



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μελέτη και πρόβλεψη απόδοσης αλγορίθμων επίλυσης MINLP  
μοντέλου εισαγωγής και ανάθεσης εργασιών σε περιβάλλοντα  
υπολογιστικού νέφους**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Ε. Ψύχας**

**Επιβλέπων :** Θεοδώρα Βαρβαρίγου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μελέτη και πρόβλεψη απόδοσης αλγορίθμων επίλυσης MINLP  
μοντέλου εισαγωγής και ανάθεσης εργασιών σε περιβάλλοντα  
υπολογιστικού νέφους**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Ε. Ψύχας**

**Επιβλέπων :** Θεοδώρα Βαρβαρίγου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τη

2011.

.....  
Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....  
Βασίλειος Λούμος  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Συμεών Παπαβασιλείου  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

.....  
Κωνσταντίνος Ε. Ψύχας

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

Copyright © Κωνσταντίνος Ψύχας, 2011.

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.

## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η μελέτη διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν το χρόνο απόκρισης και την ποιότητα της λύσης ενός μοντέλου του GAMS που υπολογίζει την ανάθεση των εργασιών μιας υπηρεσίας στους υπολογιστές ενός διακομιστή νέφους (cloud server).

Η μελέτη αυτή γίνεται για διάφορους επιλυτές (solvers) που μπορούν να επιλύσουν το μοντέλο με σκοπό να κατασκευάσουμε ένα σύστημα που να εκτιμάει το χρόνο απόκρισης και την ποιότητα για τον καθένα και να επιλέγει τον καλύτερο για να λύσει το πρόβλημα.

Αρχικά αναλύουμε τις παραμέτρους του μοντέλου και επισημαίνουμε τις πιο σημαντικές. Στη συνέχεια παίρνουμε κατάλληλες μετρήσεις που θα μας δώσουν μια εικόνα για την επίδραση της κάθε παραμέτρου στο χρόνο απόκρισης των αλγορίθμων. Παράλληλα όμως θα μας βοηθήσουν στην εκτίμηση των χρόνων για εισόδους του μοντέλου που δεν έχουμε εξετάσει. Τέλος δημιουργούμε συστήματα βασισμένα σε ένα ασαφές πλαίσιο για την υλοποίηση της πρόβλεψης και επιλογής του βέλτιστου επιλυτή με βάση την τιμή των παραμέτρων του μοντέλου που έχουν ληφθεί σαν είσοδοι του συστήματος. Για λόγους σύγκρισης χρησιμοποιούμε και τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.

**Λέξεις Κλειδιά:** GAMS, Cloud Computing, Εικονική Μηχανή (Virtual Machine-VM), Επιλυτής, Solver, Ασαφής Λογική, Σύστημα Συμπερασμού Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Inference System-FIS), MINLP, πρόβλεψη

## **Abstract**

The main purpose of this project is the study of various factors that affect runtime and quality of the solution of a GAMS model which computes the admission of processes of a service to the hosts of a cloud server.

The study is taken place for different solvers that are able to solve that model, aiming at the construction of a system that estimates the runtime for each one of them and chooses the best one to solve the problem.

At the beginning, model parameters are analyzed and the most important are highlighted. Then specific measurements are taken in order to visualize and quantify the effect of each parameter in runtime of algorithms. Furthermore the measurements will aid in runtime and quality estimations. Finally fuzzy systems are constructed that implement the prediction and selection of the best solver based on values of model's parameters that are taken as inputs of the system. For comparison we also predict quality and time with linear regression

**Key Words: GAMS, Cloud Computing, Virtual Machine, VM, Solver, Fuzzy Logic, Fuzzy Inference System, FIS, MINLP, prediction**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Γιώργο Κουσιουρή που επέβλεψε την εργασία αυτή και βοήθησε σε κάθε στάδιο της όπως και τη διδάκτορα Κλεοπάτρα Κωνσταντέλη που παρόμοια βοήθησε σε σημαντικά σημεία της εργασίας και η οποία έγραψε και το μοντέλο του GAMS που χρησιμοποιήθηκε.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω και την καθηγήτρια Θεοδώρα Βαρβαρίγου που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το ενδιαφέρον αυτό θέμα και ήταν πάντα πρόθυμη να παρέχει τη στήριξη της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους γονείς μου, που πάντα με ενισχύουν και με υποστηρίζουν σε όλα τα στάδια της ζωής μου.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>12</b>
1.1	Το Σύστημα Μοντελοποίησης GAMS .....	12
1.2	Οι Επιλυτές.....	12
1.3	Το Μοντέλο .....	12
<b>2</b>	<b>Σχετικές Εργασίες.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Παράμετροι .....</b>	<b>15</b>
3.1	Παράμετροι Προβλήματος .....	15
3.1.1	Σύνολα.....	15
3.1.2	Βαθμωτά Μεγέθη .....	15
3.1.3	Παράμετροι Λίστες.....	16
3.1.4	Πίνακες.....	17
3.2	Εξεταζόμενες παράμετροι .....	17
<b>4</b>	<b>Επιλυτές.....</b>	<b>19</b>
4.1	Επιλυτές για MINLP προβλήματα[4][8] .....	19
4.2	Βοηθητικοί επιλυτές[4] .....	22
4.3	Ο επιλυτής BENCH[4] .....	23
<b>5</b>	<b>Μετρήσεις .....</b>	<b>24</b>
5.1	Διαδικασία.....	24
5.1.1	Πιθανές Μέθοδοι.....	24
5.1.2	Βασική Διάταξη & Στάθμες.....	25
5.1.3	Υποδομή .....	25
5.1.4	Λεπτομέρειες Διαδικασίας Μετρήσεων .....	26
5.2	Αποτελέσματα .....	27
5.2.1	AlphaECP.....	27
5.2.2	BARON.....	30
5.2.3	CoinBonmin.....	32
5.2.4	CoinCouenne.....	34
5.2.5	DICOPT .....	36
5.2.6	KNITRO .....	39
5.2.7	LindoGlobal .....	39
5.2.8	OQNLP .....	41
5.2.9	SBB.....	41
<b>6</b>	<b>Πρόβλεψη Χρόνου Απόκρισης και Ποιότητας Λύσης.....</b>	<b>45</b>



