών εξαρτημάτων τα οποία αγοράζονται ξεχωριστά. Ένα προπαρασκευασμένο cluster (αποκαλείται μερικές φορές και turnkey system) συναρμολογείται από κάποια εταιρεία κατασκευής clusters είτε πριν είτε μετά την παράδοση του υλικού στον πελάτη. Το τι επιλέγει κανείς εξαρτάται από τον οικονομικό του προϋπολογισμό και την ανάγκη του από βοήθεια όσων αφορά την τεχνογνωσία και την εμπειρία του χρήστη.

¹⁰⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/TOP500>

Ένα σημαντικό ερώτημα είναι το γιατί να χρησιμοποιηθεί cluster αντί για έναν μεμονωμένο υπολογιστή. Στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο λόγοι: επιδόσεις και ανοχή σε σφάλματα. Ο πρωταρχικός λόγος της ανάπτυξης των Beowulf clusters ήταν για την παροχή χαμηλού κόστους υπολογιστικής ισχύος για επιστημονικές εφαρμογές έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες έργων που απαιτούσαν υψηλότερες υπολογιστικές επιδόσεις από εκείνες που προσφέρονταν από εμπορικούς μεμονωμένους επεξεργαστές ή οικονομικά ανεκτούς πολυεπεξεργαστές. Μία εφαρμογή μπορεί να απαιτεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ για πολλούς λόγους, αλλά οι ακόλουθοι τρεις είναι οι πιο κοινοί:

- **Περιορισμοί σε πραγματικό χρόνο**, δηλαδή, απαίτηση ο υπολογισμός να ολοκληρώνεται εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Η πρόγνωση του καιρού είναι ένα παράδειγμα. Ένα άλλο είναι η επεξεργασία δεδομένων που παράγονται από ένα πείραμα. Τα δεδομένα πρέπει να επεξεργάζονται (ή να αποθηκεύονται) τουλάχιστον τόσο γρήγορα όσο παράγονται.
- **Throughput**: Μια επιστημονική ή engineering προσομοίωση μπορεί να απαιτήσει πολλούς υπολογισμούς. Ένα cluster μπορεί να παρέχει τους πόρους για την επεξεργασία πολλών σχετικών μεταξύ τους προσομοιώσεων. Από την άλλη πλευρά, μερικές απλές προσομοιώσεις απαιτούν τόσο πολλή υπολογιστική ισχύ ώστε ένας μόνο επεξεργαστής να απαιτεί ημέρες ή και χρόνια για να ολοκληρώσει τον υπολογισμό. Ένα παράδειγμα χρήσης ενός cluster Linux Beowulf για τη διακίνηση είναι το Google, το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από 15.000 εμπορικούς υπολογιστές με λογισμικό ανεκτικότητας σφαλμάτων για την παροχή υπηρεσίας αναζήτησης ιστού υψηλής απόδοσης.
- **Μνήμη**: Μερικές από τις πιο απαιτητικές εφαρμογές απαιτούν τεράστια ποσά δεδομένων ως μέρος της προσομοίωσης. Ένα cluster παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο για την παροχή ακόμα και terabytes (10^{12} bytes) μνήμης προγράμματος για μια εφαρμογή.

Οι clusters παρέχουν την υπολογιστική ισχύ μέσω της χρήσης παράλληλου προγραμματισμού, μιας τεχνικής που συντονίζει την χρήση πολλών επεξεργαστών για ένα μεμονωμένο πρόβλημα. Αυτό για το οποίο οι clusters δεν είναι καλοί είναι η επιτάχυνση των υπολογισμών που δεν είναι ούτε μνημοβόροι ούτε κοστοβόροι από πλευράς επεξεργασίας ή (με έναν τρόπο που θα γίνει ξεκάθαρος παρακάτω) που απαιτούν συχνή επικοινωνία μεταξύ των επεξεργαστών του cluster.

Ένας άλλος λόγος για τη χρήση clusters είναι για να παρασχεθεί ανοχή σφάλματος, δηλαδή η εξασφάλιση ότι υπολογιστική ισχύς είναι πάντα διαθέσιμη. Επειδή τα clusters συναρμολογούνται από πολλά αντίγραφα των ίδιων ή παρομοίων εξαρτημάτων, η αποτυχία ενός μεμονωμένου μέρους μειώνει μόνο την ισχύ του συμπλέγματος. Έτσι, τα clusters είναι ιδιαίτερα καλές επιλογές για περιβάλλοντα που απαιτούν εγγυήσεις διαθέσιμης επεξεργασίας ισχύος, όπως διακομιστές Web (Web Servers) και συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων.

Παρατηρούμε ότι η ανοχή σφάλματος μπορεί να ερμηνευτεί με διάφορους τρόπους. Για έναν διακομιστή Web ή για την διαχείριση δεδομένων, το cluster μπορεί να χρησιμοποιηθεί όσο υπάρχουν αρκετοί επεξεργαστές και χωρητικότητα δικτύου ώστε να καλύπτονται οι απαιτούμενες ανάγκες. Ένα καλά cluster σύμπλεγμα μπορεί να προσφέρει μια εικονική εγγύηση για διαθεσιμότητα, με εξαίρεση την περίπτωση φυσικής καταστροφής, όπως π.χ. από μια πυρκαγιά που πλήττει ολόκληρο το cluster. Ένα τέτοιο cluster θα έχει σχεδόν 100% uptime. Για τις επιστημονικές εφαρμογές, η ερμηνεία του χρόνου λειτουργίας (uptime) είναι συχνά διαφορετική. Για clusters που χρησιμοποιούνται για επιστημονικές εφαρμογές, ωστόσο, ειδικά για εκείνες που χρησιμοποιούνται για την παροχή επαρκούς μνήμης, το uptime μετράται σχετικά με το μικρότερο δυνατό μέγεθος του cluster (π.χ. αριθμός κόμβων) που επιτρέπει στις εφαρμογές να εκτελούνται. Σε πολλές περιπτώσεις, όλοι ή σχεδόν όλοι οι κόμβοι του cluster πρέπει να είναι διαθέσιμοι για την εκτέλεση αυτών των εφαρμογών. Φυσικά, πολλές χρήσεις των clusters είναι ένας συνδυασμός αυτών των δύο προσεγγίσεων.

9.2. Κατανοώντας τις Απαιτήσεις των Βιοϊατρικών Εφαρμογών

Για να κατανοήσουμε ποιες εφαρμογές είναι κατάλληλες για εκτέλεση σε cluster computing και τι ανταλλάγματα (trade-offs) εμπλέκονται κατά τον σχεδιασμό του cluster, χρειάζεται κανείς να κατανοήσει τις απαιτήσεις των εφαρμογών.

Η πιο προφανής απαίτηση (τουλάχιστον σε επιστημονικές και τεχνικές εφαρμογές) είναι ο αριθμός των πράξεων κινητής υποδιαστολής που απαιτούνται για την εκτέλεση του υπολογισμού. Για απλούς υπολογισμούς, ο υπολογισμός αυτού του αριθμού είναι σχετικά εύκολος. Ακόμη και σε πιο περίπλοκες περιπτώσεις, είναι συνήθως δυνατή μια χονδρική εκτίμηση. Οι περισσότερες κοινότητες έχουν μεγάλη και πλούσια βιβλιογραφία σχετικά με τις απαιτήσεις σε floating-point πράξεις των εφαρμογών και τα αποτελέσματα αυτών των μελετών θα πρέπει πρώτα να συμβουλευτεί κανείς αυτά. Τα περισσότερα βιβλία σχετικά με την αριθμητική ανάλυση μπορούν να παρέχουν τύπους για τον αριθμό των λειτουργιών

floating-point που απαιτούνται για πολλές κοινές λειτουργίες. Για παράδειγμα, η λύση ενός συστήματος n γραμμικών εξισώσεων. Εάν λυθεί με τους πιο συνηθισμένους αλγορίθμους, παίρνει $2n^3 / 3$ πράξεις κινητής υποδιαστολής. Παρόμοιες φόρμουλες υπάρχουν για πολλά κοινά προβλήματα.

Ίσως περιμένει κανείς ότι συγκρίνοντας το πλήθος των floating-point πράξεων με τις επιδόσεις του επεξεργαστή (σε όρους μέγιστων λειτουργιών ανά δευτερόλεπτο) μπορεί να κάνει μια καλή εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί ένας υπολογισμός. Για παράδειγμα, σε έναν επεξεργαστή 2 GHz, ικανό για 2×10^9 πράξεις κινητής υποδιαστολής ανά δευτερόλεπτο (2 GFLOPS), ένας υπολογισμός που απαιτούσε 1 δισεκατομμύριο πράξεις κινητής υποδιαστολής θα χρειαζόταν μόνο μισό δευτερόλεπτο. Ωστόσο, αυτή η εκτίμηση αγνοεί τον μεγάλο ρόλο που παίζει η απόδοση του συστήματος μνήμης στην απόδοση του συνολικού συστήματος. Σε πολλές περιπτώσεις, ο ρυθμός με τον οποίο τα δεδομένα μπορούν να παραδοθούν στον επεξεργαστή είναι ένα καλύτερο μέσο μέτρησης της επιτεύξιμης απόδοσης μιας εφαρμογής.

Έτσι, όταν εξετάζουμε τις υπολογιστικές απαιτήσεις, είναι επιτακτικό να γνωρίζουμε ποια θα είναι η αναμενόμενη επιτεύξιμη απόδοση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση τυποποιημένων benchmarks, όπως το LINPACK και το STREAM, αλλά είναι συχνά καλύτερο να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος της εφαρμογής (ή μίγματος εφαρμογών) σε έναν υποψήφιο επεξεργαστή. Εξάλλου, ένα από τα πλεονεκτήματα του υπολογιστικού συμπλέγματος είναι ότι τα επιμέρους στοιχεία, όπως οι κόμβοι του επεξεργαστή, είναι σχετικά φθηνά.

9.2.1. Μνήμη

Οι ανάγκες μνήμης μιας εφαρμογής επηρεάζουν σημαντικά τόσο την απόδοση της εφαρμογής όσο και το κόστος του cluster. Η μνήμη σε έναν υπολογιστικό κόμβο χωρίζεται σε διάφορους κύριους τύπους. Η κύρια μνήμη διατηρεί ολόκληρο το πρόβλημα και θα πρέπει να επιλέγεται να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να περιέχει όλα τα δεδομένα που χρειάζεται μια εφαρμογή (διανεμημένα φυσικά σε όλους τους κόμβους του cluster). Η μνήμη Cache είναι μικρότερη αλλά γρηγορότερη μνήμη η οποία χρησιμοποιείται προς βελτίωση της απόδοσης των εφαρμογών. Ορισμένες εφαρμογές θα επωφεληθούν περισσότερο από τη μνήμη cache από άλλες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απόδοση της εφαρμογής μπορεί να είναι πολύ ευαίσθητη στο μέγεθος της μνήμης cache. Η εικονική μνήμη είναι μνήμη που φαίνεται να είναι διαθέσιμη στην εφαρμογή, αλλά στην

πραγματικότητα είναι χαρτογραφημένη έτσι ώστε μέρος αυτής να μπορεί να αποθηκευτεί στον δίσκο. Αυτό διευρύνει σημαντικά τη διαθέσιμη μνήμη για μια εφαρμογή που στοχεύει στο χαμηλό χρηματικό κόστος (ο χώρος στο δίσκο είναι φτηνός). Επειδή οι δίσκοι είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές, η πρόσβαση στη μνήμη που είναι αποθηκευμένη στο δίσκο είναι πολύ αργή. Ως εκ τούτου, ορισμένα clusters υψηλής απόδοσης δεν χρησιμοποιούν εικονική μνήμη.

9.2.2. Input/Output

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών πρέπει να τοποθετούνται σε μη πτητικό μέσο αποθήκευσης, όπως ένα αρχείο δίσκου. Ο παράλληλος υπολογισμός καθιστά δυνατή την εκτέλεση υπολογισμών πολύ γρήγορα, οδηγώντας σε αντίστοιχες απαιτήσεις στο σύστημα εισόδου / εξόδου. Άλλες εφαρμογές, όπως οι διακομιστές Web ή τα clusters ανάλυσης δεδομένων, πρέπει να εξυπηρετούν δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί προηγουμένως σε ένα σύστημα αρχείων.

9.2.3. Λοιπές Απαιτήσεις

Ένα cluster μπορεί να χρειαστεί διάφορους πόρους. Για παράδειγμα, ένα cluster που χρησιμοποιείται ως εξαιρετικά διαθέσιμος και επεκτάσιμος διακομιστής Web απαιτεί καλή εξωτερική δικτύωση. Ένα σύμπλεγμα που χρησιμοποιείται για οπτικοποίηση σε οθόνη με tiles απαιτεί κάρτες γραφικών και συνδέσεις με τους projectors. Ένα cluster που χρησιμοποιείται ως κύρια πηγή υπολογισμών απαιτεί πρόσβαση σε ένα σύστημα αποθήκευσης αρχείων για την υποστήριξη αντιγράφων ασφαλείας και αρχειοθέτησης δεδομένων από χρήστες.

9.2.4. Υπολογίζοντας τις Απαιτήσεις μιας Εφαρμογής

Τι σημαίνουν όλα τα παραπάνω για την επιλογή ενός cluster; Ας δούμε έναν υπολογισμό απλής μερικής διαφορικής εξίσωσης (PDE), χαρακτηριστικός πολλών επιστημονικών προσομοιώσεων.

Σκεφτείτε έναν υπολογισμό PDE σε έναν τρισδιάστατο κύβο, διακριτοποιημένο με ένα κανονικό πλέγμα με N σημεία κατά μήκος μιας πλευράς, για ένα σύνολο σημείων N^3 . Θα υποθέσουμε ότι ο αλγόριθμος λύσης χρησιμοποιεί ένα απλό χρονικό διάγραμμα που περιλαμβάνει μόνο έξι πράξεις κινητής υποδιαστολής ανά σημείο πλέγματος. Υποθέτουμε επίσης ότι κάθε σημείο πλέγματος έχει μόνο τέσσερις τιμές (είτε τρεις τιμές συντεταγμένων και ένα άγνωστο είτε τέσσερα άγνωστα). Αυτό το πρόβλημα φαίνεται απλό μέχρι να

βάλουμε τους αριθμούς. Ας υποθέσουμε ότι $N=1024$, που παρέχει επαρκή (αν και όχι εξαιρετική) λύση για πολλά προβλήματα. Για το απλό μας πρόβλημα 3-D, αυτό μας δίνει στη συνέχεια

$$\text{Όγκος Δεδομένων} = 2 \times 4 \times (1024)^3 = 8 \text{ GWords} = 64 \text{ GBytes}$$

$$\text{Πράξεις ανά βήμα} = 6 \times (1024)^3 = 6 \text{ GFlop}$$

Αυτό προϋποθέτει ότι δύο χρονικά βήματα πρέπει να είναι στη μνήμη ταυτόχρονα (προηγούμενο και τρέχον) και ότι κάθε τιμή κυμαινόμενου σημείου είναι 8 byte. Από αυτόν τον απλό υπολογισμό μπορούμε να αντιληφθούμε την ανάγκη του parallel computing:

1. Το συνολικό μέγεθος μνήμης υπερβαίνει το διαθέσιμο στους περισσότερους μεμονωμένους κόμβους. Επιπλέον, δεδομένου ότι μόνο 4 GBytes μνήμης απευθύνονται απευθείας σε επεξεργαστές 32 bit, η επίλυση αυτού του προβλήματος σε έναν μόνο κόμβο απαιτεί είτε επεξεργαστή 64 bit είτε εξειδικευμένες τεχνικές εκτός πυρήνα.
2. Το ποσό της εργασίας φαίνεται εύλογο για έναν επεξεργαστή, πολλοί από τους οποίους πλησιάζουν σε 6 GFlops (Giga – 10^9 πράξεις κινητής υποδιαστολής ανα δευτερόλεπτο). Ωστόσο, όπως θα δούμε παρακάτω, ο πραγματικός ρυθμός υπολογισμού για αυτό το πρόβλημα θα είναι πολύ μικρότερος.

Οι επεξεργαστές διαφημίζονται με το ρυθμό ρολογιού τους, με την προϋπόθεση ότι ο επεξεργαστής μπορεί να εκτελέσει χρήσιμη εργασία με αυτόν τον ρυθμό. Για παράδειγμα, ένας επεξεργαστής 2 GHz υποδηλώνει ότι μπορεί να εκτελέσει 2 δισεκατομμύρια λειτουργίες ανά δευτερόλεπτο. Αυτό που αγνοεί αυτό είναι το αν ο επεξεργαστής έχει πρόσβαση σε δεδομένα αρκετά γρήγορα για να κρατήσει τον επεξεργαστή απασχολημένο. Για παράδειγμα, εξετάστε τον ακόλουθο κώδικα, όπου ο επεξεργαστής πολλαπλασιάζει δύο διανύσματα των αριθμών κυμαινόμενου σημείου μαζί και αποθηκεύοντας το αποτέλεσμα:

```
for (i=0; i<n; i++)  
    c[i] = a[i] * b[i];
```

Αυτό απαιτεί δύο φορτία μιας μεταβλητής double και ένα store (αποθήκευση στη μνήμη) για κάθε στοιχείο. Για να εκτελέσετε 2 δισεκατομμύρια από αυτά ανά δευτερόλεπτο, απαιτείται το σύστημα μνήμης να μετακινεί $3 \times 8 \times 10^9 = 24 \text{ GBytes} / \text{sec}$. Ωστόσο, κανένας κόμβος του Cluster δεν διαθέτει τέτοιου είδους απόδοση συστήματος μνήμης. Οι τυπικοί ρυθμοί συστήματος μνήμης κυμαίνονται από 0.2 έως 1 GBytes / δευτερόλεπτο. Ως αποτέλεσμα, για υπολογιστές που πρέπει να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα από την κύρια μνήμη, η επιτευχθείσα (ή παρατηρούμενη) απόδοση είναι συχνά ένα μικρό κλάσμα της

μέγιστης απόδοσης. Σε αυτό το παράδειγμα, οι πιο συνηθισμένοι κόμβοι θα μπορούσαν να επιτύχουν μόνο το 1-4% της μέγιστης απόδοσης.

Ανάλογα με την εφαρμογή, η απόδοση του συστήματος μνήμης μπορεί να είναι μια καλύτερη ένδειξη της πιθανής επιτεύξιμης απόδοσης. Ένα καλό μέτρο της απόδοσης του εύρους ζώνης μνήμης ενός κόμβου είναι το benchmark STREAM. Με αυτόν τον τρόπο μετράται η επιτευχθείσα απόδοση του συστήματος μνήμης, χρησιμοποιώντας ένα απλό πρόγραμμα και επομένως είναι πιο πιθανό να μετρήσει την απόδοση που είναι διαθέσιμη στο χρήστη από οποιονδήποτε αριθμό που βασίζεται στο βασικό υλικό.

Για το παράδειγμά μας του υπολογισμού PDE, η επιτυγχανόμενη απόδοση θα κυριαρχείται από το εύρος ζώνης μνήμης (memory bandwidth) και όχι από την hardware απόδοση της CPU. Επομένως, όταν επιλέγετε κόμβους, ειδικά για ένα συγκρότημα χαμηλού κόστους, η τιμή ανά MByte/sec μπορεί να είναι ένας καλύτερος οδηγός απόφασης αγοράς, αντί της τιμής ανά MFlop / sec.

Μπορούμε να παραλληλίσουμε αυτή την εφαρμογή σπάζοντας το πλέγμα σε μικρότερα κομμάτια, με κάθε κόμβο να επεξεργάζεται ένα κομμάτι όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αποσύνθεση τομέα (domain decomposition). Ωστόσο, τα κομμάτια δεν είναι ανεξάρτητα. Για να υπολογιστούν οι τιμές για το επόμενο βήμα, χρειάζονται τιμές από τα γειτονικά κομμάτια. Ως αποτέλεσμα, πρέπει τώρα να εξετάσουμε το κόστος για την επικοινωνία των δεδομένων μεταξύ των κόμβων καθώς και το υπολογιστικό κόστος.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία επιδιώξαμε τη δημιουργία μιας συστοιχίας υπολογιστών από απλούς υπολογιστές, οι οποίοι μπορούν να βρεθούν με χαμηλό ή και μηδενικό κόστος και έτσι να δημιουργηθεί ένα υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο θα μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων στη βιοϊατρική τεχνολογία. Η προσπάθειά μας έδειξε ότι κάτι τέτοιο είναι εφικτό και μάλιστα στις δοκιμές που κάναμε δείξαμε ότι η χρήση μιας συστοιχίας μπορεί να μειώσει τον υπολογιστικό χρόνο, αφού η συστοιχία πραγματοποίησε τους υπολογισμούς 54 φορές ταχύτερα σε σχέση με έναν επεξεργαστή. Η απόδοση αυτή ήταν εξαιρετικά σημαντική αφού πολλά από τα προβλήματα της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι εξαιρετικά απαιτητικά σε υπολογιστική ισχύ και άρα κοστοβόρα αν πρέπει κανείς να χρησιμοποιήσει εμπορικά διαθέσιμα clusters για την επίλυσή τους.

Η λύση που εμείς προτείναμε αποτελεί έναν φθηνό και αποτελεσματικό τρόπο για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων και μάλιστα που μπορεί να είναι διαθέσιμος σε έναν ακαδημαϊκό χώρο, διαθέσιμο προς όλους που έχουν αντίστοιχα προβλήματα. Το πρόβλημα, που επιλέξαμε να επιλύσουμε αφορούσε στο μετασχηματισμό Fourier σημάτων βολταμετρίας. Οι υπολογιστικές απαιτήσεις του προβλήματος αυτού ήταν εξαιρετικά απαιτητικές αφού ένας επεξεργαστής για να καταφέρει να μετασχηματίσει πέντε σήματα χρειάστηκαν περίπου τέσσερις ώρες. Αντίστοιχα, με τη χρήση της συστοιχίας χρειάστηκαν 4.2 min για την ολοκλήρωση των αποτελεσμάτων.