6.1	Δεδομένα για την Πρόβλεψη .....	45
6.2	Χαρακτηριστικά Δεδομένων Εισόδου Εξόδου .....	46
6.3	Μέθοδοι Πρόβλεψης .....	47
6.4	Πρόβλεψη Με Σύστημα Συμπερασμού Ασαφούς Λογικής.....	47
6.4.1	Η Γενική Εικόνα[13] .....	47
6.4.2	Περιγραφή Λειτουργίας Συστημάτων Ασαφούς Λογικής .....	48
6.4.3	Τρόποι Κατασκευής Συστημάτων Ασαφούς Λογικής .....	50
6.4.4	Διαδικασία Κατασκευής και Εκπαίδευσης των Συστημάτων .....	56
6.4.5	Μετρικές Σφάλματος .....	59
6.4.6	Αποτελέσματα .....	59
6.4.7	Εκτίμηση καλύτερου επιλυτή.....	68
6.5	Πρόβλεψη Με Γραμμική Παρεμβολή.....	72
6.5.1	Γενική Εικόνα .....	72
6.5.2	Αποτελέσματα .....	72
6.5.3	Εκτίμηση καλύτερου επιλυτή.....	75
<b>7</b>	<b>Συμπεράσματα και Μελλοντική Δουλειά.....</b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>83</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική εφαρμογής .....	26
Εικόνα 2: Διαγράμματα χρόνων AlphaECP.....	29
Εικόνα 3: Διαγράμματα χρόνων BARON .....	31
Εικόνα 4: Διαγράμματα χρόνων CoinBonmin .....	34
Εικόνα 5: Διαγράμματα χρόνων CoinCouenne.....	36
Εικόνα 6: Διαγράμματα χρόνων DICOPT.....	38
Εικόνα 7: Διαγράμματα χρόνων LindoGlobal.....	40
Εικόνα 8: Διαγράμματα χρόνων SBB.....	43
Εικόνα 9: Περιγραφή λειτουργίας ασαφούς συστήματος .....	48
Εικόνα 10: τριγωνική και τραπεζοειδής συνάρτηση[13] .....	49
Εικόνα 11: γκαουσιανή, δίπλευρη γκαουσιανή και γενικευμένη Bell συνάρτηση[13].....	49
Εικόνα 12: Μορφή χρόνων αν ταξινομηθούν .....	57
Εικόνα 13: Μορφή λογαριθμικών τιμών χρόνων αν ταξινομηθούν.....	57
Εικόνα 14: Διαδικασία εκπαίδευσης .....	58
Εικόνα 15: Πρόβλεψη χρόνου σε κανονική κλίμακα .....	74
Εικόνα 16: Πρόβλεψη ποιότητας.....	74
Εικόνα 17: Πρόβλεψη χρόνου σε λογαριθμική κλίμακα .....	75
Εικόνα 18: Σύγκριση ακρίβειας πρόβλεψης μεταξύ ασαφών συστημάτων και παρεμβολής 1 .....	79
Εικόνα 19: Σύγκριση ακρίβειας πρόβλεψης μεταξύ ασαφών συστημάτων και παρεμβολής 2 .....	80

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Εξεταζόμενες στάθμες και βασικές τιμές.....	25
Πίνακας 2: Αποτελέσματα ποιότητας AlphaECP .....	28
Πίνακας 3: Αποτελέσματα ποιότητας CoinBonmin.....	32
Πίνακας 4: Αποτελέσματα ποιότητας DICOPT .....	36
Πίνακας 5: Αποτελέσματα ποιότητας SBB .....	41
Πίνακας 6: Στατιστικά δεδομένων εισόδου .....	46
Πίνακας 7: Στατιστικά επιλυτών.....	47
Πίνακας 8: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis1 .....	52
Πίνακας 9: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis2 .....	53
Πίνακας 10: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis3 .....	54
Πίνακας 11: Προεπιλεγμένες παράμετροι εκπαίδευσης.....	55
Πίνακας 12: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis1 .....	60
Πίνακας 13: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis1 .....	61
Πίνακας 14: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis1 .....	62
Πίνακας 15: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis2 .....	62
Πίνακας 16: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis2 .....	63
Πίνακας 17: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis2 .....	63
Πίνακας 18: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis3 .....	64
Πίνακας 19: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis3 .....	65
Πίνακας 20: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis3 .....	65
Πίνακας 21: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα .....	66
Πίνακας 22: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα .....	67
Πίνακας 23: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας.....	68
Πίνακας 24: Στατιστικά ακρίβειας πρόβλεψης ασαφών συστημάτων.....	69
Πίνακας 25: Στατιστικά precision και recall ασαφών συστημάτων .....	71
Πίνακας 26: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνων με κανονικά δεδομένα με παρεμβολή .....	72
Πίνακας 27: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνων με λογαριθμικά δεδομένα με παρεμβολή .....	73
Πίνακας 28: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με παρεμβολή .....	73
Πίνακας 29: Στατιστικά ακρίβειας πρόβλεψης παρεμβολής.....	75
Πίνακας 30: Στατιστικά precision και recall παρεμβολής .....	78

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ GAMS

Το GAMS (General Algebraic Modeling System) είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης υψηλού επιπέδου για μαθηματικό προγραμματισμό και βελτιστοποίηση[12].

Δεν είναι το μοναδικό σύστημα-γλώσσα προγραμματισμού που έχει φτιαχτεί γι' αυτό το σκοπό. Ξεχωρίζει όμως για την απλότητα στη συγγραφή, την τεκμηρίωση και την επεξεργασία του μοντέλου που θέλουμε να φτιάξουμε. Επιπλέον έχει απλό συντακτικό και είναι εύκολο να κατασκευαστούν ακόμα και μεγάλα και περίπλοκα μοντέλα τα οποία να είναι ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο που τα επιλύει[11].

## 1.2 ΟΙ ΕΠΙΛΥΤΕΣ

Η επίλυση των μοντέλων δεν γίνεται από το ίδιο το GAMS αλλά είναι μια ανεξάρτητη διαδικασία που βασίζεται σε έτοιμους επιλυτές (solvers) που χρησιμοποιούν τυποποιημένους αλγορίθμους. Η επιλογή τους και η διαμόρφωση τους γίνεται μέσω παραμέτρων που καθορίζονται ή στο σύστημα(γραφικό περιβάλλον του GAMS), ή από τη γραμμή εντολών, ή μέσα στο μοντέλο, ή από ειδικό αρχείο.

Η επιλογή του επιλυτή εξαρτάται και από το είδος του προβλήματος που θέλουμε να λύσουμε. Χαρακτηριστικές κατηγορίες προβλημάτων είναι: Linear programming (LP), Mixed integer programming (MIP), Mixed integer nonlinear programming (MINLP)[11].

Δεν μπορούν όλοι οι επιλυτές να λύσουν όλων των ειδών τα προβλήματα. Ο κάθε ένας έχει συγκεκριμένες δυνατότητες ως προς τα προβλήματα που μπορεί να επιλύσει. Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε εννιά από αυτούς που λύνουν προβλήματα τύπου MINLP που είναι και το μοντέλο μας όπως θα δούμε παρακάτω.

## 1.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το μοντέλο που επιλύουμε στην παρούσα εργασία είναι τύπου MINLP. Αυτού του τύπου τα προβλήματα μπορούν να έχουν και διακριτές μεταβλητές και μη γραμμικούς όρους που οι απαιτήσεις των διακριτών τιμών επιβάλλονται σε αντίθεση με τα προβλήματα τύπου RMINLP (Relaxed Mixed Integer NonLinear Programming)[11].

Οποιοδήποτε πρόβλημα MINLP μπορεί να διατυπωθεί ώστε να έχει την παρακάτω μορφή:

Ποιο είναι το  $\min(f(x, y))$  δεδομένου  $g(x, y) \leq 0$ ,  $x \in X$  και  $y \in Y$  όπου  $x$  διάνυσμα διάστασης  $r$ ,  $y$  διάνυσμα διάστασης  $s$  με ακέραιες συντεταγμένες,  $f$  η αντικειμενική συνάρτηση και  $g$  διανυσματική συνάρτηση διάστασης  $t$  [8];

Η παραπάνω μορφή μπορεί να έχει πολλές ισοδύναμες που μπορούν για παράδειγμα να έχουν και εξισώσεις, δεδομένου όμως ότι μια εξίσωση μπορεί να μοντελοποιηθεί με δύο ανισώσεις, αυτό δεν είναι απαραίτητο.

Το πρόβλημα που λύνεται μέσω αυτού του μοντέλου είναι αν θα γίνει αποδεκτή μια υπηρεσία και πως θα ανατεθούν οι εργασίες της στους πόρους του διακομιστή. Στην επόμενη ενότητα θα εξετάσουμε αναλυτικότερα το πρόβλημα και τις παραμέτρους του.

## 2 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Υπάρχουν αρκετές εργασίες που σχετίζονται με την πρόβλεψη[1][2][5][6] και χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές παρόμοιες με αυτές που παρουσιάζονται στην εργασία.