Ως εκ τούτου, φάνηκε ότι τέτοιες προσπάθειες είναι εξαιρετικά σημαντικές για την υποβοήθηση του ερευνητικού έργου και ειδικότερα σε εποχές, όπου οι πόροι είναι εξαιρετικά περιορισμένοι και ο ανταγωνισμός εξαιρετικά υψηλός.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ulam S, von Neumann J. Random ergodic theorems. Bull Amer Math Soc. 1945;51:660.
2. Von Neumann J, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior. Bull Amer Math Soc. 1945;51(7):498-504.
3. Aspray W. John von Neumann and the origins of modern computing: Mit Press Cambridge, MA; 1990.
4. Aiken H, Oettinger AG, Bartee TC. Proposed automatic calculating machine. IEEE Spectrum. 1964;1(8):62-9.
5. Backus J. The history of Fortran I, II, and III. ACM Sigplan Notices. 1978;13(8):165-80.
6. Harandi MT, Howkins TJ. Towards more portable COBOL. The Computer Journal. 1979;22(4):290-5.
7. Kaplan A, Haenlein M. Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. Business Horizons. 2019;62(1):15-25.
8. Fitch FB, Warren S, McCulloch and Walter Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of mathematical biophysics, vol. 5 (1943), pp. 115–133. The Journal of Symbolic Logic. 1944;9(2):49-50.
9. Huang T. Computer vision: Evolution and promise. 1996.
10. Thain D, Tannenbaum T, Livny M. Distributed computing in practice: the Condor experience. Concurrency and computation: practice and experience. 2005;17(2-4):323-56.
11. Becker DJ, Sterling T, Savarese D, Dorband JE, Ranawak UA, Packer CV, editors. BEOWULF: A parallel workstation for scientific computation. Proceedings, International Conference on Parallel Processing; 1995.
12. Ridge D, Becker D, Merkey P, Sterling T, editors. Beowulf: harnessing the power of parallelism in a pile-of-PCs. 1997 IEEE Aerospace Conference; 1997: IEEE.
13. Tobin JE. Eighteenth century English literature and its cultural background: a bibliography: Biblo & Tannen Publishers; 1967.
14. Brown RG. Engineering a Beowulf-style Computer Cluster. Durham: Duke University Physics Department; 2003.
15. Θεοδωρίδης I, Theodoridis I. Ανάλυση και μαθηματική προτυποποίηση σήματος ηλεκτροχημικών μετρήσεων νευροδιαβιβαστών και των μεταβολιτών τους με τη χρήση διαφορικής βολταμμετρίας [Senior Thesis]. Athens: National Technical University of Athens; 2019.
16. Heyrovskya J. The processes at the mercury dropping cathode. Part II. The hydrogen overpotential. Trans Faraday Soc. 1924;19(March):785-8.
17. Stamford JA. In vivo voltammetry: promise and perspective. Brain research. 1985;357(2):119-35.
18. Finlay J, Zigmond M. A critical analysis of neurochemical methods for monitoring transmitter dynamics in the brain. Psychopharmacology: the Fourth Generation of Progress New York: Raven Press Ltd. 1995:29-40.

19. Kawagoe KT, Zimmerman JB, Wightman RM. Principles of voltammetry and microelectrode surface states. *Journal of neuroscience methods*. 1993;48(3):225-40.
20. Nussbaum MA, Przedwiecki JE, Staerk DU, Lunte SM, Riley CM. Electrochemical characteristics of amino acids and peptides derivatized with naphthalene-2,3-dicarboxaldehyde: pH effects and differences in oxidation potentials. *Analytical chemistry*. 1992;64(11):1259-63.
21. Hochstetler SE, Wightman RM. Detection of secretion with Electrochemical Methods. *On-Line Biophysics Textbook*. 1998.
22. Ozel RE, Wallace KN, Andreescu S. Chitosan coated carbon fiber microelectrode for selective in vivo detection of neurotransmitters in live zebrafish embryos. *Analytica chimica acta*. 2011;695(1-2):89-95.
23. Cespuglio R, Faradji H, Ponchon JL, Buda M, Riou F, Gonon F, et al. Differential pulse voltammetry in brain tissue. I. Detection of 5-hydroxyindoles in the rat striatum. *Brain research*. 1981;223(2):287-98.
24. Robinson DL, Venton BJ, Heien ML, Wightman RM. Detecting subsecond dopamine release with fast-scan cyclic voltammetry in vivo. *Clinical chemistry*. 2003;49(10):1763-73.
25. Crespi F. Influence of Neuropeptide Y and antidepressants upon cerebral monoamines involved in depression: an in vivo electrochemical study. *Brain research*. 2011;1407:27-37.
26. Samaranayake S, Abdalla A, Robke R, Wood KM, Zeqja A, Hashemi P. In vivo histamine voltammetry in the mouse preammyllary nucleus. *The Analyst*. 2015;140(11):3759-65.
27. Dankoski EC, Agster KL, Fox ME, Moy SS, Wightman RM. Facilitation of serotonin signaling by SSRIs is attenuated by social isolation. *Neuropsychopharmacology : official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*. 2014;39(13):2928-37.
28. Morales-Medina JC, Dumont Y, Benoit CE, Bastianetto S, Flores G, Fournier A, et al. Role of neuropeptide Y Y(1) and Y(2) receptors on behavioral despair in a rat model of depression with co-morbid anxiety. *Neuropharmacology*. 2012;62(1):200-8.
29. Scholz F. *Electroanalytical methods*: Springer; 2010.
30. Suaud-Chagny MF, Mermet C, Gonon F. Electrically evoked noradrenaline release in the rat hypothalamic paraventricular nucleus studied by in vivo electrochemistry: characterization and facilitation by increasing the stimulation frequency. *Neuroscience*. 1990;34(2):411-22.
31. Gonon F, Buda M, Cespuglio R, Jouviet M, Pujol JF. In vivo electrochemical detection of catechols in the neostriatum of anaesthetized rats: dopamine or DOPAC? *Nature*. 1980;286(5776):902-4.
32. Clement HW, Schafer F, Ruwe C, Gerns D, Wesemann W. Stress-induced changes of extracellular 5-hydroxyindoleacetic acid concentrations followed in the nucleus raphe dorsalis and the frontal cortex of the rat. *Brain research*. 1993;614(1-2):117-24.
33. Pihel K, Hsieh S, Jorgenson JW, Wightman RM. Electrochemical detection of histamine and 5-hydroxytryptamine at isolated mast cells. *Analytical chemistry*. 1995;67(24):4514-21.
34. Kennedy RT, Huang L, Atkinson MA, Dush P. Amperometric monitoring of chemical secretions from individual pancreatic beta-cells. *Analytical chemistry*. 1993;65(14):1882-7.
35. Theodoridis I, Lambrou GI. Voltammetry and monoamines determination: an old acquaintance revisited. *Frontiers in bioscience (Landmark edition)*. 2019;24:231-44.

36. Budai D, Hernádi I, Mészáros B, Bali ZK, Gulya K. Electrochemical responses of carbon fiber microelectrodes to dopamine in vitro and in vivo. *Acta Biologica Szegediensis*. 2010;54(2):155-60.
37. Adams KL, Puchades M, Ewing AG. In Vitro Electrochemistry of Biological Systems. Annual review of analytical chemistry (Palo Alto, Calif). 2008;1:329.
38. Hashemi P, Dankoski EC, Petrovic J, Keithley RB, Wightman RM. Voltammetric detection of 5-hydroxytryptamine release in the rat brain. *Analytical chemistry*. 2009;81(22):9462-71.
39. Bath BD, Michael DJ, Trafton BJ, Joseph JD, Runnels PL, Wightman RM. Subsecond adsorption and desorption of dopamine at carbon-fiber microelectrodes. *Analytical chemistry*. 2000;72(24):5994-6002.
40. Broderick PA. State-of-the-art microelectrodes for in vivo voltammetry. *Electroanalysis*. 1990;2(3):241-51.
41. Leszczyszyn DJ, Jankowski JA, Viveros OH, Diliberto EJ, Jr., Near JA, Wightman RM. Secretion of catecholamines from individual adrenal medullary chromaffin cells. *Journal of neurochemistry*. 1991;56(6):1855-63.
42. Gonzalez-Mora JL, Guadalupe T, Fumero B, Mas M. Mathematical resolution of mixed in vivo voltammetry signals. Models, equipment, assessment by simultaneous microdialysis sampling. *Journal of neuroscience methods*. 1991;39(3):231-44.
43. Clement HW, Buschmann J, Rex S, Grote C, Opper C, Gemsa D, et al. Effects of interferon-gamma, interleukin-1 beta, and tumor necrosis factor-alpha on the serotonin metabolism in the nucleus raphe dorsalis of the rat. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*. 1997;104(10):981-91.
44. Millar J, Williams GV. Fast Differential Ramp Voltammetry - a New Voltammetric Technique Designed Specifically for Use in Neuronal Tissue. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 1990;282(1-2):33-49.
45. Marcenac F, Gonon F. Fast in vivo monitoring of dopamine release in the rat brain with differential pulse amperometry. *Analytical chemistry*. 1985;57(8):1778-9.
46. May LJ, Wightman RM. Heterogeneity of stimulated dopamine overflow within rat striatum as observed with in vivo voltammetry. *Brain research*. 1989;487(2):311-20.
47. Grote C, Clement HW, Wesemann W. In: Lehnert H, Murison R, Weiner H, Hellhammer D, Beyer J, editors. *Endocrine and Nutritional Control of Basic Biological Functions*. Toronto: Hogrefe and Huber; 1993. p. 71-5.
48. Wesemann W, Blaschke S, Solbach M, Grote C, Clement HW, Riederer P. Intranigral injected iron progressively reduces striatal dopamine metabolism. *Journal of neural transmission*. 1994;8(3):209-14.
49. Wesemann W, Grote C, Clement HW, Block F, Sontag KH. Functional studies on monoaminergic transmitter release in parkinsonism. *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*. 1993;17(3):487-99.
50. Schut TCB, De Grooth BG, Greve J. Cluster analysis of flow cytometric list mode data on a personal computer. *Cytometry: The Journal of the International Society for Analytical Cytology*. 1993;14(6):649-59.
51. Buyya R. High performance cluster computing: Architectures and systems (volume 1). Prentice Hall, Upper SaddleRiver, NJ, USA. 1999;1:999.

52. Peterka T, Ross R, Gyulassy A, Pascucci V, Kendall W, Shen H-W, et al., editors. Scalable parallel building blocks for custom data analysis. 2011 IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization; 2011: IEEE.
53. Augerat P, Martin C, Stein B, editors. Scalable monitoring and configuration tools for grids and clusters. Proceedings 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing; 2002: IEEE.
54. Schmeisser M, Heisen BC, Luettich M, Busche B, Hauer F, Koske T, et al. Parallel, distributed and GPU computing technologies in single-particle electron microscopy. Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography. 2009;65(7):659-71.
55. Sterling TL. Beowulf cluster computing with Linux: MIT press; 2002.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - ΠΛΗΡΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Η/Υ (H/W SPECIFICATIONS)

Heron I-01

Computer	HERON-I-01
Generator	Heron_I_01
Operating System	Microsoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)
Date	2017-01-17
Time	16:38

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type	Standard PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
Internet Explorer	8.0.6001.18702 (IE 8.0)
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name	HERON-I-01
User Name	Heron_I_01
Logon Domain	HERON-I-01
Date / Time	2017-01-17 / 16:39

Motherboard:

CPU Type	Intel Pentium III, 500 MHz (5 x 100)
Motherboard Name	ECS P6BXT-A+ (2 ISA, 4 PCI, 1 AGP, 3 DIMM)
Motherboard Chipset	Intel 82440BX
System Memory	640 MB (SDRAM)
DIMM1: Hynix 71V32635HCT8-H	256 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz)
(2.0-2-2-5 @ 100 MHz)	
DIMM2: MSC F3264	256 MB PC100 SDRAM (3.0-2-2-5 @ 100 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3:	128 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz)
BIOS Type	Award Modular (06/16/99)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)

Display:

Video Adapter	NVIDIA RIVA TNT2/TNT2 Pro (Microsoft Corporation) (32 MB)
3D Accelerator	nVIDIA RIVA TNT2
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)

Multimedia:

Audio Adapter	C-Media CMI8738/C3DX Audio Device
---------------	-----------------------------------

Storage:

IDE Controller	Intel(R) 82371AB/EB PCI Bus Master IDE Controller
----------------	---

Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	WDC WD800JB-00JJC0 (74 GB, IDE)
Optical Drive	ASUS CRW-4816A (48x/16x/48x CD-RW)
Optical Drive	ASUS DVD-E616P (16x/48x DVD-ROM)
SMART Hard Disks Status	OK

Partitions:

C: (NTFS)	38154 MB (26854 MB free)
Total Size	37.3 GB (26.2 GB free)

Input:

Keyboard	PC/AT Enhanced PS/2 Keyboard (101/102-Key)
Mouse	Microsoft PS/2 Mouse

Network:

Primary IP Address	88.197.48.108
Primary MAC Address	00-04-76-1B-FB-42
Network Adapter	3Com EtherLink XL 10/100 PCI For Complete PC Management
NIC (3C905C-TX) (88.197.48.108)	

Peripherals:

Printer	Microsoft XPS Document Writer
USB1 Controller	Intel 82371AB/EB PIIX4 - USB Host Controller

DMI:

DMI BIOS Vendor	Award Software International, Inc.
DMI BIOS Version	4.51 PG
DMI System Manufacturer	System Integrator
DMI System Product	Intel 440BX
DMI System Version	01
DMI System Serial Number	886288661088
DMI Motherboard Manufacturer	EliteGroup Computer System Co. Ltd.
DMI Motherboard Product	i440BX-W977TF
DMI Motherboard Version	1.3x
DMI Motherboard Serial Number	
DMI Chassis Manufacturer	
DMI Chassis Version	
DMI Chassis Serial Number	
DMI Chassis Asset Tag	
DMI Chassis Type	
DMI Total / Free Memory Sockets	4 / 1

-----[Computer Name]-----

Computer Comment	Logical
NetBIOS Name	Logical HERON-I-01
DNS Host Name	Logical heron-i-01
DNS Domain Name	Logical
Fully Qualified DNS Name	Logical heron-i-01
NetBIOS Name	Physical HERON-I-01
DNS Host Name	Physical heron-i-01

DNS Domain Name Physical
Fully Qualified DNS Name Physical heron-i-01

-----[DMI]-----

[BIOS]

BIOS Properties:

Vendor	Award Software International, Inc.
Version	4.51 PG
Release Date	06/16/99
Size	256 KB
Boot Devices	Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
Capabilities	Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD
Supported Standards	DMI, APM, ACPI, ESCD, PnP
Expansion Capabilities	ISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:

Manufacturer	System Integrator
Product	Intel 440BX
Version	01
Serial Number	886288661088

[Motherboard]

Motherboard Properties:

Manufacturer	EliteGroup Computer System Co. Ltd.
Product	i440BX-W977TF
Version	1.3x

[Chassis]

Chassis Properties:

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:

Error Detection Method	8-bit Parity
Error Correction	None
Supported Memory Interleave	1-Way
Current Memory Interleave	1-Way
Supported Memory Speeds	70ns, 60ns
Supported Memory Types	EDO, SDRAM
Supported Memory Voltages	3.3V
Maximum Memory Module Size	32 MB
Memory Slots	4

[Processors / Pentium III]

Processor Properties:

Manufacturer	Intel
Version	Pentium III
External Clock	100 MHz
Maximum Clock	800 MHz
Current Clock	500 MHz

Type	Central Processor
Voltage	3.3 V
Status	Enabled
Upgrade	Slot 1
Socket Designation	SLOT 1

[Caches / Internal Cache]

Cache Properties:	
Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Write-Back
Maximum Size	32 KB
Installed Size	32 KB
Supported SRAM Type	Synchronous
Current SRAM Type	Synchronous
Socket Designation	Internal Cache

[Caches / External Cache]

Cache Properties:	
Type	External
Status	Enabled
Operational Mode	Write-Back
Maximum Size	512 KB
Installed Size	512 KB
Supported SRAM Type	Synchronous
Current SRAM Type	Synchronous
Socket Designation	External Cache

[Memory Modules / DIMM1]

Memory Module Properties:	
Socket Designation	DIMM1
Type	DIMM, SDRAM
Speed	60 ns
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Modules / DIMM2]

Memory Module Properties:	
Socket Designation	DIMM2
Type	DIMM, SDRAM
Speed	60 ns
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Modules / DIMM3]

Memory Module Properties:	
Socket Designation	DIMM3
Type	DIMM, SDRAM
Speed	60 ns
Installed Size	128 MB

Enabled Size 128 MB

[Memory Modules / DIMM4]

Memory Module Properties:

Socket Designation DIMM4
Type DIMM, SDRAM
Speed 60 ns
Installed Size Not Installed
Enabled Size Not Installed

[System Slots / ISA]

System Slot Properties:

Slot Designation ISA
Type ISA
Data Bus Width 16-bit
Length Long

[System Slots / ISA]

System Slot Properties:

Slot Designation ISA
Type ISA
Data Bus Width 16-bit
Length Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:

Slot Designation PCI
Type PCI
Usage Empty
Data Bus Width 32-bit
Length Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:

Slot Designation PCI
Type PCI
Usage Empty
Data Bus Width 32-bit
Length Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:

Slot Designation PCI
Type PCI
Usage In Use
Data Bus Width 32-bit
Length Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[System Slots / AGP]

System Slot Properties:

Slot Designation	AGP
Type	AGP
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[Port Connectors / PRIMARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	PRIMARY IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None

[Port Connectors / SECONDARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	SECONDARY IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None

[Port Connectors / FDD]

Port Connector Properties:

Port Type	8251 FIFO Compatible
Internal Reference Designator	FDD
Internal Connector Type	On-Board Floppy
External Connector Type	None

[Port Connectors / COM1]

Port Connector Properties:

Port Type	Serial Port 16450 Compatible
Internal Reference Designator	COM1
Internal Connector Type	9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)
External Connector Type	DB-9 pin male

[Port Connectors / COM2]

Port Connector Properties:

Port Type	Serial Port 16450 Compatible
Internal Reference Designator	COM2
Internal Connector Type	9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)
External Connector Type	DB-9 pin male

[Port Connectors / LPT1]

Port Connector Properties:

Port Type	Parallel Port ECP/EPP
-----------	-----------------------

Internal Reference Designator	LPT1
Internal Connector Type	DB-25 pin female
External Connector Type	DB-25 pin female

[Port Connectors / Keyboard]

Port Connector Properties:

Port Type	Keyboard Port
Internal Reference Designator	Keyboard
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / Detected]

Port Connector Properties:

Port Type	Mouse Port
Internal Reference Designator	PS/2 Mouse
Internal Connector Type	PS/2
External Reference Designator	Detected
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / USB]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Reference Designator	USB
Internal Connector Type	None

-----[Overclock]-----

CPU Properties:

CPU Type	Intel Pentium III
CPU Alias	Katmai
CPU Stepping	kC0
CPUID Revision	00000673h

CPU Speed:

CPU Clock	501.1 MHz (original: 500 MHz)
CPU Multiplier	5x
CPU FSB	100.2 MHz (original: 100 MHz)
Memory Bus	100.2 MHz
DRAM:FSB Ratio	1:1

CPU Cache:

L1 Code Cache	16 KB
L1 Data Cache	16 KB
L2 Cache	512 KB (Built-In, Half-Speed)

Motherboard Properties:

Motherboard ID	06/16/1999-i440BX-W977TF-P6BXT-APC-00
Motherboard Name	ECS P6BXT-A+ (2 ISA, 4 PCI, 1 AGP, 3 DIMM)

Chipset Properties:

Motherboard Chipset	Intel 82440BX
Memory Timings	3-3-3-? (CL-RCD-RP-RAS)

DIMM1: Hynix 71V32635HCT8-H 256 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz)
(2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM2: MSC F3264 256 MB PC100 SDRAM (3.0-2-2-5 @ 100 MHz) (2.0-
2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3: 128 MB PC133 SDRAM (3.0-3-3-6 @ 133 MHz)

BIOS Properties:

System BIOS Date 06/16/99
Video BIOS Date 04/08/99
Award BIOS Type Award Modular BIOS v4.51PG
Award BIOS Message P6BXT-AP Ver 5.0 06/16/1999
DMI BIOS Version 4.51 PG

Graphics Processor Properties:

Video Adapter Diamond Viper V770
GPU Code Name NV5 (AGP 2x 10DE / 0028, Rev 15)
GPU Clock 125 MHz
Memory Clock 150 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source AC Line
Battery Status No Battery
Full Battery Lifetime Unknown
Remaining Battery Lifetime Unknown

Heron II-01

Computer HERON-II-01
 Generator HERON_II_01
 Operating System Microsoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)
 Date 2016-11-22
 Time 16:13

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type Advanced Configuration and Power Interface (ACPI) PC
 Operating System Microsoft Windows XP Professional
 OS Service Pack Service Pack 3
 Internet Explorer 8.0.6001.18702 (IE 8.0)
 DirectX 4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
 Computer Name HERON-II-01
 User Name HERON_II_01
 Logon Domain HERON-II-01
 Date / Time 2016-11-22 / 16:13

Motherboard:

CPU Type Intel Pentium 4, 2800 MHz (21 x 133)
 Motherboard Name Jetway P4MDPT (3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)
 Motherboard Chipset VIA VT8751A Apollo P4M266A
 System Memory 1024 MB (PC3200 DDR SDRAM)
 DIMM1: Kingston K 512 MB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz)
 (2.5-3-3-7 @ 166 MHz) (2.0-2-2-6 @ 133 MHz)
 DIMM2: Transcend 512 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz)
 (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
 BIOS Type Award (11/20/03)
 Communication Port Ęýňá áðéêíúíéþí (COM1)
 Communication Port Ęýňá áðéêíúíéþí (COM2)
 Communication Port Ęýňá áêôððùðþ (LPT1)