Συγκεκριμένα το [5] παρουσιάζει μια υλοποιημένη εφαρμογή πρόβλεψης χρόνου μιας εργασίας με μεθόδους πολυωνυμικής παρεμβολής. Βέβαια δε μελετάει πολλούς ξεχωριστούς αλγόριθμους και δεν εκτιμάει και την ποιότητα της λύσης.

Το [6] κάνει πάλι πρόβλεψη αλλά μελετάει την απόδοση διαφορετικών τύπων φορτίου (εικονικών μηχανών) σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές επεξεργαστή, δηλαδή αυτό που διαφοροποιεί το χρόνο εκτέλεσης δεν είναι ο αλγόριθμος επίλυσης αλλά πως θα γίνει η ανάθεση των εργασιών στους επεξεργαστές.

Μία ακόμα εργασία [2] κάνει αξιολόγηση δουλεία γιατί εφαρμόζει πολλές τεχνικές πρόβλεψης χρόνου σε ένα διαφορετικό όμως πρόβλημα όπου και πάλι δεν εκτιμάει την ποιότητα του αποτελέσματος

Τέλος το [1] εξετάζει μια μέθοδο πρόβλεψης χρόνου σε διάφορους αλγόριθμους, παρόμοια με τους στόχους της εργασίας αλλά πάλι δεν εξετάζεται η ποιότητα των αλγορίθμων

Μια άλλη εργασία που παρουσιάζει ενδιαφέρον[10] αφορά τη σύγκριση συστημάτων μοντελοποίησης. Από τη σύγκριση φαίνεται ότι η γλώσσα GAMS που χρησιμοποιείται για το μοντέλο που εξετάζουμε είναι όντως μία από τις καλύτερες. Επιπλέον το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί και στο project OPTIMIS[19] και έχει λειτουργήσει επιτυχώς. Περισσότερες λεπτομέρειες για το μοντέλο μπορούν να βρεθούν στο [7] που περιγράφεται μια νεώτερη έκδοση του.

## 3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

### 3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε όλες τις παραμέτρους που περιγράφουν το πρόβλημα όπως εμφανίζονται στο μοντέλο, διατηρώντας και το συμβολισμό τους. Θα αναλύσουμε την καθεμία και θα αναφέρουμε αν εξετάζεται και γιατί καθώς και ποια είναι μια ενδεικτική τιμή που μπορεί να έχει στο μοντέλο.

Για την περιγραφή του μοντέλου χρησιμοποιούνται σύνολα, παράμετροι, μεταβλητές και εξισώσεις. Αυτά που καθορίζονται πριν την επίλυση και μας ενδιαφέρουν είναι τα σύνολα και οι παράμετροι. Οι παράμετροι με τη σειρά τους μπορούν να χωριστούν σε βαθμωτές μεταβλητές (scalars), παραμέτρους λίστες (parameters) και πίνακες (tables)[9].

#### 3.1.1 ΣΥΝΟΛΑ

Τα σύνολα του GAMS είναι παρόμοια με την έννοια του συνόλου στα μαθηματικά και περιγράφουν τις βασικές οντότητες του μοντέλου.

- a: σύνολο υπηρεσιών για εξυπηρέτηση (service for admission). Πρακτικά είναι μία  
εξετάζεται: όχι (υποτίθεται θα είναι πάντα μία στο παρόν μοντέλο)  
ενδεικτική τιμή: a (απλό service)
- i: σύνολο κύριων εικονικών μηχανών - υποϋπηρεσιών βασικής υπηρεσίας  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: vm1-vm10
- j: σύνολο εξυπηρετητών  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: ph1-ph20

#### 3.1.2 ΒΑΘΜΩΤΑ ΜΕΓΕΘΗ

Τα βαθμωτά μεγέθη (scalars) αντιστοιχούν σε μία παράμετρο χωρίς διαστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι δεν αναφέρονται σε κάποιο σύνολο και αντιστοιχίζεται σε αυτά μία τιμή

- prob\_basic: σταθερή πιθανότητα και ίση με 0.5. Είναι η πιθανότητα διαθεσιμότητας της υπηρεσίας σε περίπτωση που δεσμευθεί ο βασικός αριθμός των εικονικών μηχανών.  
εξετάζεται: όχι (αφού θεωρείται σταθερή στο μοντέλο μας)  
ενδεικτική τιμή: 0.5
- prob\_elastic: πιθανότητα που εξαρτάται από τον αριθμό των ελαστικών εικονικών μηχανών της υπηρεσίας και μαζί με την βασική πιθανότητα αθροίζεται στο 100%, όταν δεσμευθούν όλες οι ελαστικές μηχανές  
εξετάζεται: όχι (εξαρτάται από αριθμό ελαστικών εικονικών μηχανών)  
ενδεικτική τιμή:-

### 3.1.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΙΣΤΕΣ

Οι παράμετροι του GAMS(parameters) περιλαμβάνουν εκτός των άλλων και τα βαθμωτά μεγέθη και τους πίνακες. Μπορούν να έχουν μέχρι 20 διαστάσεις αλλά στο μοντέλο μας θα συναντήσουμε παραμέτρους μόνο μίας διάστασης. Αυτό σημαίνει ότι θα συνδέονται μόνο με ένα σύνολο και θα μπορούσαν να θεωρηθούν σαν λίστα με στοιχεία τόσα όσα και το σύνολο. Το σύνολο στο οποίο αναφέρονται βρίσκεται μέσα στην παρένθεση