Display:

Video Adapter Matrox G550 (Matrox Millennium G550)
 3D Accelerator Matrox G550

Multimedia:

Audio Adapter Realtek ALC655 @ VIA AC'97 Enhanced Audio Controller

Storage:

IDE Controller Ôððééüò áëããêðþò IDE áéðëý éáíáééý PCI
 Floppy Drive ÌíÛää áéóÉÝóáò
 Disk Drive WDC WD400BB-00JHA0 (37 GB, IDE)
 Optical Drive LITEON CD-ROM LTN526 (52x CD-ROM)
 Optical Drive LITE-ON CD-RW SOHR-5238S (52x/32x/52x CD-RW)
 SMART Hard Disks Status OK

Input:
Keyboard Standard 101/102-Key or Microsoft Natural PS/2 Keyboard
Mouse Διíôßêé óðìááôü ìà PS/2

Network:
Primary IP Address 88.197.48.106
Primary MAC Address 00-30-18-DA-B2-BF
Network Adapter VIA Rhine II Fast Ethernet Adapter (88.197.48.106)

Peripherals:
Printer Microsoft XPS Document Writer
USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB2 Controller VIA VT8235 USB 2.0 Enhanced Host Controller

DMI:
DMI BIOS Vendor Phoenix Technologies, LTD
DMI BIOS Version 6.00 PG
DMI System Manufacturer VIA Technologies, Inc.
DMI System Product P4M266-8235
DMI System Version
DMI System Serial Number
DMI Motherboard Manufacturer
DMI Motherboard Product P4M266-8235
DMI Motherboard Version
DMI Motherboard Serial Number
DMI Chassis Manufacturer
DMI Chassis Version
DMI Chassis Serial Number
DMI Chassis Asset Tag
DMI Chassis Type Desktop Case
DMI Total / Free Memory Sockets 3 / 1

-----[Computer Name]-----
Computer Comment Logical
NetBIOS Name Logical HERON-II-01
DNS Host Name Logical heron-ii-01
DNS Domain Name Logical
Fully Qualified DNS Name Logical heron-ii-01
NetBIOS Name Physical HERON-II-01
DNS Host Name Physical heron-ii-01
DNS Domain Name Physical
Fully Qualified DNS Name Physical heron-ii-01

-----[DMI]-----
[BIOS]
BIOS Properties:
VendorPhoenix Technologies, LTD
Version 6.00 PG

Release Date 11/20/2003
Size 256 KB
Boot Devices Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
Capabilities Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD
Supported Standards DMI, APM, ACPI, PnP
Expansion CapabilitiesISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:
ManufacturerVIA Technologies, Inc.
Product P4M266-8235
Wake-Up TypePower Switch

[Motherboard]

Motherboard Properties:
Product P4M266-8235

[Chassis]

Chassis Properties:
Chassis TypeDesktop Case

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:
Error Detection MethodNone
Error CorrectionNone
Supported Memory Interleave 1-Way
Current Memory Interleave 4-Way
Supported Memory Speeds 70ns, 60ns
Supported Memory TypesSPM, EDO
Supported Memory Voltages 5V
Maximum Memory Module Size32 MB
Memory Slots3

[Processors / Intel Pentium(R) 4]

Processor Properties:
ManufacturerIntel
Version Intel Pentium(R) 4
External Clock133 MHz
Current Clock 2800 MHz
TypeCentral Processor
Voltage 1.4 V
StatusEnabled
Upgrade ZIF
Socket DesignationSocket 478

[Processors / Intel Pentium(R) 4]

Processor Properties:
ManufacturerUnknown
Version Intel Pentium(R) 4
External Clock133 MHz

Current Clock 2800 MHz
TypeCentral Processor
Voltage 1.4 V
StatusDisabled by user
Upgrade ZIF
Socket DesignationSocket 478

[Caches / Internal Cache]
Cache Properties:
TypeInternal
StatusEnabled
Operational ModeWrite-Back
Maximum Size20 KB
Installed Size20 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket DesignationInternal Cache

[Caches / Internal Cache]
Cache Properties:
TypeInternal
StatusEnabled
Operational ModeWrite-Back
Maximum Size20 KB
Installed Size20 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket DesignationInternal Cache

[Caches / External Cache]
Cache Properties:
TypeExternal
StatusEnabled
Operational ModeWrite-Back
Maximum Size512 KB
Installed Size512 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket DesignationExternal Cache

[Caches / External Cache]
Cache Properties:
TypeExternal
StatusEnabled
Operational ModeWrite-Back
Maximum Size512 KB
Installed Size512 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket DesignationExternal Cache

[Memory Modules / A0]
Memory Module Properties:
Socket DesignationA0
Speed 60 ns
Installed Size512 MB
Enabled Size512 MB

[Memory Modules / A1]
Memory Module Properties:
Socket DesignationA1
Speed 60 ns
Installed Size512 MB
Enabled Size512 MB

[Memory Modules / A2]
Memory Module Properties:
Socket DesignationA2
Speed 60 ns
Installed SizeNot Installed
Enabled SizeNot Installed

[Memory Devices / A0]
Memory Device Properties:
Form Factor DIMM
Size512 MB
Device LocatorA0
Bank LocatorBank0/1
ManufacturerNone
Serial Number None
Asset Tag None
Part Number None

[Memory Devices / A1]
Memory Device Properties:
Form Factor DIMM
Size512 MB
Device LocatorA1
Bank LocatorBank2/3
ManufacturerNone
Serial Number None
Asset Tag None
Part Number None

[Memory Devices / A2]
Memory Device Properties:
Form Factor DIMM
Device LocatorA2
Bank LocatorBank4/5
ManufacturerNone

Serial Number None
Asset Tag None
Part Number None

[System Slots / PCI0]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI0
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI1]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI1
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI2]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI2
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI3]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI3
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / AGP]

System Slot Properties:
Slot DesignationAGP
TypeAGP
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[Port Connectors / PRIMARY IDE]
Port Connector Properties:
Internal Reference Designator PRIMARY IDE
Internal Connector Type On-Board IDE
External Connector Type None

[Port Connectors / SECONDARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator SECONDARY IDE

Internal Connector Type On-Board IDE

External Connector Type None

[Port Connectors / FDD]

Port Connector Properties:

Port Type 8251 FIFO Compatible

Internal Reference Designator FDD

Internal Connector Type On-Board Floppy

External Connector Type None

[Port Connectors / COM1]

Port Connector Properties:

Port Type Serial Port 16450 Compatible

Internal Reference Designator COM1

Internal Connector Type 9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)

External Connector Type DB-9 pin male

[Port Connectors / COM2]

Port Connector Properties:

Port Type Serial Port 16450 Compatible

Internal Reference Designator COM2

Internal Connector Type 9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)

External Connector Type DB-9 pin male

[Port Connectors / LPT1]

Port Connector Properties:

Port Type Parallel Port ECP/EPP

Internal Reference Designator LPT1

Internal Connector Type DB-25 pin female

External Connector Type DB-25 pin female

[Port Connectors / Keyboard]

Port Connector Properties:

Port Type Keyboard Port

Internal Reference Designator Keyboard

Internal Connector Type PS/2

External Connector Type PS/2

[Port Connectors / PS/2 Mouse]

Port Connector Properties:

Port Type Mouse Port

Internal Reference Designator PS/2 Mouse

Internal Connector Type PS/2

External Connector Type PS/2

[Port Connectors / USB0]

Port Connector Properties:

Port Type USB
Internal Connector Type None
External Reference Designator USB0

[Port Connectors / AUDIO]
Port Connector Properties:
Port Type Audio Port
Internal Connector Type None
External Reference Designator AUDIO
External Connector Type None

-----[Overclock]-----

CPU Properties:
CPU TypeIntel Pentium 4
CPU Alias Northwood
CPU SteppingD1
Engineering SampleNo
CPUID CPU NameIntel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz
CPUID Revision00000F29h

CPU Speed:
CPU Clock 2813.9 MHz(original: 2800 MHz)
CPU Multiplier21x
CPU FSB 134.0 MHz(original: 133 MHz)
Memory Bus134.0 MHz
DRAM:FSB Ratio1:1

CPU Cache:
L1 Trace Cache12K Instructions
L1 Data Cache 8 KB
L2 Cache512 KB(On-Die, ECC, ATC, Full-Speed)

Motherboard Properties:
Motherboard ID11/20/2003-P4M266-8235-6A6LWJ19C-00
Motherboard NameJetway P4MDPT(3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)

Chipset Properties:
Motherboard Chipset VIA VT8751A Apollo P4M266A
Memory Timings2.5-3-3-6(CL-RCD-RP-RAS)
Command Rate (CR) 2T
DIMM1: Kingston K 512 MB PC3200 DDR SDRAM(3.0-3-3-8 @ 200 MHz)(2.5-3-3-7 @ 166 MHz)(2.0-2-2-6 @ 133 MHz)
DIMM2: Transcend512 MB PC3200 DDR SDRAM(2.5-3-3-8 @ 200 MHz)(2.0-3-3-7 @ 166 MHz)

BIOS Properties:
System BIOS Date11/20/03
Video BIOS Date 12/12/01
Award BIOS Type Phoenix-Award BIOS v6.00PG
Award BIOS MessageV.P4MDPT A07 11-20-2003
DMI BIOS Version6.00 PG

Graphics Processor Properties:

Video Adapter Matrox Millennium G550

GPU Code Name MGA-G550(AGP 4x 102B / 2527, Rev 01)

GPU Clock 133 MHz

Warp Clock 133 MHz

Memory Clock 166 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source AC Line

Battery Status No Battery

Full Battery Lifetime Unknown

Remaining Battery Lifetime Unknown

Heron II-02

ComputerHERON-II-02

Generator HERON_II_02

Operating SystemMicrosoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)

Date2016-11-17

Time17:23

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type Advanced Configuration and Power Interface (ACPI) PC

Operating SystemMicrosoft Windows XP Professional

OS Service Pack Service Pack 3

Internet Explorer 8.0.6001.18702 (IE 8.0)

DirectX 4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)

Computer Name HERON-II-02

User Name HERON_II_02

Logon DomainHERON-II-02

Date / Time 2016-11-17 / 17:23

Motherboard:

CPU TypeIntel Pentium 4, 2800 MHz (21 x 133)

Motherboard NameJetway P4MDPT(3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)

Motherboard Chipset VIA VT8751A Apollo P4M266A

System Memory 2048 MB(PC3200 DDR SDRAM)

DIMM1: M2GAOA8AMKAG081MCH 1 GB PC3200 DDR SDRAM(3.0-4-4-8 @ 200 MHz)(2.5-4-4-7 @ 166 MHz)(2.0-3-3-6 @ 133 MHz)

DIMM2: M2GAOA8AMKAG081MCH 1 GB PC3200 DDR SDRAM(3.0-4-4-8 @ 200 MHz)(2.5-4-4-7 @ 166 MHz)(2.0-3-3-6 @ 133 MHz)

BIOS Type Award (11/20/03)

Communication PortCommunications Port (COM1)

Communication PortCommunications Port (COM2)

Communication PortPrinter Port (LPT1)

Display:

Video Adapter Matrox Graphics Millennium G400 AGP(16 MB)

3D AcceleratorMatrox G400

Monitor LG W1934[19" LCD](180266126)

Multimedia:

Audio Adapter Realtek ALC655 @ VIA AC'97 Enhanced Audio Controller

Storage:

IDE ControllerVIA Bus Master IDE Controller - 0571

Floppy DriveFloppy disk drive

Disk DriveWDC WD400EB-00CPF0(37 GB, IDE)

Optical Drive SONY CD-ROM CDU5221(52x CD-ROM)

SMART Hard Disks Status OK

Partitions:

C: (NTFS) 19077 MB (11486 MB free)

Total Size 18.6 GB (11.2 GB free)

Input:

Keyboard Standard 101/102-Key or Microsoft Natural PS/2 Keyboard
Mouse PS/2 Compatible Mouse

Network:

Primary IP Address 88.197.48.106
Primary MAC Address 00-30-18-DE-3C-48
Network Adapter VIA Rhine II Fast Ethernet Adapter(88.197.48.106)

Peripherals:

USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB1 Controller VIA VT8235 USB Universal Host Controller
USB2 Controller VIA VT8235 USB 2.0 Enhanced Host Controller

DMI:

DMI BIOS Vendor Phoenix Technologies, LTD
DMI BIOS Version 6.00 PG
DMI System Manufacturer VIA Technologies, Inc.
DMI System Product P4M266-8235
DMI System Version
DMI System Serial Number
DMI Motherboard Manufacturer
DMI Motherboard Product P4M266-8235
DMI Motherboard Version
DMI Motherboard Serial Number
DMI Chassis Manufacturer
DMI Chassis Version
DMI Chassis Serial Number
DMI Chassis Asset Tag
DMI Chassis Type Desktop Case
DMI Total / Free Memory Sockets 3 / 1

-----[Computer Name]-----

Computer Comment Logical
NetBIOS Name Logical HERON-II-02
DNS Host Name Logical heron-ii-02
DNS Domain Name Logical
Fully Qualified DNS Name Logical heron-ii-02
NetBIOS Name Physical HERON-II-02
DNS Host Name Physical heron-ii-02
DNS Domain Name Physical
Fully Qualified DNS Name Physical heron-ii-02

-----[DMI]-----

[BIOS]
BIOS Properties:
Vendor Phoenix Technologies, LTD

Version 6.00 PG
Release Date 11/20/2003
Size 256 KB
Boot Devices Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
Capabilities Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD
Supported Standards DMI, APM, ACPI, PnP
Expansion Capabilities ISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:
Manufacturer VIA Technologies, Inc.
Product P4M266-8235
Wake-Up Type Power Switch

[Motherboard]

Motherboard Properties:
Product P4M266-8235

[Chassis]

Chassis Properties:
Chassis Type Desktop Case

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:
Error Detection Method None
Error Correction None
Supported Memory Interleave 1-Way
Current Memory Interleave 4-Way
Supported Memory Speeds 70ns, 60ns
Supported Memory Types SPM, EDO
Supported Memory Voltages 5V
Maximum Memory Module Size 32 MB
Memory Slots 3

[Processors / Intel Pentium(R) 4]

Processor Properties:
Manufacturer Intel
Version Intel Pentium(R) 4
External Clock 133 MHz
Current Clock 2800 MHz
Type Central Processor
Voltage 1.4 V
Status Enabled
Upgrade ZIF
Socket Designation Socket 478

[Processors / Intel Pentium(R) 4]

Processor Properties:
Manufacturer Unknown
Version Intel Pentium(R) 4

External Clock 133 MHz
Current Clock 2800 MHz
Type Central Processor
Voltage 1.4 V
Status Disabled by user
Upgrade ZIF
Socket Designation Socket 478

[Caches / Internal Cache]

Cache Properties:
Type Internal
Status Enabled
Operational Mode Write-Back
Maximum Size 20 KB
Installed Size 20 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket Designation Internal Cache

[Caches / Internal Cache]

Cache Properties:
Type Internal
Status Enabled
Operational Mode Write-Back
Maximum Size 20 KB
Installed Size 20 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket Designation Internal Cache

[Caches / External Cache]

Cache Properties:
Type External
Status Enabled
Operational Mode Write-Back
Maximum Size 512 KB
Installed Size 512 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous
Socket Designation External Cache

[Caches / External Cache]

Cache Properties:
Type External
Status Enabled
Operational Mode Write-Back
Maximum Size 512 KB
Installed Size 512 KB
Supported SRAM Type Synchronous
Current SRAM Type Synchronous

Socket DesignationExternal Cache

[Memory Modules / A0]

Memory Module Properties:

Socket DesignationA0

Speed 60 ns

Installed Size1024 MB

Enabled Size1024 MB

[Memory Modules / A1]

Memory Module Properties:

Socket DesignationA1

Speed 60 ns

Installed Size1024 MB

Enabled Size1024 MB

[Memory Modules / A2]

Memory Module Properties:

Socket DesignationA2

Speed 60 ns

Installed SizeNot Installed

Enabled SizeNot Installed

[Memory Devices / A0]

Memory Device Properties:

Form Factor DIMM

Size1024 MB

Device LocatorA0

Bank LocatorBank0/1

ManufacturerNone

Serial Number None

Asset Tag None

Part Number None

[Memory Devices / A1]

Memory Device Properties:

Form Factor DIMM

Size1024 MB

Device LocatorA1

Bank LocatorBank2/3

ManufacturerNone

Serial Number None

Asset Tag None

Part Number None

[Memory Devices / A2]

Memory Device Properties:

Form Factor DIMM

Device LocatorA2

Bank LocatorBank4/5

ManufacturerNone
Serial Number None
Asset Tag None
Part Number None

[System Slots / PCI0]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI0
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI1]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI1
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI2]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI2
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / PCI3]
System Slot Properties:
Slot DesignationPCI3
TypePCI
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[System Slots / AGP]
System Slot Properties:
Slot DesignationAGP
TypeAGP
Usage Empty
Data Bus Width32-bit
LengthLong

[Port Connectors / PRIMARY IDE]
Port Connector Properties:
Internal Reference Designator PRIMARY IDE
Internal Connector Type On-Board IDE
External Connector Type None

[Port Connectors / SECONDARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator SECONDARY IDE

Internal Connector Type On-Board IDE

External Connector Type None

[Port Connectors / FDD]

Port Connector Properties:

Port Type 8251 FIFO Compatible

Internal Reference Designator FDD

Internal Connector Type On-Board Floppy

External Connector Type None

[Port Connectors / COM1]

Port Connector Properties:

Port Type Serial Port 16450 Compatible

Internal Reference Designator COM1

Internal Connector Type 9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)

External Connector Type DB-9 pin male

[Port Connectors / COM2]

Port Connector Properties:

Port Type Serial Port 16450 Compatible

Internal Reference Designator COM2

Internal Connector Type 9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)

External Connector Type DB-9 pin male

[Port Connectors / LPT1]

Port Connector Properties:

Port Type Parallel Port ECP/EPP

Internal Reference Designator LPT1

Internal Connector Type DB-25 pin female

External Connector Type DB-25 pin female

[Port Connectors / Keyboard]

Port Connector Properties:

Port Type Keyboard Port

Internal Reference Designator Keyboard

Internal Connector Type PS/2

External Connector Type PS/2

[Port Connectors / PS/2 Mouse]

Port Connector Properties:

Port Type Mouse Port

Internal Reference Designator PS/2 Mouse

Internal Connector Type PS/2

External Connector Type PS/2

[Port Connectors / USB0]

Port Connector Properties:
Port Type USB
Internal Connector Type None
External Reference Designator USB0

[Port Connectors / AUDIO]
Port Connector Properties:
Port Type Audio Port
Internal Connector Type None
External Reference Designator AUDIO
External Connector Type None

-----[Overclock]-----

CPU Properties:
CPU Type Intel Pentium 4
CPU Alias Northwood
CPU Stepping D1
Engineering Sample No
CPUID CPU Name Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz
CPUID Revision 00000F29h

CPU Speed:
CPU Clock 2813.9 MHz(original: 2800 MHz)
CPU Multiplier 21x
CPU FSB 134.0 MHz(original: 133 MHz)
Memory Bus 134.0 MHz
DRAM:FSB Ratio 1:1

CPU Cache:
L1 Trace Cache 12K Instructions
L1 Data Cache 8 KB
L2 Cache 512 KB(On-Die, ECC, ATC, Full-Speed)

Motherboard Properties:
Motherboard ID 11/20/2003-P4M266-8235-6A6LWJ19C-00
Motherboard Name Jetway P4MDPT(3 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, Video, LAN)

Chipset Properties:
Motherboard Chipset VIA VT8751A Apollo P4M266A
Memory Timings 2.5-3-3-6(CL-RCD-RP-RAS)
Command Rate (CR) 2T
DIMM1: M2GAOA8AMKAG081MCH 1 GB PC3200 DDR SDRAM(3.0-4-4-8 @ 200 MHz)(2.5-4-4-7 @ 166 MHz)(2.0-3-3-6 @ 133 MHz)
DIMM2: M2GAOA8AMKAG081MCH 1 GB PC3200 DDR SDRAM(3.0-4-4-8 @ 200 MHz)(2.5-4-4-7 @ 166 MHz)(2.0-3-3-6 @ 133 MHz)

BIOS Properties:
System BIOS Date 11/20/03
Video BIOS Date 05/24/99
Award BIOS Type Phoenix-Award BIOS v6.00PG

Award BIOS Message V.P4MDPT A07 11-20-2003

DMI BIOS Version 6.00 PG

Graphics Processor Properties:

Video Adapter Matrox Millennium G400 AGP

GPU Code Name MGA-G400 Toucan (AGP 4x 102B / 0525, Rev 04)

GPU Clock 120 MHz

Warp Clock 120 MHz

Memory Clock 160 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source AC Line

Battery Status No Battery

Full Battery Lifetime Unknown

Remaining Battery Lifetime Unknown

Heron II-03

Version	EVEREST v5.50.2253 Beta
Benchmark Module	2.5.292.0
Homepage	http://www.lavalys.com/
Report Type	Report Wizard
Computer	HERON-II-03
Generator	HERON_II_03
Operating System	Microsoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)
Date	2016-11-24
Time	23:28

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type	ACPI Multiprocessor PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 2
Internet Explorer	6.0.2900.2180 (IE 6.0 SP2)
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name	HERON-II-03
User Name	HERON_II_03
Logon Domain	HERON-II-03
Date / Time	2016-11-24 / 23:28

Motherboard:

CPU Type	Intel Pentium 4, 2800 MHz (14 x 200)
Motherboard Name	Asus P4C800 (5 PCI, 1 AGP Pro, 1 WiFi, 4 DDR DIMM, Audio, Gigabit LAN)
Motherboard Chipset	Intel Canterwood i875P
System Memory	1024 MB (DDR SDRAM)
DIMM1: Melco	256 MB PC2700 DDR SDRAM (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)
(2.0-3-3-6 @ 133 MHz)	
DIMM2: SpecTek	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3: Kingston K	256 MB PC2700 DDR SDRAM (2.5-3-3-7 @ 166 MHz) (2.0-3-3-6 @ 133 MHz)
DIMM4: SpecTek	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
BIOS Type	AMI (01/28/04)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	ECP Printer Port (LPT1)

Display:

Video Adapter	NVIDIA GeForce4 MX 440 (64 MB)
3D Accelerator	nVIDIA GeForce4 MX 440
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)

Multimedia:

Audio Adapter Analog Devices AD1985 @ Intel 82801EB ICH5 - AC'97
Audio Controller [A-2/A-3]

Storage:

IDE Controller Intel(R) 82801EB Ultra ATA Storage Controllers
Floppy Drive Floppy disk drive
Disk Drive Maxtor 6E040L0 (40 GB, 7200 RPM, Ultra-ATA/133)
SMART Hard Disks Status OK

Partitions:

C: (NTFS) 19077 MB (15492 MB free)
Total Size 18.6 GB (15.1 GB free)

Input:

Keyboard Standard 101/102-Key or Microsoft Natural PS/2 Keyboard
Mouse Microsoft PS/2 Mouse

Network:

Primary IP Address 88.197.48.108
Primary MAC Address 00-0C-6E-4E-82-A2
Network Adapter 3Com Gigabit LOM (3C940) (88.197.48.108)

Peripherals:

USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB2 Controller Intel 82801EB ICH5 - Enhanced USB2 Controller [A-2/A-3]

DMI:

DMI BIOS Vendor American Megatrends Inc.
DMI BIOS Version 080009
DMI System Manufacturer To Be Filled By O.E.M.
DMI System Product To Be Filled By O.E.M.
DMI System Version To Be Filled By O.E.M.
DMI System Serial Number To Be Filled By O.E.M.
DMI System UUID 00020003-00040005-00060007-00080009
DMI Motherboard Manufacturer ASUSTeK Computer Inc.
DMI Motherboard Product P4C800
DMI Motherboard Version Rev 1.xx
DMI Motherboard Serial Number MB-1234567890
DMI Chassis Manufacturer Chassis Manufacture
DMI Chassis Version Chassis Version
DMI Chassis Serial Number Chassis Serial Number
DMI Chassis Asset Tag Asset-1234567890
DMI Chassis Type Desktop Case
DMI Total / Free Memory Sockets 4 / 0

-----[Computer Name]-----

Computer Comment	Logical
NetBIOS Name	Logical HERON-II-03
DNS Host Name	Logical heron-ii-03
DNS Domain Name	Logical
Fully Qualified DNS Name	Logical heron-ii-03
NetBIOS Name	Physical HERON-II-03
DNS Host Name	Physical heron-ii-03
DNS Domain Name	Physical
Fully Qualified DNS Name	Physical heron-ii-03

-----[DMI]-----

[BIOS]

BIOS Properties:

Vendor	American Megatrends Inc.
Version	080009
Release Date	01/28/2004
Size	512 KB
Boot Devices	Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
Capabilities	Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD, BBS
Supported Standards	DMI, APM, ACPI, ESCD, PnP
Expansion Capabilities	ISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:

Manufacturer	To Be Filled By O.E.M.
Product	To Be Filled By O.E.M.
Version	To Be Filled By O.E.M.
Serial Number	To Be Filled By O.E.M.
Universal Unique ID	00020003-00040005-00060007-00080009
Wake-Up Type	PCI PME#

[Motherboard]

Motherboard Properties:

Manufacturer	ASUSTeK Computer Inc.
Product	P4C800
Version	Rev 1.xx
Serial Number	MB-1234567890

[Chassis]

Chassis Properties:

Manufacturer	Chassis Manufacture
Version	Chassis Version
Serial Number	Chassis Serial Number
Asset Tag	Asset-1234567890
Chassis Type	Desktop Case
Boot-Up State	Safe
Power Supply State	Safe
Thermal State	Safe
Security Status	None

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:

Error Detection Method	None
Error Correction	None
Supported Memory Interleave	1-Way
Current Memory Interleave	1-Way
Supported Memory Speeds	70ns, 60ns, 50ns
Supported Memory Types	SIMM, DIMM, SDRAM
Supported Memory Voltages	2.9V
Maximum Memory Module Size	1024 MB
Memory Slots	4

[Processors / Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz]

Processor Properties:

Manufacturer	Intel
Version	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz
Serial Number	To Be Filled By O.E.M.
Asset Tag	To Be Filled By O.E.M.
Part Number	To Be Filled By O.E.M.
External Clock	200 MHz
Maximum Clock	3600 MHz
Current Clock	2800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	3.3 V, 2.9 V
Status	Enabled
Upgrade	Socket 478
Socket Designation	CPU 1

[Caches / L1-Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Varies with Memory Address
Associativity	4-way Set-Associative
Maximum Size	8 KB
Installed Size	8 KB
Supported SRAM Type	Pipeline Burst
Current SRAM Type	Pipeline Burst
Error Correction	Single-bit ECC
Socket Designation	L1-Cache

[Caches / L2-Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Varies with Memory Address
Associativity	4-way Set-Associative
Maximum Size	512 KB
Installed Size	512 KB
Supported SRAM Type	Pipeline Burst

Current SRAM Type	Pipeline Burst
Error Correction	Single-bit ECC
Socket Designation	L2-Cache

[Caches / L3-Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Disabled
Maximum Size	0 KB
Installed Size	0 KB
Socket Designation	L3-Cache

[Memory Modules / DIMM A1]

Memory Module Properties:

Socket Designation	DIMM A1
Type	DIMM, SDRAM
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Modules / DIMM A2]

Memory Module Properties:

Socket Designation	DIMM A2
Type	DIMM, SDRAM
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Modules / DIMM B1]

Memory Module Properties:

Socket Designation	DIMM B1
Type	DIMM, SDRAM
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Modules / DIMM B2]

Memory Module Properties:

Socket Designation	DIMM B2
Type	DIMM, SDRAM
Installed Size	256 MB
Enabled Size	256 MB

[Memory Devices / DIMM0]

Memory Device Properties:

Form Factor	DIMM
Type	DDR
Type Detail	Synchronous
Size	256 MB
Total Width	64-bit
Data Width	64-bit
Device Locator	DIMM0
Bank Locator	BANK0

Manufacturer	Manufacturer0
Serial Number	SerNum0
Asset Tag	AssetTagNum0
Part Number	PartNum0

[Memory Devices / DIMM1]

Memory Device Properties:

Form Factor	DIMM
Type	DDR
Type Detail	Synchronous
Size	256 MB
Total Width	64-bit
Data Width	64-bit
Device Locator	DIMM1
Bank Locator	BANK1
Manufacturer	Manufacturer1
Serial Number	SerNum1
Asset Tag	AssetTagNum1
Part Number	PartNum1

[Memory Devices / DIMM2]

Memory Device Properties:

Form Factor	DIMM
Type	DDR
Type Detail	Synchronous
Size	256 MB
Total Width	64-bit
Data Width	64-bit
Device Locator	DIMM2
Bank Locator	BANK2
Manufacturer	Manufacturer2
Serial Number	SerNum2
Asset Tag	AssetTagNum2
Part Number	PartNum2

[Memory Devices / DIMM3]

Memory Device Properties:

Form Factor	DIMM
Type	DDR
Type Detail	Synchronous
Size	256 MB
Total Width	64-bit
Data Width	64-bit
Device Locator	DIMM3
Bank Locator	BANK3
Manufacturer	Manufacturer3
Serial Number	SerNum3
Asset Tag	AssetTagNum3
Part Number	PartNum3

[System Slots / AGP]

System Slot Properties:

Slot Designation	AGP
Type	AGP 8x
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI1]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI1
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI2]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI2
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI3]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI3
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI4]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI4
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI5]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI5
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[Port Connectors / PS2Mouse]

Port Connector Properties:

Port Type	Mouse Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	PS2Mouse
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / Keyboard]

Port Connector Properties:

Port Type	Keyboard Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Keyboard
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / USB1]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB1
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB2]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB2
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB3]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB3
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB4]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB4
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB5]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB5
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB6]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
-----------	-----

Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB6
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB7]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB7
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB8]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB8
External Connector Type	USB
[Port Connectors / LPT 1]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Parallel Port ECP/EPP
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	LPT 1
External Connector Type	DB-25 pin male
[Port Connectors / COM 1]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Serial Port 16550A Compatible
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	COM 1
External Connector Type	DB-9 pin male
[Port Connectors / COM 2]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Serial Port 16550A Compatible
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	COM 2
External Connector Type	DB-9 pin male
[Port Connectors / Audio Mic In]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Audio Mic In
External Connector Type	Mini-jack (headphones)
[Port Connectors / Audio Line In]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None

External Reference Designator	Audio Line In
External Connector Type	Mini-jack (headphones)

[Port Connectors / Audio Line Out]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Audio Line Out
External Connector Type	Mini-jack (headphones)

[Port Connectors / LAN]

Port Connector Properties:

Port Type	Network Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	LAN
External Connector Type	RJ-45

[Port Connectors / FireWire 1]

Port Connector Properties:

Port Type	FireWire (IEEE P1394)
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	FireWire 1
External Connector Type	1394

[Port Connectors / FireWire 2]

Port Connector Properties:

Port Type	FireWire (IEEE P1394)
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	FireWire 2
External Connector Type	1394

[Port Connectors / MIDI]

Port Connector Properties:

Port Type	MIDI Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	MIDI
External Connector Type	DB-15 pin female

[Port Connectors / Joy Stick]

Port Connector Properties:

Port Type	Joystick Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Joy Stick
External Connector Type	DB-15 pin female

[Port Connectors / AUX]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Reference Designator	AUX
Internal Connector Type	On-Board Sound Input from CD-ROM

External Connector Type	None
[Port Connectors / CD]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Audio Port
Internal Reference Designator	CD
Internal Connector Type	On-Board Sound Input from CD-ROM
External Connector Type	None
[Port Connectors / PRI_IDE]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	PRI_IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None
[Port Connectors / SEC_IDE]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	SEC_IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None
[Port Connectors / FLOPPY]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	FLOPPY
Internal Connector Type	On-Board Floppy
External Connector Type	None
[Port Connectors / CHA_FAN]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CHA_FAN
External Connector Type	None
[Port Connectors / CPU_FAN]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CPU_FAN
External Connector Type	None
[Port Connectors / PWR_FAN]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	PWR_FAN
External Connector Type	None
[Port Connectors / ATXPWR]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	ATXPWR
External Connector Type	None
[Port Connectors / CHASSIS]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CHASSIS

External Connector Type None

[Port Connectors / FP_AUDIO]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator FP_AUDIO
External Connector Type None

[On-Board Devices / 3COM 3C940]

On-Board Device Properties:

Description 3COM 3C940
Type Ethernet
Status Enabled

[Miscellaneous]

Miscellaneous:

OEM String To Be Filled By O.E.M.
OEM String To Be Filled By O.E.M.
OEM String To Be Filled By O.E.M.
OEM String To Be Filled By O.E.M.

-----[Overclock]-----

CPU Properties:

CPU Type Intel Pentium 4
CPU Alias Northwood HyperThreading
CPU Stepping D1
Engineering Sample No
CPUID CPU Name Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz
CPUID Revision 00000F29h

CPU Speed:

CPU Clock 2806.4 MHz (original: 2800 MHz)
CPU Multiplier 14x
CPU FSB 200.5 MHz (original: 200 MHz)
Memory Bus 133.6 MHz
DRAM:FSB Ratio 4:6

CPU Cache:

L1 Trace Cache 12K Instructions
L1 Data Cache 8 KB
L2 Cache 512 KB (On-Die, ECC, ATC, Full-Speed)

Motherboard Properties:

Motherboard ID 63-1500-000100-00101111-012804-I875P\$P4C8B100_BIOS
DATE: 01/28/04 15:58:56 VER: 08.00.09
Motherboard Name Asus P4C800 (5 PCI, 1 AGP Pro, 1 WiFi, 4 DDR
DIMM, Audio, Gigabit LAN)

Chipset Properties:

Motherboard Chipset Intel Canterwood i875P

Memory Timings	2.5-3-3-6 (CL-RCD-RP-RAS)
DIMM1: Melco (2.0-3-3-6 @ 133 MHz)	256 MB PC2700 DDR SDRAM (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2: SpecTek MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133
DIMM3: Kingston K MHz) (2.0-3-3-6 @ 133 MHz)	256 MB PC2700 DDR SDRAM (2.5-3-3-7 @ 166
DIMM4: SpecTek MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133

BIOS Properties:

System BIOS Date	01/28/04
Video BIOS Date	02/27/03
DMI BIOS Version	080009

Graphics Processor Properties:

Video Adapter	nVIDIA GeForce4 MX 440
GPU Code Name	NV17 (AGP 4x 10DE / 0171, Rev A5)
GPU Clock	250 MHz
Memory Clock	133 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source	AC Line
Battery Status	No Battery
Full Battery Lifetime	Unknown
Remaining Battery Lifetime	Unknown

Heron II-04

Computer	HERON-II-04
Generator	Heron_II_04
Operating System	Microsoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)
Date	2017-01-11
Time	23:13

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type	Advanced Configuration and Power Interface (ACPI) PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
Internet Explorer	8.0.6001.18702 (IE 8.0)
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name	HERON-II-04
User Name	Heron_II_04
Logon Domain	HERON-II-04
Date / Time	2017-01-11 / 23:13

Motherboard:

CPU Type	Intel Pentium 4, 1800 MHz (18 x 100)
Motherboard Name	DFI PE11-EC/EL (5 PCI, 1 AGP, 3 DIMM, Audio)
Motherboard Chipset	VIA VT8753A Apollo P4X266A
System Memory	640 MB (DDR SDRAM)
DIMM1: Transcend	256 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz) (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2: Micron 8VDDT3264AG-265C4	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3: Melco	128 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
BIOS Type	Award (09/20/02)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	Communications Port (COM2)
Communication Port	Printer Port (LPT1)

Display:

Video Adapter	Matrox Graphics Millennium G550 AGP (32 MB)
Video Adapter	Matrox Graphics Millennium G550 AGP (32 MB)
3D Accelerator	Matrox G550
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)

Multimedia:

Audio Adapter	VIA AC'97 Enhanced Audio Controller
---------------	-------------------------------------

Storage:

IDE Controller	VIA Bus Master IDE Controller
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	ExcelStor Technology J640 (40 GB, 7200 RPM, Ultra-ATA/100)

Disk Drive Generic Flash Disk USB Device (3 GB, USB)
Optical Drive I_}Wt-st GV w4wsU/|525b
SMART Hard Disks Status OK

Partitions:

C: (NTFS) 19626 MB (10214 MB free)
Total Size 19626 MB (10214 MB free)

Input:

Keyboard Standard 101/102-Key or Microsoft Natural PS/2 Keyboard
Mouse PS/2 Compatible Mouse

Network:

Primary IP Address 88.197.48.108
Primary MAC Address 00-4F-4E-17-31-CC
Network Adapter OvisLink LFE-8139ATX Fast Ethernet Adapter
(88.197.48.108)

Peripherals:

Printer Microsoft XPS Document Writer
USB1 Controller VIA VT8233(A) USB Universal Host Controller
USB1 Controller VIA VT8233(A) USB Universal Host Controller
USB Device USB Mass Storage Device

DMI:

DMI BIOS Vendor Award Software International, Inc.
DMI BIOS Version 6.00 PG
DMI System Manufacturer VIA Technologies, Inc.
DMI System Product P4X266-8233
DMI System Version
DMI System Serial Number
DMI Motherboard Manufacturer
DMI Motherboard Product P4X266-8233
DMI Motherboard Version
DMI Motherboard Serial Number
DMI Chassis Manufacturer
DMI Chassis Version
DMI Chassis Serial Number
DMI Chassis Asset Tag
DMI Chassis Type Desktop Case
DMI Total / Free Memory Sockets 3 / 2

-----[Computer Name]-----

Computer Comment Logical
NetBIOS Name Logical HERON-II-04
DNS Host Name Logical heron-ii-04
DNS Domain Name Logical
Fully Qualified DNS Name Logical heron-ii-04
NetBIOS Name Physical HERON-II-04
DNS Host Name Physical heron-ii-04

DNS Domain Name Physical
Fully Qualified DNS Name Physical heron-ii-04

-----[DMI]-----

[BIOS]

BIOS Properties:

Vendor	Award Software International, Inc.
Version	6.00 PG
Release Date	09/20/2002
Size	256 KB
Boot Devices	Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
Capabilities	Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD
Supported Standards	DMI, APM, ACPI, ESCD, PnP
Expansion Capabilities	ISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:

Manufacturer	VIA Technologies, Inc.
Product	P4X266-8233
Wake-Up Type	Power Switch

[Motherboard]

Motherboard Properties:

Product	P4X266-8233
---------	-------------

[Chassis]

Chassis Properties:

Chassis Type	Desktop Case
--------------	--------------

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:

Error Detection Method	None
Error Correction	None
Supported Memory Interleave	1-Way
Current Memory Interleave	4-Way
Supported Memory Speeds	70ns, 60ns
Supported Memory Types	SPM, EDO
Supported Memory Voltages	5V
Maximum Memory Module Size	32 MB
Memory Slots	3

[Processors / Intel Pentium(R) 4]

Processor Properties:

Manufacturer	Intel
Version	Intel Pentium(R) 4
External Clock	100 MHz
Current Clock	1800 MHz
Type	Central Processor
Voltage	1.4 V
Status	Enabled

Upgrade	ZIF
Socket Designation	Socket 478

[Caches / Internal Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Write-Back
Maximum Size	16 KB
Installed Size	16 KB
Supported SRAM Type	Synchronous
Current SRAM Type	Synchronous
Socket Designation	Internal Cache

[Caches / External Cache]

Cache Properties:

Type	External
Status	Disabled
Operational Mode	Write-Back
Maximum Size	256 KB
Installed Size	512 KB
Supported SRAM Type	Synchronous
Current SRAM Type	Synchronous
Socket Designation	External Cache

[Memory Modules / A0]

Memory Module Properties:

Socket Designation	A0
Speed	60 ns
Installed Size	Not Installed
Enabled Size	Not Installed

[Memory Modules / A1]

Memory Module Properties:

Socket Designation	A1
Speed	60 ns
Installed Size	512 MB
Enabled Size	512 MB

[Memory Modules / A2]

Memory Module Properties:

Socket Designation	A2
Speed	60 ns
Installed Size	Not Installed
Enabled Size	Not Installed

[Memory Devices / A0]

Memory Device Properties:

Form Factor	DIMM
Device Locator	A0

Bank Locator	Bank0/1
--------------	---------

[Memory Devices / A1]

Memory Device Properties:	
Form Factor	DIMM
Size	512 MB
Device Locator	A1
Bank Locator	Bank2/3

[Memory Devices / A2]

Memory Device Properties:	
Form Factor	DIMM
Device Locator	A2
Bank Locator	Bank4/5

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:	
Slot Designation	PCI
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:	
Slot Designation	PCI
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:	
Slot Designation	PCI
Type	PCI
Usage	In Use
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[System Slots / PCI]

System Slot Properties:	
Slot Designation	PCI
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[System Slots / AGP]

System Slot Properties:	
Slot Designation	AGP

Type	AGP
Usage	In Use
Data Bus Width	32-bit
Length	Long

[Port Connectors / PRIMARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	PRIMARY IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None

[Port Connectors / SECONDARY IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	SECONDARY IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None

[Port Connectors / FDD]

Port Connector Properties:

Port Type	8251 FIFO Compatible
Internal Reference Designator	FDD
Internal Connector Type	On-Board Floppy
External Connector Type	None

[Port Connectors / COM1]

Port Connector Properties:

Port Type	Serial Port 16450 Compatible
Internal Reference Designator	COM1
Internal Connector Type	9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)
External Connector Type	DB-9 pin male

[Port Connectors / COM2]

Port Connector Properties:

Port Type	Serial Port 16450 Compatible
Internal Reference Designator	COM2
Internal Connector Type	9 Pin Dual Inline (pin 10 cut)
External Connector Type	DB-9 pin male

[Port Connectors / LPT1]

Port Connector Properties:

Port Type	Parallel Port ECP/EPP
Internal Reference Designator	LPT1
Internal Connector Type	DB-25 pin female
External Connector Type	DB-25 pin female

[Port Connectors / Keyboard]

Port Connector Properties:

Port Type	Keyboard Port
Internal Reference Designator	Keyboard
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / Detected]

Port Connector Properties:

Port Type	Mouse Port
Internal Reference Designator	PS/2 Mouse
Internal Connector Type	PS/2
External Reference Designator	Detected
External Connector Type	PS/2

[Port Connectors / USB]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Reference Designator	USB
Internal Connector Type	None

-----[Overclock]-----

CPU Properties:

CPU Type	Intel Pentium 4
CPU Alias	Northwood
CPU Stepping	B0
Engineering Sample	No
CPUID CPU Name	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 1.80GHz
CPUID Revision	00000F24h

CPU Speed:

CPU Clock	1797.0 MHz (original: 1800 MHz)
CPU Multiplier	18x
CPU FSB	99.8 MHz (original: 100 MHz)
Memory Bus	133.1 MHz
DRAM:FSB Ratio	4:3

CPU Cache:

L1 Trace Cache	12K Instructions
L1 Data Cache	8 KB
L2 Cache	512 KB (On-Die, ECC, ATC, Full-Speed)

Motherboard Properties:

Motherboard ID	09/20/2002-P4X266-8233-6A6LWD4EC-00
Motherboard Name	DFI PE11-EC/EL (5 PCI, 1 AGP, 3 DIMM, Audio)

Chipset Properties:

Motherboard Chipset	VIA VT8753A Apollo P4X266A
Memory Timings	2.5-3-3-6 (CL-RCD-RP-RAS)
Command Rate (CR)	2T
DIMM1: Transcend	256 MB PC3200 DDR SDRAM (2.5-3-3-8 @ 200 MHz) (2.0-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2: Micron 8VDDT3264AG-265C4	256 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)
DIMM3: Melco	128 MB PC2100 DDR SDRAM (2.5-3-3-6 @ 133 MHz) (2.0-2-2-5 @ 100 MHz)