- `basic_vms(i)`: αριθμός βασικών εικονικών μηχανών ανά υποүйηρεσία (αν δεσμευθούν όλες η υπηρεσία θα έχει πιθανότητα `prob_basic`)  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: 1
- `elastic_vms(i)`: αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών ανά υποүйηρεσία (αν δεσμευθούν αυξάνεται η πιθανότητα διαθεσιμότητας της υποүйηρεσίας)  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: 10
- `maxCpus(j)`: μέγιστος αριθμός επεξεργαστών ανά εξυηρητητή  
εξετάζεται: όχι, αφού σχετίζεται με το `resCpus(j)`(δες παρακάτω)  
ενδεικτική τιμή: 16
- `resCpus(j)`: αριθμός δεσμευμένων επεξεργαστών ανά εξυηρητητή  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: 0
- `Cost_plus(a)`: κόστος για κάθε δέσμευση ελαστικής εικονικής μηχανής της υπηρεσίας  
εξετάζεται: όχι (εξετάζεται συσχετιζόμενη μεταβλητή)  
ενδεικτική τιμή: 10
- `Eco(a)`: Οικολογία νέας υπηρεσίας  
εξετάζεται: όχι (εξετάζεται συσχετιζόμενη μεταβλητή)  
ενδεικτική τιμή: 5
- `Gain(a)`: κέρδη από τις υπηρεσίες αν αυτές εξυηρητηθούν  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: 500
- `ks(a)`: ελάχιστη ζητούμενη πιθανότητα διαθεσιμότητας της υπηρεσίας  
εξετάζεται: ναι  
ενδεικτική τιμή: 0.5
- `P(a)`: κόστος σε περίπτωση που η υπηρεσία αποτύχει  
εξετάζεται: όχι (εξετάζεται συσχετιζόμενη μεταβλητή)  
ενδεικτική τιμή: 80
- `Risk(a)`: πιθανότητα η υπηρεσία να αποτύχει  
εξετάζεται: όχι (εξετάζεται συσχετιζόμενη μεταβλητή)  
ενδεικτική τιμή: 0.5
- `Trust(a)`: αξιοπιστία της υπηρεσίας  
εξετάζεται: όχι (εξετάζεται συσχετιζόμενη μεταβλητή)  
ενδεικτική τιμή: 3



### 3.1.4 ΠΙΝΑΚΕΣ

Ο τύπος των πινάκων (tables) δεδομένων βοηθάει στον ορισμό δεδομένων με 2 ή περισσότερες διαστάσεις.

- `cpu_num(i,a)`: αριθμός πυρήνων - επεξεργαστών που χρειάζονται ανά εικονική μηχανή - υποϋπηρεσία της βασικής υπηρεσίας. Αν είναι περισσότερες από μία θα πρέπει να δεσμευθούν στο ίδιο μηχάνημα  
εξετάζεται: όχι (στην πράξη είναι σχεδόν πάντα 1)  
ενδεικτική τιμή: 1

## 3.2 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε αναλυτικότερα τις παραμέτρους που εξετάσαμε και τις δυνατές τιμές που μπορεί να έχουν.

- *Αριθμός εικονικών μηχανών*: είναι οι εργασίες που θα πρέπει να κατανεμηθούν στους επεξεργαστές των εξυπηρετητών και δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για τα όρια τους. Θεωρούμε ότι θα είναι μέχρι 20 που είναι ένα ενδεικτικό άνω όριο. Ο αριθμός αυτός επηρεάζει τον αριθμό των εξισώσεων του προβλήματος και προφανώς την πολυπλοκότητα του
- *Αριθμός εξυπηρετητών*: είναι οι εξυπηρετητές που θα έχει ο server. Ο αριθμός τους θα είναι κατά διαστήματα σταθερός αλλά μας ενδιαφέρει να δούμε αν και πως επηρεάζει το μοντέλο. Ενδεικτικά πάλι θεωρούμε ότι θα είναι μέχρι 30. Ο αριθμός αυτός επίσης είναι φανερό ότι επηρεάζει την πολυπλοκότητα όπως και ο αριθμός των εικονικών μηχανών
- *Πιθανότητα διαθεσιμότητας της υπηρεσίας*: είναι η πιθανότητα που θέλουμε να ξεπεράσουμε για να είναι η υπηρεσία αξιόπιστη. Όσο περισσότερες ελαστικές εικονικές μηχανές δεσμεύσουμε τόσο θα αυξηθεί αυτό το ποσοστό. Σύμφωνα με το μοντέλο αν δεσμευθεί μια βασική εικονική μηχανή η πιθανότητα διαθεσιμότητας γίνεται 50%, οπότε θα χρειαστεί να εξετάσουμε μόνο περιπτώσεις από 50% ποσοστό και πάνω. Αυτό γιατί το ποσοστό θα είναι σίγουρα μη μηδενικό και αν δεσμευθεί μια εικονική μηχανή για την υπηρεσία η διαθεσιμότητα της θα είναι τουλάχιστον 50% και θα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του προβλήματος, ανεξάρτητα με την τιμή της πιθανότητας, αν αυτή είναι έως 50%. Αν η πιθανότητα είναι πάνω από 50% επηρεάζεται ο αριθμός των εικονικών μηχανών που δεσμεύονται και πιθανόν και το πόσο γρήγορα θα λυθεί το πρόβλημα.
- *Μέσος αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών στους εξυπηρετητές*: έχουμε δύο παραμέτρους του προβλήματος που σχετίζονται με αυτόν τον αριθμό, τον αριθμό των επεξεργαστών ανά εξυπηρετητή και τον αριθμό των δεσμευμένων επεξεργαστών. Πρακτικά όμως μας ενδιαφέρει η διαφορά των δύο αυτών τιμών. Η πρώτη από αυτές είναι συνήθως μια δύναμη του 2 μεταξύ του 1 και του 16. Το ελάχιστο αυτής της παραμέτρου είναι προφανώς 0 και το μέγιστο 16. Συνήθως ο μέσος όρος είναι ανάμεσα στις τιμές αυτές. Ο αριθμός αυτός επηρεάζει πιθανόν τις περιπτώσεις που εξετάζει ο αλγόριθμος και συνεπώς και το χρόνο απόκρισης.
- *Μέσος αριθμός βασικών εικονικών μηχανών*: ο αριθμός αυτός είναι που πρέπει να δεσμευθεί απαραίτητα για να λειτουργεί η υποϋπηρεσία. Μπορεί να