BIOS Properties:

System BIOS Date	09/20/02
Video BIOS Date	12/12/01
Award BIOS Type	Phoenix-Award BIOS v6.00PG
Award BIOS Message	
DMI BIOS Version	6.00 PG

Graphics Processor Properties:

Video Adapter	Matrox Millennium G550
GPU Code Name	MGA-G550 (AGP 4x 102B / 2527, Rev 01)
GPU Clock	133 MHz
Warp Clock	133 MHz
Memory Clock	166 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source	AC Line
Battery Status	No Battery
Full Battery Lifetime	Unknown
Remaining Battery Lifetime	Unknown

Master Heron II

Computer	MASTER-HERON-II
Generator	MASTER_HERON_II
Operating System	Microsoft Windows XP Professional 5.1.2600 (WinXP RTM)
Date	2016-11-29
Time	23:40

-----[Summary]-----

Computer:

Computer Type	ACPI Multiprocessor PC
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
OS Service Pack	Service Pack 3
Internet Explorer	8.0.6001.18702 (IE 8.0)
DirectX	4.09.00.0904 (DirectX 9.0c)
Computer Name	MASTER-HERON-II
User Name	MASTER_HERON_II
Logon Domain	MASTER-HERON-II
Date / Time	2016-11-29 / 23:40

Motherboard:

CPU Type	Intel Pentium 4, 3000 MHz (15 x 200)
Motherboard Name	Asus P4P800S SE (5 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, LAN)
Motherboard Chipset	Intel Breeds Hill i848P
System Memory	2048 MB (PC3200 DDR SDRAM)
DIMM1: Princeton Tech. PRINCETON	1 GB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2: Princeton Tech. PRINCETON	1 GB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)
BIOS Type	AMI (02/24/04)
Communication Port	Communications Port (COM1)
Communication Port	ECP Printer Port (LPT1)

Display:

Video Adapter	NVIDIA GeForce4 MX 440 with AGP8X (64 MB)
3D Accelerator	nVIDIA GeForce4 MX 440 with AGP8X
Monitor	LG W1934 [19" LCD] (180266126)

Multimedia:

Audio Adapter	Analog Devices AD1888 @ Intel 82801EB ICH5 - AC'97
Audio Controller [A-2/A-3]	

Storage:

IDE Controller	Intel(R) 82801EB Ultra ATA Storage Controllers
Floppy Drive	Floppy disk drive
Disk Drive	Generic Flash Disk USB Device (3 GB, USB)
Disk Drive	WDC WD800BB-00JHC0 (74 GB, IDE)
Optical Drive	_NEC DVD_RW ND-2500A (DVD+RW:8x/4x, DVD-RW:8x/4x, DVD-ROM:12x, CD:32x/16x/40x DVD+RW/DVD-RW)

Optical Drive SONY DVD-ROM DDU1621 (16x/40x DVD-ROM)
SMART Hard Disks Status OK

Partitions:

C: (NTFS) 38154 MB (24780 MB free)
Total Size 37.3 GB (24.2 GB free)

Input:

Keyboard Standard 101/102-Key or Microsoft Natural PS/2 Keyboard
Mouse Microsoft PS/2 Mouse

Network:

Primary IP Address 88.197.48.109
Primary MAC Address 00-14-6C-8E-97-24
Network Adapter Realtek RTL8139/810x Family Fast Ethernet NIC
Network Adapter Realtek RTL8139/810x Family Fast Ethernet NIC
(88.197.48.109)

Peripherals:

Printer Microsoft XPS Document Writer
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB1 Controller Intel 82801EB ICH5 - USB Controller [A-2/A-3]
USB2 Controller Intel 82801EB ICH5 - Enhanced USB2 Controller [A-2/A-3]
USB Device USB Mass Storage Device

DMI:

DMI BIOS Vendor American Megatrends Inc.
DMI BIOS Version 1005.003
DMI System Manufacturer To Be Filled By O.E.M.
DMI System Product To Be Filled By O.E.M.
DMI System Version To Be Filled By O.E.M.
DMI System Serial Number To Be Filled By O.E.M.
DMI System UUID C4AB1A3F-1B87D811-B66BE1C0-D4BD8781
DMI Motherboard Manufacturer ASUSTeK Computer Inc.
DMI Motherboard Product P4P800S/SE
DMI Motherboard Version Rev 1.xx
DMI Motherboard Serial Number MB-1234567890
DMI Chassis Manufacturer Chassis Manufacture
DMI Chassis Version Chassis Version
DMI Chassis Serial Number Chassis Serial Number
DMI Chassis Asset Tag Asset-1234567890
DMI Chassis Type Desktop Case
DMI Total / Free Memory Sockets 2 / 0

-----[Computer Name]-----

Computer Comment Logical
NetBIOS Name Logical MASTER-HERON-II

DNS Host Name Logical master-heron-ii
 DNS Domain Name Logical
 Fully Qualified DNS Name Logical master-heron-ii
 NetBIOS Name Physical MASTER-HERON-II
 DNS Host Name Physical master-heron-ii
 DNS Domain Name Physical
 Fully Qualified DNS Name Physical master-heron-ii

-----[DMI]-----

[BIOS]

BIOS Properties:

Vendor American Megatrends Inc.
 Version 1005.003
 Release Date 02/24/2004
 Size 384 KB
 Boot Devices Floppy Disk, Hard Disk, CD-ROM, ATAPI ZIP, LS-120
 Capabilities Flash BIOS, Shadow BIOS, Selectable Boot, EDD, BBS
 Supported Standards DMI, APM, ACPI, ESCD, PnP
 Expansion Capabilities ISA, PCI, AGP, USB

[System]

System Properties:

Manufacturer To Be Filled By O.E.M.
 Product To Be Filled By O.E.M.
 Version To Be Filled By O.E.M.
 Serial Number To Be Filled By O.E.M.
 Universal Unique ID C4AB1A3F-1B87D811-B66BE1C0-D4BD8781
 Wake-Up Type LAN Remote

[Motherboard]

Motherboard Properties:

Manufacturer ASUSTeK Computer Inc.
 Product P4P800S/SE
 Version Rev 1.xx
 Serial Number MB-1234567890

[Chassis]

Chassis Properties:

Manufacturer Chassis Manufacture
 Version Chassis Version
 Serial Number Chassis Serial Number
 Asset Tag Asset-1234567890
 Chassis Type Desktop Case
 Boot-Up State Safe
 Power Supply State Safe
 Thermal State Safe
 Security Status None

[Memory Controller]

Memory Controller Properties:

Error Detection Method	None
Error Correction	None
Supported Memory Interleave	1-Way
Current Memory Interleave	1-Way
Supported Memory Speeds	70ns, 60ns, 50ns
Supported Memory Types	SIMM, DIMM, SDRAM
Supported Memory Voltages	2.9V
Maximum Memory Module Size	1024 MB
Memory Slots	2

[Processors / Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 3.00GHz]

Processor Properties:

Manufacturer	Intel
Version	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 3.00GHz
Serial Number	To Be Filled By O.E.M.
Asset Tag	To Be Filled By O.E.M.
Part Number	To Be Filled By O.E.M.
External Clock	200 MHz
Maximum Clock	3600 MHz
Current Clock	3000 MHz
Type	Central Processor
Voltage	1.3 V
Status	Enabled
Upgrade	Socket 478
Socket Designation	CPU 1

[Caches / L1-Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Varies with Memory Address
Associativity	4-way Set-Associative
Maximum Size	16 KB
Installed Size	16 KB
Supported SRAM Type	Pipeline Burst
Current SRAM Type	Pipeline Burst
Error Correction	Single-bit ECC
Socket Designation	L1-Cache

[Caches / L2-Cache]

Cache Properties:

Type	Internal
Status	Enabled
Operational Mode	Varies with Memory Address
Associativity	4-way Set-Associative
Maximum Size	1024 KB
Installed Size	1024 KB
Supported SRAM Type	Pipeline Burst
Current SRAM Type	Pipeline Burst
Error Correction	Single-bit ECC

Socket Designation L2-Cache

[Caches / L3-Cache]

Cache Properties:

Type Internal
Status Disabled
Maximum Size 0 KB
Installed Size 0 KB
Socket Designation L3-Cache

[Memory Modules / DIMM 1]

Memory Module Properties:

Socket Designation DIMM 1
Type DIMM, SDRAM
Installed Size 1024 MB
Enabled Size 1024 MB

[Memory Modules / DIMM 2]

Memory Module Properties:

Socket Designation DIMM 2
Type DIMM, SDRAM
Installed Size 1024 MB
Enabled Size 1024 MB

[Memory Devices / DIMM0]

Memory Device Properties:

Form Factor DIMM
Type DDR
Type Detail Synchronous
Size 1024 MB
Total Width 64-bit
Data Width 64-bit
Device Locator DIMM0
Bank Locator BANK0
Manufacturer Manufacturer0
Serial Number SerNum0
Asset Tag AssetTagNum0
Part Number PartNum0

[Memory Devices / DIMM1]

Memory Device Properties:

Form Factor DIMM
Type DDR
Type Detail Synchronous
Size 1024 MB
Total Width 64-bit
Data Width 64-bit
Device Locator DIMM1
Bank Locator BANK1
Manufacturer Manufacturer1

Serial Number	SerNum1
Asset Tag	AssetTagNum1
Part Number	PartNum1

[System Slots / AGP]

System Slot Properties:

Slot Designation	AGP
Type	AGP 8x
Usage	In Use
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI1]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI1
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI2]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI2
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI3]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI3
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI4]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI4
Type	PCI
Usage	Empty
Data Bus Width	32-bit
Length	Short

[System Slots / PCI5]

System Slot Properties:

Slot Designation	PCI5
Type	PCI
Usage	In Use
Data Bus Width	32-bit

Length	Short
[Port Connectors / PS2Mouse]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Mouse Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	PS2Mouse
External Connector Type	PS/2
[Port Connectors / Keyboard]	
Port Connector Properties:	
Port Type	Keyboard Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Keyboard
External Connector Type	PS/2
[Port Connectors / USB1]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB1
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB2]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB2
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB3]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB3
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB4]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB4
External Connector Type	USB
[Port Connectors / USB5]	
Port Connector Properties:	
Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB5
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB6]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB6
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB7]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB7
External Connector Type	USB

[Port Connectors / USB8]

Port Connector Properties:

Port Type	USB
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	USB8
External Connector Type	USB

[Port Connectors / LPT 1]

Port Connector Properties:

Port Type	Parallel Port ECP/EPP
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	LPT 1
External Connector Type	DB-25 pin male

[Port Connectors / COM 1]

Port Connector Properties:

Port Type	Serial Port 16550A Compatible
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	COM 1
External Connector Type	DB-9 pin male

[Port Connectors / MIDI]

Port Connector Properties:

Port Type	MIDI Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	MIDI
External Connector Type	DB-15 pin female

[Port Connectors / Joy Stick]

Port Connector Properties:

Port Type	Joystick Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Joy Stick
External Connector Type	DB-15 pin female

[Port Connectors / Audio Mic In]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Audio Mic In
External Connector Type	Mini-jack (headphones)

[Port Connectors / Audio Line In]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Audio Line In
External Connector Type	Mini-jack (headphones)

[Port Connectors / Audio Line Out]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	Audio Line Out
External Connector Type	Mini-jack (headphones)

[Port Connectors / LAN]

Port Connector Properties:

Port Type	Network Port
Internal Connector Type	None
External Reference Designator	LAN
External Connector Type	RJ-45

[Port Connectors / AUX]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Reference Designator	AUX
Internal Connector Type	On-Board Sound Input from CD-ROM
External Connector Type	None

[Port Connectors / CD]

Port Connector Properties:

Port Type	Audio Port
Internal Reference Designator	CD
Internal Connector Type	On-Board Sound Input from CD-ROM
External Connector Type	None

[Port Connectors / PRI_IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	PRI_IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None

[Port Connectors / SEC_IDE]

Port Connector Properties:

Internal Reference Designator	SEC_IDE
Internal Connector Type	On-Board IDE
External Connector Type	None
[Port Connectors / FLOPPY]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	FLOPPY
Internal Connector Type	On-Board Floppy
External Connector Type	None
[Port Connectors / CHA_FAN]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CHA_FAN
External Connector Type	None
[Port Connectors / CPU_FAN]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CPU_FAN
External Connector Type	None
[Port Connectors / ATXPWR]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	ATXPWR
External Connector Type	None
[Port Connectors / CHASSIS]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	CHASSIS
External Connector Type	None
[Port Connectors / FP_AUDIO]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	FP_AUDIO
External Connector Type	None
[Port Connectors / SATA1]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	SATA1
External Connector Type	None
[Port Connectors / SATA2]	
Port Connector Properties:	
Internal Reference Designator	SATA2
External Connector Type	None
[On-Board Devices / Realtek RTL8100C]	
On-Board Device Properties:	
Description	Realtek RTL8100C
Type	Ethernet
Status	Enabled

[Miscellaneous]

Miscellaneous:

OEM String	To Be Filled By O.E.M.
OEM String	To Be Filled By O.E.M.
OEM String	To Be Filled By O.E.M.
OEM String	To Be Filled By O.E.M.

-----[Overclock]-----

CPU Properties:

CPU Type	Intel Pentium 4
CPU Alias	Prescott
CPU Stepping	C0
Engineering Sample	No
CPUID CPU Name	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 3.00GHz
CPUID Revision	00000F33h

CPU Speed:

CPU Clock	3006.9 MHz (original: 3000 MHz)
CPU Multiplier	15x
CPU FSB	200.5 MHz (original: 200 MHz)
Memory Bus	200.5 MHz
DRAM:FSB Ratio	1:1

CPU Cache:

L1 Trace Cache	12K Instructions
L1 Data Cache	16 KB
L2 Cache	1 MB (On-Die, ECC, ATC, Full-Speed)

Motherboard Properties:

Motherboard ID	65-0503-000023-00101111-022404-I848PSP4PSS023_BIOS
DATE: 02/24/04 12:53:47 VER: 08.00.09	
Motherboard Name	Asus P4P800S SE (5 PCI, 1 AGP, 2 DDR DIMM, Audio, LAN)

Chipset Properties:

Motherboard Chipset	Intel Breeds Hill i848P
Memory Timings	3-3-3-8 (CL-RCD-RP-RAS)
PAT	Disabled
DIMM1: Princeton Tech. PRINCETON	1 GB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)
DIMM2: Princeton Tech. PRINCETON	1 GB PC3200 DDR SDRAM (3.0-3-3-8 @ 200 MHz) (2.5-3-3-7 @ 166 MHz)

BIOS Properties:

System BIOS Date	02/24/04
Video BIOS Date	07/22/03
DMI BIOS Version	1005.003

Graphics Processor Properties:

Video Adapter	nVIDIA GeForce4 MX 440 with AGP8X
GPU Code Name	NV18 (AGP 8x 10DE / 0181, Rev A2)
GPU Clock	274 MHz
Memory Clock	202 MHz

-----[Power Management]-----

Power Management Properties:

Current Power Source	AC Line
Battery Status	No Battery
Full Battery Lifetime	Unknown
Remaining Battery Lifetime	Unknown

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ-ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤLAB

Κώδικας για τον Υπολογισμό του Μετασχηματισμού Fourier σε Βολταμετρικό Σήμα

Ο κώδικας, που χρησιμοποιήθηκε υπολόγισε ένα μετασχηματισμό Fourier σε μια σειρά σημάτων βολταμετρίας. Στον κώδικα καλείται μια ρουτίνα «proc1», η οποία παρουσιάζεται παρακάτω (15).

Η Αρχική Ρουτίνα

```
clc;
clear all;
load 'measures.mat';

dtft_abs=zeros(90,2000);
dtft_angle=zeros(90,2000);
dft_abs=zeros(90,11100);
dft_angle=zeros(90,11100);

for d=1:9
    string1=strcat('MEXV00',int2str(d));
    [Xw,Xk]=proc1(eval(string1),string1);
    l=length(Xw);
    l1=length(Xk);
    dtft_abs(d,1:l)=abs(Xw);
    dtft_angle(d,1:l)=angle(Xw);
    dft_abs(d,1:l1)=abs(Xk);
    dft_angle(d,1:l1)=angle(Xk);
end
```

Η Ρουτίνα “proc1”

```
function [X1,Xk] = proc1(x ,name)

t = [0:6:6*[length(x)-1]];

found=0;
i=3;
% while (i<=220 & found==0)
%     r = int2str(i);
%     row = strcat('A',r);
%     column1 = strcat('C',r);
%     column2 = strcat('D',r);
%     column3 = strcat('O',r);
%     column4 = strcat('R',r);
%     [n1,n2] = xlsread('metriseis.xlsx', 2, row);
%     n2=string(n2);
%     if (n2==name)
%         found=1;
%         [ee,type] = xlsread('metriseis.xlsx' , 2, column1);
%         [pp,ex] = xlsread('metriseis.xlsx' , 2, column3);
%         ex=string(ex);
%         type=string(type);
%         if ex=='IN VITRO'
%             [ss,substance] = xlsread('metriseis.xlsx' , 2,
column2);
```

```

%           substance=string(substance);
%           heading=strcat(ex, '-', substance, '-', type);
%       else
%           [ff,fluid] = xlsread('metriseis.xlsx' , 2, column4);
%           fluid=string(fluid);
%           heading=strcat(ex, '-', 'body fluid:', fluid);
%       end
%   else
%       i=i+1;
%   end
%
% end
%
% plot(t,x)
% grid on;
% xlabel('time (s)');
% ylabel('signal (mV)');
% heading2=strcat(n2, ':', heading);
% title(heading2);
% n3=strcat('xn_', name);
% saveas(gcf,n3,'fig')
% saveas(gcf,n3,'jpg')
% close all force

% xlog= logarithm(x, t, heading2, name);

[X1, rf]= MSF(x, name);

Xk = dft(x, name);

end

```

Ο μετασχηματισμός παρήγαγε μια σειρά συναρτήσεων όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned}
 X_w = & 107 \cdot \exp(-w \cdot 1i) + (23 \cdot \exp(-w \cdot 2i))/2 + (47 \cdot \exp(-w \cdot 3i))/2 + (55 \cdot \exp(-w \cdot 4i))/4 + 29 \cdot \exp(-w \cdot 5i) + (93 \cdot \exp(-w \cdot 6i))/2 + (99 \cdot \exp(-w \cdot 7i))/2 + (183 \cdot \exp(-w \cdot 8i))/4 + 49 \cdot \exp(-w \cdot 9i) + (107 \cdot \exp(-w \cdot 10i))/2 + 65 \cdot \exp(-w \cdot 34i) + 107 \cdot \exp(-w \cdot 35i) + (151 \cdot \exp(-w \cdot 36i))/2 + (297 \cdot \exp(-w \cdot 37i))/4 + (297 \cdot \exp(-w \cdot 38i))/4 + (297 \cdot \exp(-w \cdot 39i))/4 + (297 \cdot \exp(-w \cdot 40i))/4 + (297 \cdot \exp(-w \cdot 41i))/4 + (295 \cdot \exp(-w \cdot 42i))/4 + 107 \cdot \exp(-w \cdot 43i) + 37 \cdot \exp(-w \cdot 44i) + 50 \cdot \exp(-w \cdot 45i) + 101 \cdot \exp(-w \cdot 46i) + 35 \cdot \exp(-w \cdot 71i) + (29 \cdot \exp(-w \cdot 72i))/4 + (105 \cdot \exp(-w \cdot 73i))/2 + (165 \cdot \exp(-w \cdot 74i))/4 + (135 \cdot \exp(-w \cdot 75i))/2 + 80 \cdot \exp(-w \cdot 76i) + (105 \cdot \exp(-w \cdot 77i))/2 + (173 \cdot \exp(-w \cdot 78i))/4 + (127 \cdot \exp(-w \cdot 79i))/2 + 90 \cdot \exp(-w \cdot 80i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 104i) + 48 \cdot \exp(-w \cdot 105i) + (65 \cdot \exp(-w \cdot 106i))/2 + 26 \cdot \exp(-w \cdot 107i) + (65 \cdot \exp(-w \cdot 108i))/2 + (305 \cdot \exp(-w \cdot 109i))/4 + 45 \cdot \exp(-w \cdot 110i) + 36 \cdot \exp(-w \cdot 111i) + 45 \cdot \exp(-w \cdot 112i) + (167 \cdot \exp(-w \cdot 113i))/2 + (139 \cdot \exp(-w \cdot 137i))/2 + 55 \cdot \exp(-w \cdot 138i) + (73 \cdot \exp(-w \cdot 139i))/2 + 26 \cdot \exp(-w \cdot 140i) + (73 \cdot \exp(-w \cdot 141i))/2 + (147 \cdot \exp(-w \cdot 142i))/2 + (93 \cdot \exp(-w \cdot 143i))/2 + (65 \cdot \exp(-w \cdot 144i))/2 + (93 \cdot \exp(-w \cdot 145i))/2 + (159 \cdot \exp(-w \cdot 146i))/2 + 70 \cdot \exp(-w \cdot 171i) + (75 \cdot \exp(-w \cdot 172i))/2 + (51 \cdot \exp(-w \cdot 173i))/2 + 35 \cdot \exp(-w \cdot 174i) + (143 \cdot \exp(-w \cdot 175i))/2 + 50 \cdot \exp(-w \cdot 176i) + 36 \cdot \exp(-w \cdot 177i) + 30 \cdot \exp(-w \cdot 178i) + (105 \cdot \exp(-w \cdot 179i))/2 + 76 \cdot \exp(-w \cdot 180i) + (281 \cdot \exp(-w \cdot 204i))/4 + (87 \cdot \exp(-w \cdot 205i))/2 + 30 \cdot \exp(-w \cdot 206i) + (49 \cdot \exp(-w \cdot 207i))/2 + (139 \cdot \exp(-w \cdot 208i))/2 + (105 \cdot \exp(-w \cdot 209i))/2 + (55 \cdot \exp(-w \cdot 210i))/2 + 35 \cdot \exp(-w \cdot 211i) + (147 \cdot \exp(-w \cdot 212i))/2 + 71 \cdot \exp(-w \cdot 237i) + 45 \cdot \exp(-w \cdot 238i) + 30 \cdot \exp(-w \cdot 239i) + (95 \cdot \exp(-w \cdot 240i))/4 + 30 \cdot \exp(-w \cdot 241i) + (269 \cdot \exp(-w \cdot 242i))/4 + (65 \cdot \exp(-w \cdot 243i))/2 + (103 \cdot \exp(-w \cdot 244i))/4 + (79 \cdot \exp(-w \cdot 245i))/2 + (285 \cdot \exp(-w \cdot 246i))/4 + 71 \cdot \exp(-w \cdot 270i) + (85 \cdot \exp(-w \cdot 271i))/2 + 30 \cdot \exp(-w \cdot 272i) + 23 \cdot \exp(-w \cdot 273i) + 30 \cdot \exp(-w \cdot 274i) + (131 \cdot \exp(-w \cdot 275i))/2 + 30 \cdot \exp(-w \cdot 276i) + (49 \cdot \exp(-w \cdot 277i))/2 + 30 \cdot \exp(-w \cdot 278i) + 69 \cdot \exp(-w \cdot 279i)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_w = & 81 \cdot \exp(-w \cdot 1i) + 64 \cdot \exp(-w \cdot 2i) + (125 \cdot \exp(-w \cdot 3i))/2 + (247 \cdot \exp(-w \cdot 4i))/4 + (123 \cdot \exp(-w \cdot 5i))/2 + 64 \cdot \exp(-w \cdot 6i) + (141 \cdot \exp(-w \cdot 7i))/2 + (151 \cdot \exp(-w \cdot 8i))/2 + 87 \cdot \exp(-w \cdot 9i) + 101 \cdot \exp(-w \cdot 10i) + 62 \cdot \exp(-w \cdot 38i) + (119 \cdot \exp(-w \cdot 39i))/2 + 59 \cdot \exp(-w \cdot 40i) + 61 \cdot \exp(-w \cdot 41i) + 67 \cdot \exp(-w \cdot 42i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 43i) + (175 \cdot \exp(-w \cdot 44i))/2 + 98 \cdot \exp(-w \cdot 45i) + 63 \cdot \exp(-w \cdot 69i) + 64 \cdot \exp(-w \cdot 70i) + 63 \cdot \exp(-w \cdot 71i) + (125 \cdot \exp(-w \cdot 72i))/2 + (125 \cdot \exp(-w \cdot 73i))/2 + 64 \cdot \exp(-w \cdot 74i) + (137 \cdot \exp(-w \cdot 75i))/2 + (149 \cdot \exp(-w \cdot 76i))/2 +
 \end{aligned}$$

$(173*\exp(-w*77i))/2 + 95*\exp(-w*78i) + (201*\exp(-w*79i))/2 + (181*\exp(-w*113i))/2 + (135*\exp(-w*114i))/2 + (115*\exp(-w*115i))/2$
 $+ (135*\exp(-w*116i))/2 + (421*\exp(-w*117i))/4 + (427*\exp(-w*118i))/4 + (395*\exp(-w*121i))/4 + (133*\exp(-w*123i))/4 + (129*\exp(-w*146i))/2 + (173*\exp(-w*147i))/4 + (191*\exp(-w*148i))/2 + (251*\exp(-w*149i))/4 + (173*\exp(-w*150i))/2 + (135*\exp(-w*151i))/2 +$
 $107*\exp(-w*152i) + 107*\exp(-w*153i) + 107*\exp(-w*154i) + 40*\exp(-w*155i) + (109*\exp(-w*157i))/2 + (91*\exp(-w*159i))/4 +$
 $3*\exp(-w*160i) + 3*\exp(-w*161i) + 3*\exp(-w*162i) + 3*\exp(-w*163i) + 3*\exp(-w*164i) + 3*\exp(-w*165i) + 3*\exp(-w*166i) + 3*\exp(-w*167i) +$
 $3*\exp(-w*168i) + 3*\exp(-w*169i) + 3*\exp(-w*170i) + 3*\exp(-w*171i) + 3*\exp(-w*172i) + 3*\exp(-w*173i) + 3*\exp(-w*174i) + 3*\exp(-w*175i) +$
 $3*\exp(-w*176i) + 107*\exp(-w*177i) + 107*\exp(-w*178i) + 107*\exp(-w*179i) + 107*\exp(-w*180i) + 107*\exp(-w*181i) + 107*\exp(-w*182i) +$
 $56*\exp(-w*183i) + (201*\exp(-w*184i))/2 + 93*\exp(-w*185i) + (271*\exp(-w*186i))/4 + (377*\exp(-w*187i))/4 + 37*\exp(-w*214i) +$
 $37*\exp(-w*215i) + (105*\exp(-w*216i))/2 + (175*\exp(-w*217i))/2 + 16*\exp(-w*218i) + (361*\exp(-w*219i))/4 + (287*\exp(-w*220i))/4 + (195*\exp(-w*221i))/2$

$Xw=214*\exp(-w*1i) + 214*\exp(-w*2i) + 86*\exp(-w*3i) + 84*\exp(-w*4i) + (167*\exp(-w*5i))/2 + (167*\exp(-w*6i))/2 + (167*\exp(-w*7i))/2 +$
 $(167*\exp(-w*8i))/2 + 86*\exp(-w*9i) + 84*\exp(-w*10i) + 84*\exp(-w*11i) + 84*\exp(-w*12i) + 84*\exp(-w*13i) + (167*\exp(-w*21i))/2 + (167*\exp(-w*22i))/2 +$
 $(167*\exp(-w*23i))/2 + (167*\exp(-w*24i))/2 + (165*\exp(-w*25i))/2 + (165*\exp(-w*26i))/2 + 83*\exp(-w*27i) + 87*\exp(-w*28i) + 85*\exp(-w*29i) +$
 $84*\exp(-w*30i) + 84*\exp(-w*31i) + 84*\exp(-w*32i) + 85*\exp(-w*33i) + 98*\exp(-w*41i) + 98*\exp(-w*42i) + 96*\exp(-w*43i) + 94*\exp(-w*44i) +$
 $92*\exp(-w*45i) + (183*\exp(-w*46i))/2 + (185*\exp(-w*47i))/2 + 110*\exp(-w*48i) + 96*\exp(-w*49i) + 94*\exp(-w*50i) + 95*\exp(-w*51i) + 98*\exp(-w*52i) +$
 $102*\exp(-w*53i) + 98*\exp(-w*61i) + (193*\exp(-w*62i))/2 + 95*\exp(-w*63i) + (187*\exp(-w*64i))/2 + 92*\exp(-w*65i) + 92*\exp(-w*66i) + 94*\exp(-w*67i) + 109*\exp(-w*68i) +$
 $95*\exp(-w*69i) + 94*\exp(-w*70i) + 95*\exp(-w*71i) + 98*\exp(-w*72i) + 102*\exp(-w*73i) + 100*\exp(-w*111i) + 98*\exp(-w*112i) + 96*\exp(-w*113i) + 94*\exp(-w*114i) +$
 $(185*\exp(-w*115i))/2 + (183*\exp(-w*116i))/2 + 108*\exp(-w*117i) + 96*\exp(-w*118i) + 93*\exp(-w*119i) + (185*\exp(-w*120i))/2 + (189*\exp(-w*121i))/2 + 102*\exp(-w*122i) + 98*\exp(-w*160i) + 100*\exp(-w*161i) + 98*\exp(-w*162i) + (191*\exp(-w*163i))/2 + 94*\exp(-w*164i) + 92*\exp(-w*165i) + 95*\exp(-w*166i) + 117*\exp(-w*167i) + 105*\exp(-w*168i) + 96*\exp(-w*169i) + 94*\exp(-w*170i) + 96*\exp(-w*171i) + 103*\exp(-w*172i) + 101*\exp(-w*211i) + (197*\exp(-w*212i))/2 + 96*\exp(-w*213i) + (181*\exp(-w*214i))/2 + (181*\exp(-w*215i))/2 + 97*\exp(-w*216i) + 117*\exp(-w*217i) + 103*\exp(-w*218i) + (193*\exp(-w*219i))/2 + (189*\exp(-w*220i))/2 + 96*\exp(-w*221i) + (207*\exp(-w*222i))/2 + 103*\exp(-w*260i) + 100*\exp(-w*261i) + 97*\exp(-w*262i) + (191*\exp(-w*263i))/2 + (187*\exp(-w*264i))/2 + (185*\exp(-w*265i))/2 + 103*\exp(-w*266i) + 117*\exp(-w*267i) + 99*\exp(-w*268i) + (191*\exp(-w*269i))/2 + 95*\exp(-w*270i) + (195*\exp(-w*271i))/2 + 104*\exp(-w*272i) + 103*\exp(-w*310i) + (201*\exp(-w*311i))/2 + 98*\exp(-w*312i) + 94*\exp(-w*313i) + 92*\exp(-w*314i) + 92*\exp(-w*315i) + 103*\exp(-w*316i) + 114*\exp(-w*317i) + 96*\exp(-w*318i) + 94*\exp(-w*319i) + (189*\exp(-w*320i))/2 + 98*\exp(-w*321i) + 104*\exp(-w*322i) + (53*\exp(-w*333i))/2 + (3*\exp(-w*334i))/2 + (3*\exp(-w*335i))/2 + (3*\exp(-w*336i))/2 + (3*\exp(-w*337i))/2 + (3*\exp(-w*338i))/2 + (3*\exp(-w*339i))/2 + (3*\exp(-w*340i))/2 + (3*\exp(-w*341i))/2 + (3*\exp(-w*342i))/2 + (3*\exp(-w*343i))/2 + (3*\exp(-w*344i))/2 + (3*\exp(-w*345i))/2 + (3*\exp(-w*346i))/2 + (3*\exp(-w*347i))/2 + (3*\exp(-w*348i))/2 + (3*\exp(-w*349i))/2 + (3*\exp(-w*350i))/2 + (3*\exp(-w*351i))/2 + (3*\exp(-w*352i))/2 + (3*\exp(-w*353i))/2 + (3*\exp(-w*354i))/2 + (3*\exp(-w*355i))/2 + (3*\exp(-w*356i))/2 + (3*\exp(-w*357i))/2 + (3*\exp(-w*358i))/2 + 214*\exp(-w*359i) + 214*\exp(-w*360i) + (205*\exp(-w*361i))/2 + (199*\exp(-w*362i))/2 + 97*\exp(-w*363i) + 95*\exp(-w*364i) + (189*\exp(-w*365i))/2 + (237*\exp(-w*366i))/2 + 105*\exp(-w*367i) + (195*\exp(-w*368i))/2 + (193*\exp(-w*369i))/2 + 99*\exp(-w*370i) + 124*\exp(-w*371i) + 106*\exp(-w*410i) + 103*\exp(-w*411i) + 100*\exp(-w*412i) + 97*\exp(-w*413i) + (189*\exp(-w*414i))/2 + 98*\exp(-w*415i) + (231*\exp(-w*416i))/2 + 99*\exp(-w*417i) + (193*\exp(-w*418i))/2 + (193*\exp(-w*419i))/2 + 98*\exp(-w*420i) + 107*\exp(-w*421i) + 106*\exp(-w*459i) + 105*\exp(-w*460i) + 102*\exp(-w*461i) + 99*\exp(-w*462i) + 96*\exp(-w*463i) + 94*\exp(-w*464i) + 100*\exp(-w*465i) + 117*\exp(-w*466i) + 99*\exp(-w*467i) + (193*\exp(-w*468i))/2 + 97*\exp(-w*469i) + 102*\exp(-w*470i) + 106*\exp(-w*471i) + 105*\exp(-w*507i) + 102*\exp(-w*508i) + 99*\exp(-w*509i) + (193*\exp(-w*510i))/2 + 94*\exp(-w*511i) + 100*\exp(-w*512i) + 115*\exp(-w*513i) + 98*\exp(-w*514i) + (193*\exp(-w*515i))/2 + (193*\exp(-w*516i))/2 + (195*\exp(-w*517i))/2 + (213*\exp(-w*518i))/2 + 108*\exp(-w*557i) + 104*\exp(-w*558i) + 101*\exp(-w*559i) + 98*\exp(-w*560i) + 95*\exp(-w*561i) + 98*\exp(-w*562i) + (229*\exp(-w*563i))/2 + 100*\exp(-w*564i) + (193*\exp(-w*565i))/2 + 96*\exp(-w*566i) + 97*\exp(-w*567i) + (213*\exp(-w*568i))/2 + 108*\exp(-w*607i) + 104*\exp(-w*608i) + 100*\exp(-w*609i) + 97*\exp(-w*610i) + (189*\exp(-w*611i))/2 + 98*\exp(-w*612i) + 114*\exp(-w*613i) + 99*\exp(-w*614i) + (191*\exp(-w*615i))/2 + (191*\exp(-w*616i))/2 + 98*\exp(-w*617i) + 106*\exp(-w*618i) + 109*\exp(-w*656i) + 105*\exp(-w*657i) + 102*\exp(-w*658i) + 98*\exp(-w*659i) + 96*\exp(-w*660i) + (189*\exp(-w*661i))/2 + 104*\exp(-w*662i) + (231*\exp(-w*663i))/2 + 98*\exp(-w*664i) + 96*\exp(-w*665i) + (191*\exp(-w*666i))/2 + (199*\exp(-w*667i))/2 + 105*\exp(-w*668i) + 104*\exp(-w*706i) + (211*\exp(-w*707i))/2 + 101*\exp(-w*708i) + 96*\exp(-w*709i) + 107*\exp(-w*710i) + 100*\exp(-w*711i) + 95*\exp(-w*712i) + 89*\exp(-w*713i) + 85*\exp(-w*714i) + 82*\exp(-w*715i) + 75*\exp(-w*716i) + 98*\exp(-w*717i) + 105*\exp(-w*718i) + 108*\exp(-w*756i) + 104*\exp(-w*757i) + 101*\exp(-w*758i) + 97*\exp(-w*759i) + 94*\exp(-w*760i) + 97*\exp(-w*761i) + 113*\exp(-w*762i) + 101*\exp(-w*763i) + 95*\exp(-w*764i) + 94*\exp(-w*765i) + 96*\exp(-w*766i) + 99*\exp(-w*767i) + (211*\exp(-w*768i))/2 + (217*\exp(-w*805i))/2 + 106*\exp(-w*806i) + 103*\exp(-w*807i) + 99*\exp(-$

$$w*808i) + 96*\exp(-w*809i) + 94*\exp(-w*810i) + 100*\exp(-w*811i) + 115*\exp(-w*812i) + 98*\exp(-w*813i) + 95*\exp(-w*814i) + 95*\exp(-w*815i) + 98*\exp(-w*816i) + 105*\exp(-w*817i)$$

$$\begin{aligned} Xw = & (433*\exp(-w*1i))/8 + (109*\exp(-w*2i))/2 + (211*\exp(-w*3i))/4 + (101*\exp(-w*4i))/2 + 45*\exp(-w*5i) + 41*\exp(-w*6i) + \\ & (83*\exp(-w*7i))/2 + (83*\exp(-w*8i))/2 + (257*\exp(-w*9i))/4 + (245*\exp(-w*10i))/4 + (151*\exp(-w*11i))/4 + (143*\exp(-w*12i))/8 + \\ & (47*\exp(-w*13i))/2 + (233*\exp(-w*14i))/8 + 44*\exp(-w*21i) + (179*\exp(-w*22i))/4 + (91*\exp(-w*23i))/2 + (89*\exp(-w*24i))/2 + \\ & (161*\exp(-w*25i))/4 + 35*\exp(-w*26i) + (237*\exp(-w*27i))/8 + (227*\exp(-w*28i))/8 + (75*\exp(-w*29i))/2 + (233*\exp(-w*30i))/4 + \\ & (75*\exp(-w*31i))/2 + (81*\exp(-w*32i))/4 + (105*\exp(-w*33i))/4 + (63*\exp(-w*34i))/2 + (191*\exp(-w*41i))/4 + (195*\exp(-w*42i))/4 + \\ & (103*\exp(-w*43i))/2 + 50*\exp(-w*44i) + 46*\exp(-w*45i) + (81*\exp(-w*46i))/2 + (287*\exp(-w*47i))/8 + (273*\exp(-w*48i))/8 + \\ & 44*\exp(-w*49i) + (257*\exp(-w*50i))/4 + 44*\exp(-w*51i) + 22*\exp(-w*52i) + (55*\exp(-w*53i))/2 + (269*\exp(-w*54i))/8 + (191*\exp(-w*61i))/4 + \\ & (99*\exp(-w*62i))/2 + (407*\exp(-w*63i))/8 + (207*\exp(-w*64i))/4 + (187*\exp(-w*65i))/4 + 39*\exp(-w*66i) + 35*\exp(-w*67i) + \\ & (129*\exp(-w*68i))/4 + (161*\exp(-w*69i))/4 + (481*\exp(-w*70i))/8 + (161*\exp(-w*71i))/4 + (111*\exp(-w*72i))/4 + (283*\exp(-w*73i))/8 + \\ & (101*\exp(-w*102i))/2 + (105*\exp(-w*103i))/2 + (433*\exp(-w*104i))/8 + (219*\exp(-w*105i))/4 + 49*\exp(-w*106i) + 45*\exp(-w*107i) + \\ & (151*\exp(-w*108i))/4 + (267*\exp(-w*109i))/8 + (151*\exp(-w*110i))/4 + (127*\exp(-w*111i))/2 + (89*\exp(-w*112i))/2 + 25*\exp(-w*113i) + \\ & (137*\exp(-w*114i))/4 + (105*\exp(-w*149i))/2 + (109*\exp(-w*150i))/2 + (105*\exp(-w*151i))/2 + (105*\exp(-w*152i))/2 + 52*\exp(-w*153i) + \\ & (105*\exp(-w*154i))/2 + (433*\exp(-w*155i))/8 + (217*\exp(-w*156i))/4 + (219*\exp(-w*157i))/4 + (219*\exp(-w*158i))/4 + (223*\exp(-w*159i))/4 + \\ & (223*\exp(-w*160i))/4 + (231*\exp(-w*161i))/4 + (469*\exp(-w*162i))/8 + (471*\exp(-w*163i))/8 + 60*\exp(-w*164i) + (479*\exp(-w*165i))/8 + \\ & (119*\exp(-w*166i))/2 + (477*\exp(-w*167i))/8 + (241*\exp(-w*168i))/4 + (477*\exp(-w*169i))/8 + (495*\exp(-w*170i))/8 + (243*\exp(-w*171i))/4 + (237*\exp(-w*172i))/4 + (473*\exp(-w*173i))/8 + \\ & (461*\exp(-w*174i))/8 + (457*\exp(-w*175i))/8 + (451*\exp(-w*176i))/8 + (113*\exp(-w*177i))/2 + (431*\exp(-w*178i))/8 + (435*\exp(-w*179i))/8 + \\ & 51*\exp(-w*180i) + (103*\exp(-w*181i))/2 + (99*\exp(-w*182i))/2 + (191*\exp(-w*183i))/4 + (191*\exp(-w*184i))/4 + (181*\exp(-w*185i))/4 + \\ & (91*\exp(-w*186i))/2 + (179*\exp(-w*187i))/4 + (85*\exp(-w*188i))/2 + (181*\exp(-w*189i))/4 + (351*\exp(-w*190i))/8 + (89*\exp(-w*191i))/2 + \\ & (181*\exp(-w*192i))/4 + (93*\exp(-w*193i))/2 + 49*\exp(-w*194i) + (107*\exp(-w*195i))/2 + (113*\exp(-w*196i))/2 + (251*\exp(-w*197i))/4 + \\ & (257*\exp(-w*198i))/4 + (251*\exp(-w*199i))/4 + (253*\exp(-w*200i))/4 + (241*\exp(-w*201i))/4 + (231*\exp(-w*202i))/4 + (107*\exp(-w*203i))/2 + \\ & 47*\exp(-w*204i) + (173*\exp(-w*205i))/4 + (153*\exp(-w*206i))/4 + 34*\exp(-w*207i) + (125*\exp(-w*208i))/4 + (125*\exp(-w*209i))/4 + \\ & (123*\exp(-w*210i))/4 + (255*\exp(-w*211i))/8 + (67*\exp(-w*212i))/2 + 34*\exp(-w*213i) + 34*\exp(-w*214i) + 37*\exp(-w*215i) + \\ & (149*\exp(-w*216i))/4 + 39*\exp(-w*217i) + (85*\exp(-w*262i))/4 + (383*\exp(-w*263i))/20 + (397*\exp(-w*264i))/20 + (193*\exp(-w*265i))/10 + 25*\exp(-w*266i) + (257*\exp(-w*267i))/10 + \\ & (257*\exp(-w*268i))/10 + (257*\exp(-w*269i))/10 + (219*\exp(-w*270i))/20 + (147*\exp(-w*271i))/10 + (71*\exp(-w*272i))/5 + (307*\exp(-w*273i))/20 + \\ & (143*\exp(-w*274i))/10 + (277*\exp(-w*275i))/20 + (69*\exp(-w*276i))/5 + (267*\exp(-w*277i))/20 + (267*\exp(-w*278i))/20 + (137*\exp(-w*279i))/10 + \\ & (69*\exp(-w*280i))/5 + (147*\exp(-w*281i))/10 + (291*\exp(-w*282i))/20 + (297*\exp(-w*283i))/20 + (309*\exp(-w*284i))/20 + (83*\exp(-w*285i))/5 + \\ & (84*\exp(-w*286i))/5 + (88*\exp(-w*287i))/5 + (82*\exp(-w*288i))/5 + (63*\exp(-w*289i))/4 + 15*\exp(-w*290i) + (291*\exp(-w*291i))/20 + (78*\exp(-w*292i))/5 + (33*\exp(-w*293i))/2 + \\ & (31*\exp(-w*294i))/2 + (77*\exp(-w*295i))/5 + (289*\exp(-w*296i))/20 + (289*\exp(-w*297i))/20 + (279*\exp(-w*298i))/20 + (149*\exp(-w*299i))/10 + \\ & (277*\exp(-w*300i))/20 + (271*\exp(-w*301i))/20 + (29*\exp(-w*302i))/2 + (57*\exp(-w*303i))/4 + (297*\exp(-w*304i))/20 + 14*\exp(-w*305i) + (55*\exp(-w*306i))/4 + \\ & (287*\exp(-w*307i))/20 + (283*\exp(-w*308i))/20 + (57*\exp(-w*309i))/4 + (281*\exp(-w*310i))/20 + (147*\exp(-w*311i))/10 + (77*\exp(-w*312i))/5 + \\ & (311*\exp(-w*313i))/20 + (161*\exp(-w*314i))/10 + (82*\exp(-w*315i))/5 + (161*\exp(-w*316i))/10 + (78*\exp(-w*317i))/5 + (321*\exp(-w*318i))/20 + (69*\exp(-w*319i))/5 + \\ & (143*\exp(-w*320i))/10 + 14*\exp(-w*321i) + (117*\exp(-w*322i))/10 + (23*\exp(-w*323i))/2 + (221*\exp(-w*324i))/20 + (213*\exp(-w*325i))/20 + (221*\exp(-w*326i))/20 + \\ & (217*\exp(-w*327i))/20 + (221*\exp(-w*328i))/20 + (21*\exp(-w*329i))/2 + (109*\exp(-w*330i))/10 + (65*\exp(-w*416i))/4 + (319*\exp(-w*417i))/20 + \\ & (307*\exp(-w*418i))/20 + (311*\exp(-w*419i))/20 + (31*\exp(-w*420i))/2 + (79*\exp(-w*421i))/5 + (319*\exp(-w*422i))/20 + 17*\exp(-w*423i) + (161*\exp(-w*424i))/10 + \\ & (319*\exp(-w*425i))/20 + (167*\exp(-w*426i))/10 + (343*\exp(-w*427i))/20 + (167*\exp(-w*428i))/10 + (82*\exp(-w*429i))/5 + (327*\exp(-w*430i))/20 + \\ & (327*\exp(-w*431i))/20 + (351*\exp(-w*432i))/20 + 17*\exp(-w*433i) + 17*\exp(-w*434i) + (329*\exp(-w*435i))/20 + (331*\exp(-w*436i))/20 + \\ & (173*\exp(-w*437i))/10 + (75*\exp(-w*438i))/4 + (359*\exp(-w*439i))/20 + (88*\exp(-w*440i))/5 + (169*\exp(-w*441i))/10 + (353*\exp(-w*442i))/20 + (169*\exp(-w*443i))/10 + (81*\exp(-w*444i))/5 + \\ & 15*\exp(-w*445i) + (73*\exp(-w*446i))/5 + (69*\exp(-w*447i))/5 + (68*\exp(-w*448i))/5 + (257*\exp(-w*449i))/20 + (133*\exp(-w*450i))/10 + (269*\exp(-w*451i))/20 + \\ & (62*\exp(-w*452i))/5 + 12*\exp(-w*453i) + (62*\exp(-w*454i))/5 + (68*\exp(-w*455i))/5 + (287*\exp(-w*456i))/20 + (131*\exp(-w*457i))/10 + \\ & (127*\exp(-w*458i))/10 + (123*\exp(-w*459i))/10 + (23*\exp(-w*460i))/2 + (61*\exp(-w*461i))/5 + (121*\exp(-w*462i))/10 + (277*\exp(-w*463i))/20 + \\ & (137*\exp(-w*464i))/10 + (281*\exp(-w*465i))/20 + (293*\exp(-w*466i))/20 + (153*\exp(-w*467i))/10 + (313*\exp(-w*468i))/20 + \\ & (79*\exp(-w*469i))/5 + (317*\exp(-w*470i))/20 + (31*\exp(-w*471i))/2 + (281*\exp(-w*472i))/20 + (283*\exp(-w*473i))/20 + (25*\exp(-w*474i))/2 + \\ & 11*\exp(-w*475i) + (51*\exp(-w*476i))/5 + (49*\exp(-w*477i))/5 + (191*\exp(-w*478i))/20 + (201*\exp(-w*479i))/20 + (19*\exp(-w*480i))/2 + (99*\exp(-w*481i))/10 + (99*\exp(-w*482i))/10 \end{aligned}$$