επηρεάσει το αν η υπηρεσία τελικά θα γίνει αποδεκτή η όχι και όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός τους τόσο περισσότεροι έλεγχοι πιθανόν θα γίνουν για να βρεθεί η καλύτερη τοποθέτηση τους. Ο αριθμός αυτός θεωρούμε ότι θα είναι από 1 μέχρι 8. Το πάνω φράγμα είναι γενικά αυθαίρετο αλλά σίγουρα ο αριθμός αυτός δε θα είναι πολύ μεγαλύτερος.

- *Μέσος αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών:* ο αριθμός αυτός επίσης μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα και πιθανόν το χρόνο απόκρισης αφού μικρότερος ή μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μηχανών που απαιτούνται ανάλογα με την πιθανότητα διαθεσιμότητας. Ο αριθμός αυτός θεωρούμε ότι είναι από 1 μέχρι 10. Το άνω φράγμα και εδώ είναι τυπικό αλλά μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε περισσότερο την επίδραση.
- *Κέρδη υπηρεσιών:* ο αριθμός αυτός επηρεάζει άμεσα την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι υπόλοιπες παράμετροι που επηρεάζουν την τιμή της συνάρτησης - κόστος σε περίπτωση αποτυχίας, ρίσκο, πιθανότητα αποτυχίας, αξιοπιστία - δεν μελετούνται γιατί επηρεάζουν κατά τον ίδιο τρόπο την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ελαχιστοποίησης του προβλήματος αλλά σε μικρότερο βαθμό. Με άλλα λόγια οι επιδράσεις όλων των παραγόντων αθροιστικά μπορούν να μελετηθούν μέσα από τη μεταβολή μόνο του κέρδους θεωρώντας όλους τους παράγοντες σταθερούς στη βασική τους τιμή. Το εύρος της τιμής του κέρδους είναι από 100 έως 1000 και το θεωρήσουμε αδιάστατο μέγεθος

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κάθε επιλυτής (solver) έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και κάποιες παράμετροι μπορεί να επηρεάζουν περισσότερο και άλλες λιγότερο το χρόνο απόκρισης του.

## 4 ΕΠΙΛΥΤΕΣ

Οι επιλυτές (solvers) μπορούν να θεωρηθούν επίσης ως μία παράμετρος αλλά θα τους εξετάσουμε ξεχωριστά γιατί δεν έχουν συσχέτιση μεταξύ τους και ο καθένας έχει τα δικά του χαρακτηριστικά. Ακολουθούν οι επιλυτές που εξετάσαμε, οι βοηθητικοί επιλυτές τους οποίους χρησιμοποιούν οι επιλυτές που εξετάζουμε και ένας επιλυτής με ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

### 4.1 ΕΠΙΛΥΤΕΣ ΓΙΑ MINLP ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ[4][8]

#### 1. AlphaECP

Ο επιλυτής αυτός βασίζεται στην τεχνική του ECP(Extended Cutting Plain). Λύνει προβλήματα τύπου MINLP και εγγυάται λύση για ψευδο-κυρτά προβλήματα.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται χρειάζεται να λύσει ένα MIP υποπρόβλημα σε κάθε επανάληψη της. Για το σκοπό αυτό καλείται ένας MIP επιλυτής που μάλιστα αρκεί να βρει μια εφικτή λύση και όχι απαραίτητα τη βέλτιστη λύση του υποπροβλήματος. Επιπλέον έχει προστεθεί λειτουργικότητα στον αλγόριθμο ώστε να καλείται κάποιος NLP επιλυτής στη λύση που επιστρέφει ο MIP αλγόριθμος κάτι που βοηθάει τον AlphaECP να βρίσκει ακριβή λύση σε MINLP προβλήματα