$+ 11*\exp(-w*483i) + (157*\exp(-w*550i))/10 + (319*\exp(-w*551i))/20 + (74*\exp(-w*552i))/5 + (287*\exp(-w*553i))/20 + (303*\exp(-w*554i))/20 + (297*\exp(-w*555i))/20 + (297*\exp(-w*556i))/20 + (291*\exp(-w*557i))/20 + (291*\exp(-w*558i))/20 + (289*\exp(-w*559i))/20 + (147*\exp(-w*560i))/10 + (289*\exp(-w*561i))/20 + (151*\exp(-w*562i))/10 + (323*\exp(-w*563i))/20 + (161*\exp(-w*564i))/10 + (311*\exp(-w*565i))/20 + (77*\exp(-w*566i))/5 + (311*\exp(-w*567i))/20 + (31*\exp(-w*568i))/2 + (63*\exp(-w*569i))/4 + (311*\exp(-w*570i))/20 + (83*\exp(-w*571i))/5 + (87*\exp(-w*572i))/5 + (87*\exp(-w*573i))/5 + (331*\exp(-w*574i))/20 + (161*\exp(-w*575i))/10 + (81*\exp(-w*576i))/5 + (74*\exp(-w*577i))/5 + (297*\exp(-w*578i))/20 + (73*\exp(-w*579i))/5 + (149*\exp(-w*580i))/10 + (72*\exp(-w*581i))/5 + (69*\exp(-w*582i))/5 + (67*\exp(-w*583i))/5 + 13*\exp(-w*584i) + (62*\exp(-w*585i))/5 + (62*\exp(-w*586i))/5 + (61*\exp(-w*587i))/5 + (61*\exp(-w*588i))/5 + (239*\exp(-w*589i))/20 + 12*\exp(-w*590i) + 12*\exp(-w*591i) + (61*\exp(-w*592i))/5 + (61*\exp(-w*593i))/5 + 12*\exp(-w*594i) + 12*\exp(-w*595i) + (117*\exp(-w*596i))/10 + (59*\exp(-w*597i))/5 + (61*\exp(-w*598i))/5 + (63*\exp(-w*599i))/5 + (131*\exp(-w*600i))/10 + (133*\exp(-w*601i))/10 + (263*\exp(-w*602i))/20 + (62*\exp(-w*603i))/5 + (119*\exp(-w*604i))/10 + (233*\exp(-w*605i))/20 + (117*\exp(-w*606i))/10 + (233*\exp(-w*607i))/20 + (58*\exp(-w*608i))/5 + (229*\exp(-w*609i))/20 + (229*\exp(-w*610i))/20 + (229*\exp(-w*611i))/20 + (229*\exp(-w*612i))/20 + (231*\exp(-w*613i))/20 + (59*\exp(-w*614i))/5 + (239*\exp(-w*615i))/20 + (231*\exp(-w*616i))/20 + (231*\exp(-w*617i))/20 + (227*\exp(-w*618i))/20 + (229*\exp(-w*619i))/20 + (113*\exp(-w*620i))/10 + (59*\exp(-w*621i))/5 + (25*\exp(-w*622i))/2 + (17*\exp(-w*705i))/2 + (17*\exp(-w*706i))/2 + (257*\exp(-w*707i))/4 + (85*\exp(-w*708i))/4 + (83*\exp(-w*709i))/4 + (173*\exp(-w*710i))/8 + (93*\exp(-w*711i))/4 + (177*\exp(-w*712i))/8 + (187*\exp(-w*713i))/8 + 23*\exp(-w*714i) + 23*\exp(-w*715i) + (89*\exp(-w*716i))/4 + 23*\exp(-w*717i) + (89*\exp(-w*718i))/4 + (257*\exp(-w*719i))/4 + (93*\exp(-w*720i))/4 + (145*\exp(-w*721i))/4 + (71*\exp(-w*722i))/2 + (73*\exp(-w*723i))/2 + (131*\exp(-w*724i))/4 + (127*\exp(-w*725i))/4 + (119*\exp(-w*726i))/4 + (237*\exp(-w*727i))/8 + (117*\exp(-w*728i))/4 + (217*\exp(-w*729i))/8 + (111*\exp(-w*730i))/4 + 25*\exp(-w*731i) + (95*\exp(-w*732i))/4 + (97*\exp(-w*733i))/4 + 21*\exp(-w*734i) + 18*\exp(-w*735i) + 17*\exp(-w*736i) + (61*\exp(-w*737i))/4 + (123*\exp(-w*738i))/8 + 13*\exp(-w*739i) + 13*\exp(-w*740i) + 13*\exp(-w*741i) + (23*\exp(-w*742i))/2 + (89*\exp(-w*743i))/8 + (91*\exp(-w*744i))/8 + (25*\exp(-w*745i))/2 + 14*\exp(-w*746i) + (33*\exp(-w*747i))/2 + 18*\exp(-w*748i) + 20*\exp(-w*749i) + (165*\exp(-w*750i))/8 + 20*\exp(-w*751i) + (71*\exp(-w*752i))/4 + (27*\exp(-w*753i))/2 + 13*\exp(-w*754i) + (41*\exp(-w*755i))/4 + (37*\exp(-w*756i))/4 + (69*\exp(-w*757i))/8 + (33*\exp(-w*758i))/4 + (69*\exp(-w*759i))/8 + (33*\exp(-w*760i))/4 + (75*\exp(-w*761i))/8 + (37*\exp(-w*762i))/4 + 10*\exp(-w*763i) + (45*\exp(-w*764i))/4 + (49*\exp(-w*765i))/4 + (55*\exp(-w*766i))/4 + (115*\exp(-w*767i))/8 + 13*\exp(-w*768i) + (55*\exp(-w*769i))/4 + (55*\exp(-w*770i))/4 + (121*\exp(-w*771i))/8 + (121*\exp(-w*772i))/8 + (33*\exp(-w*773i))/2 + (95*\exp(-w*827i))/2 + (365*\exp(-w*828i))/8 + (181*\exp(-w*829i))/4 + (351*\exp(-w*830i))/8 + (349*\exp(-w*831i))/8 + (351*\exp(-w*832i))/8 + (181*\exp(-w*833i))/4 + 45*\exp(-w*834i) + (181*\exp(-w*835i))/4 + (363*\exp(-w*836i))/8 + (353*\exp(-w*837i))/8 + (353*\exp(-w*838i))/8 + (353*\exp(-w*839i))/8 + (359*\exp(-w*840i))/8 + (355*\exp(-w*841i))/8 + (89*\exp(-w*842i))/2 + (89*\exp(-w*843i))/2 + 44*\exp(-w*844i) + (347*\exp(-w*845i))/8 + (347*\exp(-w*846i))/8 + 42*\exp(-w*847i) + (163*\exp(-w*848i))/4 + (79*\exp(-w*849i))/2 + (75*\exp(-w*850i))/2 + (145*\exp(-w*851i))/4 + (137*\exp(-w*852i))/4 + (67*\exp(-w*853i))/2 + (123*\exp(-w*854i))/4 + 30*\exp(-w*855i) + (57*\exp(-w*856i))/2 + (109*\exp(-w*857i))/4 + (203*\exp(-w*858i))/8 + (203*\exp(-w*859i))/8 + (47*\exp(-w*860i))/2 + (93*\exp(-w*861i))/4 + (175*\exp(-w*862i))/8 + 22*\exp(-w*863i) + (173*\exp(-w*864i))/8 + (169*\exp(-w*865i))/8 + (169*\exp(-w*866i))/8 + (167*\exp(-w*867i))/8 + (99*\exp(-w*868i))/4 + 27*\exp(-w*869i) + (59*\exp(-w*870i))/2 + (61*\exp(-w*871i))/2 + (59*\exp(-w*872i))/2 + 28*\exp(-w*873i) + 25*\exp(-w*874i) + (91*\exp(-w*875i))/4 + (163*\exp(-w*876i))/8 + (163*\exp(-w*877i))/8 + (77*\exp(-w*878i))/4 + (147*\exp(-w*879i))/8 + (147*\exp(-w*880i))/8 + (147*\exp(-w*881i))/8 + (147*\exp(-w*882i))/8 + (147*\exp(-w*883i))/8 + (73*\exp(-w*884i))/4 + (75*\exp(-w*885i))/4 + (153*\exp(-w*886i))/8 + 19*\exp(-w*887i) + (41*\exp(-w*888i))/2 + (175*\exp(-w*889i))/8 + 22*\exp(-w*890i) + (99*\exp(-w*891i))/4 + (199*\exp(-w*892i))/8 + (199*\exp(-w*893i))/8 + (111*\exp(-w*894i))/4 + (113*\exp(-w*895i))/4 + (185*\exp(-w*938i))/4 + 49*\exp(-w*939i) + (189*\exp(-w*940i))/4 + (369*\exp(-w*941i))/8 + (371*\exp(-w*942i))/8 + (185*\exp(-w*943i))/4 + (373*\exp(-w*944i))/8 + (183*\exp(-w*945i))/4 + 46*\exp(-w*946i) + 46*\exp(-w*947i) + (185*\exp(-w*948i))/4 + (185*\exp(-w*949i))/4 + (369*\exp(-w*950i))/8 + (95*\exp(-w*951i))/2 + 48*\exp(-w*952i) + (377*\exp(-w*953i))/8 + (375*\exp(-w*954i))/8 + (375*\exp(-w*955i))/8 + (187*\exp(-w*956i))/4 + (365*\exp(-w*957i))/8 + (175*\exp(-w*958i))/4 + (85*\exp(-w*959i))/2 + (83*\exp(-w*960i))/2 + (79*\exp(-w*961i))/2 + (75*\exp(-w*962i))/2 + (145*\exp(-w*963i))/4 + 34*\exp(-w*964i) + (131*\exp(-w*965i))/4 + (121*\exp(-w*966i))/4 + 29*\exp(-w*967i) + (111*\exp(-w*968i))/4 + (53*\exp(-w*969i))/2 + 25*\exp(-w*970i) + (193*\exp(-w*971i))/8 + (91*\exp(-w*972i))/4 + (91*\exp(-w*973i))/4 + (45*\exp(-w*974i))/2 + (85*\exp(-w*975i))/4 + (87*\exp(-w*976i))/4 + (87*\exp(-w*977i))/4 + (47*\exp(-w*978i))/2 + (97*\exp(-w*979i))/4 + (55*\exp(-w*980i))/2 + (119*\exp(-w*981i))/4 + (123*\exp(-w*982i))/4 + (119*\exp(-w*983i))/4 + (51*\exp(-w*984i))/2 + (99*\exp(-w*985i))/4 + 22*\exp(-w*986i) + (177*\exp(-w*987i))/8 + (41*\exp(-w*988i))/2 + (39*\exp(-w*989i))/2 + 20*\exp(-w*990i) + (161*\exp(-w*991i))/8 + (161*\exp(-w*992i))/8 + 20*\exp(-w*993i) + 20*\exp(-w*994i) + (75*\exp(-w*995i))/4 + 20*\exp(-w*996i) + (165*\exp(-w*997i))/8 + (165*\exp(-w*998i))/8 + (85*\exp(-w*999i))/4 + (45*\exp(-w*1000i))/2 + (185*\exp(-w*1001i))/8 + 24*\exp(-w*1002i) + 25*\exp(-w*1003i) + (55*\exp(-w*1004i))/2 + (113*\exp(-w*1005i))/4 + (117*\exp(-w*1006i))/4$

$$\begin{aligned}
X_w = & 129 \cdot \exp(-w \cdot 1i) + (257 \cdot \exp(-w \cdot 2i))/2 + (3 \cdot \exp(-w \cdot 3i))/2 + (163 \cdot \exp(-w \cdot 4i))/2 + (133 \cdot \exp(-w \cdot 5i))/2 + 70 \cdot \exp(-w \cdot 6i) + \\
& (109 \cdot \exp(-w \cdot 7i))/2 + (101 \cdot \exp(-w \cdot 8i))/2 + 65 \cdot \exp(-w \cdot 9i) + (257 \cdot \exp(-w \cdot 10i))/2 + 65 \cdot \exp(-w \cdot 11i) + (43 \cdot \exp(-w \cdot 12i))/4 + 11 \cdot \exp(-w \cdot 13i) + \\
& 11 \cdot \exp(-w \cdot 14i) + 20 \cdot \exp(-w \cdot 15i) + 25 \cdot \exp(-w \cdot 16i) + 29 \cdot \exp(-w \cdot 22i) + (45 \cdot \exp(-w \cdot 23i))/2 + 19 \cdot \exp(-w \cdot 24i) + 15 \cdot \exp(-w \cdot 25i) + \\
& 12 \cdot \exp(-w \cdot 26i) + (19 \cdot \exp(-w \cdot 27i))/2 + 12 \cdot \exp(-w \cdot 28i) + 54 \cdot \exp(-w \cdot 29i) + 20 \cdot \exp(-w \cdot 30i) + (25 \cdot \exp(-w \cdot 31i))/2 + (47 \cdot \exp(-w \cdot 32i))/4 + \\
& 13 \cdot \exp(-w \cdot 33i) + (45 \cdot \exp(-w \cdot 34i))/2 + 33 \cdot \exp(-w \cdot 35i) + 226 \cdot \exp(-w \cdot 41i) + 145 \cdot \exp(-w \cdot 42i) + 136 \cdot \exp(-w \cdot 43i) + 120 \cdot \exp(-w \cdot 44i) + \\
& 100 \cdot \exp(-w \cdot 45i) + 91 \cdot \exp(-w \cdot 46i) + 100 \cdot \exp(-w \cdot 47i) + 257 \cdot \exp(-w \cdot 48i) + 145 \cdot \exp(-w \cdot 49i) + 67 \cdot \exp(-w \cdot 50i) + 59 \cdot \exp(-w \cdot 51i) + \\
& 67 \cdot \exp(-w \cdot 52i) + 85 \cdot \exp(-w \cdot 53i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 54i) + 150 \cdot \exp(-w \cdot 61i) + 131 \cdot \exp(-w \cdot 62i) + 122 \cdot \exp(-w \cdot 63i) + 105 \cdot \exp(-w \cdot 64i) + \\
& 80 \cdot \exp(-w \cdot 65i) + 59 \cdot \exp(-w \cdot 66i) + 80 \cdot \exp(-w \cdot 67i) + (487 \cdot \exp(-w \cdot 68i))/2 + 160 \cdot \exp(-w \cdot 69i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 70i) + 59 \cdot \exp(-w \cdot 71i) + \\
& 75 \cdot \exp(-w \cdot 72i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 73i) + 170 \cdot \exp(-w \cdot 74i) + 161 \cdot \exp(-w \cdot 81i) + 145 \cdot \exp(-w \cdot 82i) + 133 \cdot \exp(-w \cdot 83i) + 115 \cdot \exp(-w \cdot 84i) + \\
& 90 \cdot \exp(-w \cdot 85i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 86i) + 66 \cdot \exp(-w \cdot 87i) + 257 \cdot \exp(-w \cdot 88i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 89i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 90i) + 61 \cdot \exp(-w \cdot 91i) + \\
& 75 \cdot \exp(-w \cdot 92i) + 105 \cdot \exp(-w \cdot 93i) + 177 \cdot \exp(-w \cdot 94i) + 140 \cdot \exp(-w \cdot 100i) + 130 \cdot \exp(-w \cdot 101i) + 116 \cdot \exp(-w \cdot 102i) + 108 \cdot \exp(-w \cdot 103i) + \\
& 75 \cdot \exp(-w \cdot 104i) + 54 \cdot \exp(-w \cdot 105i) + 36 \cdot \exp(-w \cdot 106i) + 54 \cdot \exp(-w \cdot 107i) + 235 \cdot \exp(-w \cdot 108i) + 145 \cdot \exp(-w \cdot 109i) + 42 \cdot \exp(-w \cdot 110i) + \\
& 31 \cdot \exp(-w \cdot 111i) + 42 \cdot \exp(-w \cdot 112i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 113i) + 152 \cdot \exp(-w \cdot 114i) + 148 \cdot \exp(-w \cdot 121i) + 124 \cdot \exp(-w \cdot 122i) + 105 \cdot \exp(-w \cdot 123i) + \\
& 90 \cdot \exp(-w \cdot 124i) + 50 \cdot \exp(-w \cdot 125i) + 37 \cdot \exp(-w \cdot 126i) + 50 \cdot \exp(-w \cdot 127i) + 230 \cdot \exp(-w \cdot 128i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 129i) + 41 \cdot \exp(-w \cdot 130i) + \\
& 33 \cdot \exp(-w \cdot 131i) + 41 \cdot \exp(-w \cdot 132i) + 90 \cdot \exp(-w \cdot 133i) + (311 \cdot \exp(-w \cdot 134i))/2 + 154 \cdot \exp(-w \cdot 141i) + 135 \cdot \exp(-w \cdot 142i) + 110 \cdot \exp(-w \cdot 143i) + \\
& 82 \cdot \exp(-w \cdot 144i) + 55 \cdot \exp(-w \cdot 145i) + (81 \cdot \exp(-w \cdot 146i))/2 + 55 \cdot \exp(-w \cdot 147i) + 234 \cdot \exp(-w \cdot 148i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 149i) + 42 \cdot \exp(-w \cdot 150i) + 34 \cdot \exp(-w \cdot 151i) + 42 \cdot \exp(-w \cdot 152i) + \\
& 90 \cdot \exp(-w \cdot 153i) + (323 \cdot \exp(-w \cdot 154i))/2 + (323 \cdot \exp(-w \cdot 161i))/2 + 135 \cdot \exp(-w \cdot 162i) + 123 \cdot \exp(-w \cdot 163i) + 85 \cdot \exp(-w \cdot 164i) + 65 \cdot \exp(-w \cdot 165i) + \\
& (93 \cdot \exp(-w \cdot 166i))/2 + 65 \cdot \exp(-w \cdot 167i) + 245 \cdot \exp(-w \cdot 168i) + 100 \cdot \exp(-w \cdot 169i) + 45 \cdot \exp(-w \cdot 170i) + (67 \cdot \exp(-w \cdot 171i))/2 + 45 \cdot \exp(-w \cdot 172i) + \\
& 80 \cdot \exp(-w \cdot 173i) + (329 \cdot \exp(-w \cdot 174i))/2 + 170 \cdot \exp(-w \cdot 180i) + 157 \cdot \exp(-w \cdot 181i) + 141 \cdot \exp(-w \cdot 182i) + 120 \cdot \exp(-w \cdot 183i) + 85 \cdot \exp(-w \cdot 184i) + \\
& 61 \cdot \exp(-w \cdot 185i) + 44 \cdot \exp(-w \cdot 186i) + 61 \cdot \exp(-w \cdot 187i) + 236 \cdot \exp(-w \cdot 188i) + 80 \cdot \exp(-w \cdot 189i) + 41 \cdot \exp(-w \cdot 190i) + 34 \cdot \exp(-w \cdot 191i) + \\
& 41 \cdot \exp(-w \cdot 192i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 193i) + (331 \cdot \exp(-w \cdot 194i))/2 + 178 \cdot \exp(-w \cdot 200i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 201i) + 142 \cdot \exp(-w \cdot 202i) + 110 \cdot \exp(-w \cdot 203i) + \\
& 85 \cdot \exp(-w \cdot 204i) + 56 \cdot \exp(-w \cdot 205i) + (93 \cdot \exp(-w \cdot 206i))/2 + 56 \cdot \exp(-w \cdot 207i) + 241 \cdot \exp(-w \cdot 208i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 209i) + 42 \cdot \exp(-w \cdot 210i) + \\
& (69 \cdot \exp(-w \cdot 211i))/2 + 42 \cdot \exp(-w \cdot 212i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 213i) + 167 \cdot \exp(-w \cdot 214i) + 180 \cdot \exp(-w \cdot 220i) + 164 \cdot \exp(-w \cdot 221i) + 148 \cdot \exp(-w \cdot 222i) + \\
& 115 \cdot \exp(-w \cdot 223i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 224i) + 67 \cdot \exp(-w \cdot 225i) + 48 \cdot \exp(-w \cdot 226i) + 67 \cdot \exp(-w \cdot 227i) + (491 \cdot \exp(-w \cdot 228i))/2 + 70 \cdot \exp(-w \cdot 229i) + 36 \cdot \exp(-w \cdot 230i) + \\
& 41 \cdot \exp(-w \cdot 231i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 232i) + 172 \cdot \exp(-w \cdot 233i) + (375 \cdot \exp(-w \cdot 241i))/2 + 166 \cdot \exp(-w \cdot 242i) + 140 \cdot \exp(-w \cdot 243i) + 115 \cdot \exp(-w \cdot 244i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 245i) + \\
& (103 \cdot \exp(-w \cdot 246i))/2 + 70 \cdot \exp(-w \cdot 247i) + 257 \cdot \exp(-w \cdot 248i) + 100 \cdot \exp(-w \cdot 249i) + 49 \cdot \exp(-w \cdot 250i) + 39 \cdot \exp(-w \cdot 251i) + 49 \cdot \exp(-w \cdot 252i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 253i) + \\
& 176 \cdot \exp(-w \cdot 254i) + (387 \cdot \exp(-w \cdot 260i))/2 + 181 \cdot \exp(-w \cdot 261i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 262i) + 135 \cdot \exp(-w \cdot 263i) + 101 \cdot \exp(-w \cdot 264i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 265i) + \\
& 54 \cdot \exp(-w \cdot 266i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 267i) + 257 \cdot \exp(-w \cdot 268i) + 100 \cdot \exp(-w \cdot 269i) + 50 \cdot \exp(-w \cdot 270i) + 40 \cdot \exp(-w \cdot 271i) + 50 \cdot \exp(-w \cdot 272i) + 100 \cdot \exp(-w \cdot 273i) + \\
& 179 \cdot \exp(-w \cdot 274i) + (399 \cdot \exp(-w \cdot 280i))/2 + 184 \cdot \exp(-w \cdot 281i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 282i) + 133 \cdot \exp(-w \cdot 283i) + 95 \cdot \exp(-w \cdot 284i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 285i) + 55 \cdot \exp(-w \cdot 286i) + \\
& 75 \cdot \exp(-w \cdot 287i) + (511 \cdot \exp(-w \cdot 288i))/2 + 70 \cdot \exp(-w \cdot 289i) + (77 \cdot \exp(-w \cdot 290i))/2 + 41 \cdot \exp(-w \cdot 291i) + 70 \cdot \exp(-w \cdot 292i) + 110 \cdot \exp(-w \cdot 293i) + 177 \cdot \exp(-w \cdot 294i) + \\
& 220 \cdot \exp(-w \cdot 416i) + 196 \cdot \exp(-w \cdot 417i) + 183 \cdot \exp(-w \cdot 418i) + 175 \cdot \exp(-w \cdot 419i) + 169 \cdot \exp(-w \cdot 420i) + 163 \cdot \exp(-w \cdot 421i) + 159 \cdot \exp(-w \cdot 422i) + 155 \cdot \exp(-w \cdot 423i) + \\
& 151 \cdot \exp(-w \cdot 424i) + 138 \cdot \exp(-w \cdot 425i) + 132 \cdot \exp(-w \cdot 426i) + 137 \cdot \exp(-w \cdot 427i) + 135 \cdot \exp(-w \cdot 428i) + 123 \cdot \exp(-w \cdot 429i) + 125 \cdot \exp(-w \cdot 430i) + 103 \cdot \exp(-w \cdot 431i) + \\
& (223 \cdot \exp(-w \cdot 432i))/2 + 108 \cdot \exp(-w \cdot 433i) + (191 \cdot \exp(-w \cdot 434i))/2 + (193 \cdot \exp(-w \cdot 435i))/2 + 78 \cdot \exp(-w \cdot 436i) + 78 \cdot \exp(-w \cdot 437i) + 65 \cdot \exp(-w \cdot 438i) + 61 \cdot \exp(-w \cdot 439i) + 62 \cdot \exp(-w \cdot 440i) + \\
& 45 \cdot \exp(-w \cdot 441i) + 40 \cdot \exp(-w \cdot 442i) + (89 \cdot \exp(-w \cdot 443i))/2 + 37 \cdot \exp(-w \cdot 444i) + 28 \cdot \exp(-w \cdot 445i) + (63 \cdot \exp(-w \cdot 446i))/2 + (65 \cdot \exp(-w \cdot 447i))/2 + 38 \cdot \exp(-w \cdot 448i) + \\
& 44 \cdot \exp(-w \cdot 449i) + 65 \cdot \exp(-w \cdot 450i) + 85 \cdot \exp(-w \cdot 451i) + 120 \cdot \exp(-w \cdot 452i) + 150 \cdot \exp(-w \cdot 453i) + 175 \cdot \exp(-w \cdot 454i) + (375 \cdot \exp(-w \cdot 455i))/2 + 175 \cdot \exp(-w \cdot 456i) + \\
& 125 \cdot \exp(-w \cdot 457i) + 90 \cdot \exp(-w \cdot 458i) + 55 \cdot \exp(-w \cdot 459i) + 45 \cdot \exp(-w \cdot 460i) + 32 \cdot \exp(-w \cdot 461i) + 27 \cdot \exp(-w \cdot 462i) + 23 \cdot \exp(-w \cdot 463i) + 53 \cdot \exp(-w \cdot 464i) + (113 \cdot \exp(-w \cdot 465i))/2 + (113 \cdot \exp(-w \cdot 466i))/2 + \\
& (113 \cdot \exp(-w \cdot 467i))/2 + (113 \cdot \exp(-w \cdot 468i))/2 + (113 \cdot \exp(-w \cdot 469i))/2 + 58 \cdot \exp(-w \cdot 470i) + 58 \cdot \exp(-w \cdot 471i) + (121 \cdot \exp(-w \cdot 472i))/2 + (121 \cdot \exp(-w \cdot 473i))/2 + 64 \cdot \exp(-w \cdot 474i) + \\
& 67 \cdot \exp(-w \cdot 475i) + 71 \cdot \exp(-w \cdot 476i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 477i) + 82 \cdot \exp(-w \cdot 478i) + 88 \cdot \exp(-w \cdot 479i) + 97 \cdot \exp(-w \cdot 480i) + 105 \cdot \exp(-w \cdot 481i) + 112 \cdot \exp(-w \cdot 482i) + 120 \cdot \exp(-w \cdot 483i) + 125 \cdot \exp(-w \cdot 484i) + 132 \cdot \exp(-w \cdot 485i) + \\
& 137 \cdot \exp(-w \cdot 486i) + 141 \cdot \exp(-w \cdot 487i) + (469 \cdot \exp(-w \cdot 547i))/2 + 230 \cdot \exp(-w \cdot 548i) + 222 \cdot \exp(-w \cdot 549i) + 217 \cdot \exp(-w \cdot 550i) + 211 \cdot \exp(-w \cdot 551i) + 208 \cdot \exp(-w \cdot 552i) + 206 \cdot \exp(-w \cdot 553i) + 189 \cdot \exp(-w \cdot 554i) + 185 \cdot \exp(-w \cdot 555i) + 189 \cdot \exp(-w \cdot 556i) + 189 \cdot \exp(-w \cdot 557i) + 191 \cdot \exp(-w \cdot 558i) + 180 \cdot \exp(-w \cdot 559i) + (357 \cdot \exp(-w \cdot 560i))/2 + (355 \cdot \exp(-w \cdot 561i))/2 + 175 \cdot \exp(-w \cdot 562i) + 170 \cdot \exp(-w \cdot 563i) + (341 \cdot \exp(-w \cdot 564i))/2 + 171 \cdot \exp(-w \cdot 565i) + (325 \cdot \exp(-w \cdot 566i))/2 + 163 \cdot \exp(-w \cdot 567i) + 163 \cdot \exp(-w \cdot 568i) + (325 \cdot \exp(-w \cdot 569i))/2 + 160 \cdot \exp(-w \cdot 570i) + 160 \cdot \exp(-w \cdot 571i) + 159 \cdot \exp(-w \cdot 572i) + 149 \cdot \exp(-w \cdot 573i) + 147 \cdot \exp(-w \cdot 574i) + 143 \cdot \exp(-w \cdot 575i) + (287 \cdot \exp(-w \cdot 576i))/2 + 144 \cdot \exp(-w \cdot 577i) + (283 \cdot \exp(-w \cdot 578i))/2 + (275 \cdot \exp(-w \cdot 579i))/2 + 133 \cdot \exp(-w \cdot 580i) + 130 \cdot \exp(-w \cdot 581i) + (253 \cdot \exp(-w \cdot 582i))/2 + 124 \cdot \exp(-w \cdot 583i) + 120 \cdot \exp(-w \cdot 584i) + 117 \cdot \exp(-w \cdot 585i) + 114 \cdot \exp(-w \cdot 586i) + 110 \cdot \exp(-w \cdot 587i) + 91 \cdot \exp(-w \cdot 588i) + 88 \cdot \exp(-w \cdot 589i) + 84 \cdot \exp(-w \cdot 590i) + (175 \cdot \exp(-w \cdot 591i))/2 + (179 \cdot \exp(-w \cdot 592i))/2 + 89 \cdot \exp(-w \cdot 593i) + 85 \cdot \exp(-w \cdot 594i) + 83 \cdot \exp(-w \cdot 595i) + (163 \cdot \exp(-w \cdot 596i))/2 + (159 \cdot \exp(-w \cdot 597i))/2 + 77 \cdot \exp(-w \cdot 598i) + 75 \cdot \exp(-w \cdot 599i) + 73 \cdot \exp(-w \cdot 600i)
\end{aligned}$$

+ 71*exp(-w*601i) + 68*exp(-w*602i) + 66*exp(-w*603i) + 65*exp(-w*604i) + 64*exp(-w*605i) + 63*exp(-w*606i) + 62*exp(-w*607i) + 62*exp(-w*608i) + 62*exp(-w*609i) + (127*exp(-w*610i))/2 + (133*exp(-w*611i))/2 + 71*exp(-w*612i) + 81*exp(-w*613i) + 87*exp(-w*614i) + 95*exp(-w*615i) + 110*exp(-w*616i) + 120*exp(-w*617i) + 144*exp(-w*618i) + 155*exp(-w*619i) + 175*exp(-w*620i) + 188*exp(-w*621i) + 200*exp(-w*622i) + (407*exp(-w*623i))/2 + 200*exp(-w*624i) + 185*exp(-w*625i) + 170*exp(-w*626i) + 145*exp(-w*627i) + 125*exp(-w*628i) + 107*exp(-w*629i) + 90*exp(-w*630i) + 80*exp(-w*631i) + 67*exp(-w*632i) + 59*exp(-w*633i) + 54*exp(-w*634i) + 48*exp(-w*635i) + 42*exp(-w*636i) + 40*exp(-w*637i) + 38*exp(-w*638i) + 37*exp(-w*639i) + 33*exp(-w*640i) + 35*exp(-w*641i) + 35*exp(-w*642i) + 39*exp(-w*643i) + 40*exp(-w*644i) + (79*exp(-w*645i))/2 + 39*exp(-w*646i) + (79*exp(-w*647i))/2 + (79*exp(-w*648i))/2 + (77*exp(-w*649i))/2 + (77*exp(-w*650i))/2 + 39*exp(-w*651i) + (79*exp(-w*652i))/2 + 39*exp(-w*653i) + 40*exp(-w*654i) + 40*exp(-w*655i) + 41*exp(-w*656i) + 41*exp(-w*657i) + (85*exp(-w*658i))/2 + (85*exp(-w*659i))/2 + (87*exp(-w*660i))/2 + (91*exp(-w*661i))/2 + 47*exp(-w*662i) + 49*exp(-w*663i) + (101*exp(-w*664i))/2 + (105*exp(-w*665i))/2 + 53*exp(-w*666i) + (113*exp(-w*667i))/2 + (117*exp(-w*668i))/2 + 62*exp(-w*669i) + 64*exp(-w*670i) + (127*exp(-w*671i))/2 + (127*exp(-w*672i))/2 + 59*exp(-w*673i) + 62*exp(-w*674i) + 75*exp(-w*675i) + 84*exp(-w*676i) + 81*exp(-w*677i) + 84*exp(-w*678i) + 90*exp(-w*679i) + 93*exp(-w*680i) + 96*exp(-w*681i) + 98*exp(-w*682i) + 95*exp(-w*683i) + (197*exp(-w*684i))/2 + 101*exp(-w*685i) + (205*exp(-w*686i))/2 + 103*exp(-w*687i) + 104*exp(-w*688i)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ-ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ (TROUBLESHOOTING)

Heron I-01

Πρόβλημα [Windows XP Activation Loop \(Can't log-on to Windows desktop\)](#).εφόσον δοκίμασα πιθανές λύσεις, που προτείνονται στο διαδίκτυο εν τέλει άλλαξα product key.πιθανόν το πρώτο να ήταν για πιο παλιά έκδοση των WindowsXP.

Heron I-02

Δεν έχουν ενεργοποιηθεί τα windows. Ο πρώτος υπολογιστής HeronΠ02 είχε επεξεργαστή Intel Pentium 4, 2800 MHz (21 x 133), μνήμη 1 GB PC3200 DDR SDRAM και κάρτα γραφικών NVIDIA RIVA TNT2 Model 64/Model 64 Pro (Microsoft Corporation)(16 MB), σκληρό δίσκο χωρητικότητας 40GB.

Έπειτα από αρκετή σκέψη και έρευνα, καταλήξαμε στην διαδικασία WIndowsDualBoot . Προσθέσαμε 1gb Ram για να έχουμε σύνολο 2gb. Ξεκινήσαμε την διαδικασία χωρίζοντας το σκληρό δίσκο αυθαίρετα σε 2 ισόποσα μέρη (Partitions). Εγκαταστήσαμε τα Windows XP Professional στο πρώτο μέρος του δίσκου με μοναδικό εμπόδιο την επικύρωσή τους. Οι server έχουν κλείσει πλέον και η επικύρωση γίνεται με τηλεφωνική ηχογραφημένη επικοινωνία. Έπειτα στο δεύτερο μισό του δίσκου, δοκίμασα να εγκαταστήσω τα Ubuntu 12.04, όπου ξεκίνησαν τα προβλήματα.

Κατά την εγκατάσταση του Ubuntu, αντιλήφθηκα ότι το ποντίκι δεν ανταποκρινόταν φυσιολογικά. Η οθόνη γέμισε κέρσορες και καμένα pixels.

Αρχικά εγκατέστησα το Ubuntu 11.10, τα οποία δοκίμασε ο συνεργάτης σε παρόμοιο μηχάνημα(Η διαφορά ήταν στην κάρτα γραφικών που χρησιμοποιούσα στο δικό μου μηχάνημα, ενώ αυτός είχε την on-board) και λειτούργησαν κανονικά, εγώ όμως αντιμετώπιζα το ίδιο πρόβλημα. Έπειτα από πολύωρη αναζήτηση στο διαδίκτυο.. αντιλήφθηκα ότι η κάρτα γραφικών δημιουργούσε το πρόβλημα, οπότε την αντικατέστησα με μία Matrox G400 Millennium, και επανεκκίνησα το Ubuntu 11.10. Πλέον το ποντίκι ανταποκρινόταν κανονικά..

Δοκιμάσαμε κάποιες εκδόσεις Ubuntu ξεκινώντας από την 16.10, όπου η εγκατάσταση δεν έγινε ποτέ. Έπειτα δοκιμάσαμε τα 16.04 συνέβη το ίδιο σενάριο με πριν. Εν συνεχεία, οι εκδόσεις 15.10 , 15.04, 14.10 εγκαταστάθηκαν επιτυχώς, αλλά το μηχάνημα σερόνταν. Τελικά, καταλήξαμε στο Ubuntu 12.04 LTS (Long Terms Support) με επιτυχή εγκατάσταση.

Επίσης έγινε αλλαγή της θερμονωτικής κόλλας στον επεξεργαστή και προσθέσαμε ανεμιστηράκι για εισαγωγή αέρα στη μονάδα.

Heron_II_03

Είναι το δεύτερο μηχάνημα. Με μια πρώτη ματιά, φαίνονται όλα στη θέση τους, πατώντας όμως το κουμπί εκκίνησης δεν έδινε σήμα. Ο υπολογιστής δεν άναβε. Ξεκινήσαμε το ψάξιμο από τα καλώδια του κουμπιού PW SW. Οι δοκιμές ξεκίνησαν... μνήμες εκτός.. δίσκος εκτός.. Cd-dvd εκτός. Και πάλι το μηχάνημα δεν ανοίγει.. Αλλαγή μπαταρίας μητρικής, υπάρχει ελαφριάς μορφής οξύδωση και είχε αρχίσει να φουσκώνει. Και πάλι τίποτα.. Ο μοναδικός τρόπος εκκίνησης ήταν βραχυκυκλώνοντας στο καλώδιο παροχής ρεύματος (20-pin αντάπτορας του τροφοδοτικού) το pin του Power_On# με την γείωση (COM). Έχοντας βραχυκυκλώσει με ένα τσιμπιδάκι, έχουμε το μηχάνημα ανοιχτό και τεστάρουμε τα κουμπιά εκκίνησης και reset, τα οποία έδειξαν να λειτουργούν κανονικά. Δοκιμάζοντας μνήμες και με αναζήτηση στο διαδίκτυο.. αντιλαμβανομαίότι ανοίγοντας το μηχάνημα τα μπιπ εκκίνησης, με οδηγούν σε πρόβλημα στην κάρτα γραφικών, την οποία αντικαταστήσαμε. Πατήσαμε πάλι το κουμπί εκκίνησης και το μηχάνημα λειτούργησε!

Αλυτο Πρόβλημα

Δεν αποθηκεύει τις ρυθμίσεις ώρας και ημερομηνίας όταν κλείσουμε τον κεντρικό διακόπτη τροφοδοσίας ρεύματος ή αφαιρέσουμε το καλώδιο. Έγιναν δοκιμές με μπαταρία, επαναφορά αρχικών ρυθμίσεων της μητρικής με το jumper clrtc. Έγινε Update στο bios από την έκδοση 1006 σε 1015. Έπειτα από πολλές δοκιμές, και αναζήτηση στο διαδίκτυο, σκέφτηκα ότι κάτι συμβαίνει με την μπαταρία. Τα μηχανήματα βρίσκονταν πολύ καιρό εκτός λειτουργίας..σε περιβάλλον με υγρασία και σκόνη. Παίρνω ένα πολύμετρο να μετρήσω την τάση της μπαταρίας. Τοποθετώ το κόκκινο(+) του πολυμέτρου στην μπαταρία και το μαύρο (-) στο σασί. Κάνοντας 2-3 επανεκκινήσεις παρατήρησα ότι η τάση στην μπαταρία μηδένιζε(πιθανότατα να μην έκανα σωστή γείωση και να έχανε επαφή). Ωστόσο πίεσα με το δάχτυλο την μπαταρία και έκλεισα το pc , αφαίρεσα την τροφοδοσία, περίμενα 1-2 λεπτά και μετά το άνοιξα.. κανένα πρόβλημα.. μπήκε στα windows κανονικά.. Εν τέλει τοποθέτησα μια σφήνα στην μπαταρία.

Heron_II_04

Στο μηχάνημα αυτό δεν μπορούσα να κάνω boot από usb, οπότε η διαδικασία εγκατάστασης ubuntu έγινε μέσω dvd. Προσθεσα ένα dvd driver.