Για τα NLP υποπροβλήματα χρησιμοποιείται ο CONOPT ενώ για τα MIP ο CPLEX

#### 2. BARON

Ο BARON(Branch-And-Reduce Optimization Navigator) είναι ένας αλγόριθμος που βρίσκει καθολική λύση στην κατηγορία προβλημάτων που μας ενδιαφέρει. Μπορεί να εγγυηθεί σύγκλιση κάτω από γενικές προϋποθέσεις όπως οι μεταβλητές που εμφανίζονται σε αυτόν να είναι φραγμένες κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι θα βρίσκει πάντοτε τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημα που μελετάμε. Χρησιμοποιεί μεταξύ άλλων τεχνικές branch and bound με προώθηση περιορισμών για να περιορίσει τα όρια των μεταβλητών και να καταλήξει στη βέλτιστη λύση

Ο κώδικας του είναι κλειστός και χρειάζεται άδεια για τη χρήση του όπως χρειάζεται άδεια και για κάποιον LP επιλυτή. Οι προεπιλεγμένοι υπο-επιλυτές που χρησιμοποιεί είναι ο CPLEX για τα LP προβλήματα και ο MINOS για τα NLP.

#### 3. CoinBonmin

Πρόκειται για έναν επιλυτή που κατασκευάστηκε από τον οργανισμό COIN-OR(COmputational INfrastructure for Computational Research) που στόχος του είναι να κατασκευάσει διαπροσωπείες ανοιχτού λογισμικού για το σύστημα του GAMS αλλά και για άλλα συστήματα[3].

Ο Bonmin(Basic Open-source Nonlinear Mixed INteger programming) είναι ένας επιλυτής για προβλήματα τύπου MINLP, κάποια κομμάτια του οποίου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Ο επιλυτής αυτός χρησιμοποιεί 6 βασικούς αλγορίθμους που βρίσκουν ακριβή λύση σε περίπτωση που το πρόβλημα είναι κυρτό αλλιώς χρησιμοποιούν ευριστικές μεθόδους. Εμείς χρησιμοποιούμε τον προεπιλεγμένο αλγόριθμο B-BB(Branch and Bound αλγόριθμος) στη λύση του προβλήματος μας γιατί είναι ο πιο ενδεδειγμένος για μη

κυρτά προβλήματα όχι όμως και ο πιο γρήγορος. Είναι επίσης παρόμοιος με τον αλγόριθμο που εφαρμόζει ο SBB.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αν το μοντέλο περιέχει μόνο συνεχείς μεταβλητές τότε καλείται απευθείας ο επιλυτής IPOPT ενώ αν το μοντέλο έχει μόνο γραμμικές εξισώσεις τότε καλείται ο CBC. Στο μοντέλο που εξετάζουμε δε συμβαίνει κάτι από τα δύο αλλά ο επιλυτής IPOPT καλείται ως βοηθητικός επιλυτής από τον Bonmin ο οποίος θέτει κατάλληλες για τη γρηγορότερη λύση του προβλήματος τιμές στις παραμέτρους του.

#### 4. CoinCouenne

Ο Couenne(Convex Over and Under ENvelopes for Nonlinear Estimation) είναι και αυτός ένας επιλυτής από τον οργανισμό COIN-OR[3]. Είναι ένας χωρικός Branch and Bound αλγόριθμος που εφαρμόζει τεχνικές για την εύρεση λύσης σε κυρτά και μη κυρτά MINLP προβλήματα και είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί ο BARON.

Η λύση που δίνει είναι ολικά βέλτιστη και για τα κυρτά και για τα μη κυρτά προβλήματα. Αυτό το πετυχαίνει στην υλοποίηση που εξετάζουμε επεκτείνοντας τη λειτουργικότητα του BonMin με ρουτίνες που υπολογίζουν έγκυρες εξωτερικές προσεγγίσεις(outer approximations) σε μη κυρτά προβλήματα και με μεθόδους διακλάδωσης για μη γραμμικές μεταβλητές

Τα μοντέλα που λύνονται από τον επιλυτή έχουν κάποιες επιπλέον απαιτήσεις όπως οι συναρτήσεις να μην είναι μη κυρτές αλλά να είναι δύο φορές συνεχώς διαφορίσιμες και η μη χρήση συναρτήσεων ορισμένων από το χρήστη. Η απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται από το μοντέλο μας. Επιπλέον αν το μοντέλο είναι γραμμικό όπως και στην περίπτωση του BonMin θα καλείται απευθείας ο επιλυτής CBC

#### 5. DICOPT

Ο επιλυτής DICOPT(DIcrete and Continuous OPTimizer) όπως και πολλοί από τους υπόλοιπους μπορεί να βρει τη βέλτιστη σε κυρτά MINLP προβλήματα αλλά όχι πάντα σε μη κυρτά αν και έχει λειτουργίες για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων

Η λειτουργία του βασίζεται στο χωρισμό του προβλήματος σε υποπροβλήματα που λύνονται μέσω κάποιου NLP ή MIP επιλυτή ανάλογα με το υποπρόβλημα. Έτσι οποιεσδήποτε βελτιώσεις σε NLP ή MIP επιλυτές θα είναι εφαρμόσιμες και στον ίδιο. Προεπιλεγμένος επιλυτής για τα NLP υποπροβλήματα είναι ο CONOPT ενώ για τα MIP προβλήματα ο CPLEX. Ο αλγόριθμος υποθέτει ότι τα MIP υπο-προβλήματα επιστρέφουν τη βέλτιστη λύση

#### 6. KNITRO[17]

Το KNITRO είναι από μόνο του ένα πακέτο λογισμικού που βρίσκει τοπικές λύσεις σε συνεχή, ομαλά προβλήματα βελτιστοποίησης με περιορισμούς ή χωρίς. Η καθολική βέλτιστη λύση εγγυάται μόνο σε κυρτά MINLP προβλήματα και δεν ενδείκνυται σε μεγάλης κλίμακας μοντέλα αυτού του είδους.

Και αυτός ο επιλυτής έχει πολλές παραμέτρους που μπορούν να ρυθμιστούν από το χρήστη. Για την επίλυση του μοντέλου η βασικότερη παράμετρος είναι ο αλγόριθμος

που από προεπιλογή ρυθμίζεται αυτόματα με βάση την είσοδο. Οι τρεις δυνατοί αλγόριθμοι που μπορούν να επιλεγθούν είναι οι Interior/Direct, Interior/CG και Active Set.

## 7. LindoGlobal

Το LindoGlobal είναι ένας επιλυτής που εγγυάται την εύρεση της ολικής βέλτιστης λύσης σε κυρτά και μη κυρτά MINLP προβλήματα. Χρησιμοποιεί μεθόδους branch-and-cut για να χωρίσει ένα πρόβλημα σε υποπροβλήματα και υποστηρίζει και κάποιες μη συνεχείς συναρτήσεις.

Σε περίπτωση που δε χρησιμοποιηθεί ο καθολικός επιλυτής, δηλαδή αυτός που θα βρίσκει πάντα λύση, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος με πολλαπλές εκκινήσεις από κατάλληλα επιλεγμένα σημεία.

Για τη χρήση του χρειάζεται ειδική άδεια όπως και άδεια για τη χρήση του CONOPT, που χρησιμοποιείται για τη λύση μη γραμμικών προβλημάτων που προκύπτουν από τη μοντελοποίηση.

## 8. OQNLP

Ο OQNLP (OptQuest Nonlinear Programming) είναι ένας ευριστικός αλγόριθμος πολλαπλών σημείων εκκίνησης. Βρίσκει την βέλτιστη λύση σε μη γραμμικά προβλήματα με ομαλούς περιορισμούς. Δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι αυτή η λύση είναι η ολικά βέλτιστη αλλά υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να είναι. Από την άλλη αν αυτό δε συμβαίνει δε σημαίνει ότι η λύση είναι κοντά στη βέλτιστη ούτε υπάρχει κάποια εκτίμηση για το πόσο κοντά μπορεί να είναι.

Ο αλγόριθμος αυτός συνδυάζει την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων επίλυσης μη γραμμικών προβλημάτων με την ταχύτητα εύρεσης ενός καλού αρχικού σημείου των μεθόδων ευριστικής αναζήτησης λύσης. Η τελική λύση λοιπόν θα είναι περισσότερο αξιόπιστη όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα αρχικά σημεία αν και όπως θα φανεί στα αποτελέσματα ο αλγόριθμος αυτός δεν είναι κατάλληλος για το μοντέλο μας

## 9. SBB

Ο SBB (Simple Branch-and-Bound) επιλυτής συνδυάζει τον Branch and Bound αλγόριθμο με κάποιους από τους NLP επιλυτές του GAMS. Εξασφαλίζει ότι θα βρει τη βέλτιστη λύση σε κυρτά προβλήματα ενώ σε μη κυρτά εφαρμόζονται ευριστικές και η λύση μπορεί να μην είναι βέλτιστη.

Ο SBB υποστηρίζει 3 βασικούς NLP επιλυτές και αυτός που χρησιμοποιείται από προεπιλογή είναι ο CONOPT. Επίσης υποστηρίζονται όλοι οι τύποι διακριτών μεταβλητών

Αποτελεί έναν σχετικά παλιό επιλυτή και σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του συγκρινόμενος με τον DICOPT που επίσης ήταν από τους πρώτους MINLP επιλυτές είναι γενικά καλύτερος σε προβλήματα με λίγες διακριτές μεταβλητές και περισσότερες μη γραμμικότητες στις συναρτήσεις που εμφανίζονται στο μοντέλο

## 4.2 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΕΠΙΛΥΤΕΣ[4]

### 1. CBC

Ο CBC(COIN-OR Branch and Cut) είναι ένας επιλυτής ανοιχτού κώδικα από τον οργανισμό COIN-OR που λύνει προβλήματα τύπου LP, MIP και RMIP(Relaxed Mixed Integer Programming). Εφαρμόζει την τεχνική Branch and Cut χρησιμοποιώντας τον επιλυτή CLP του ίδιου οργανισμού και τη βιβλιοθήκη CGL.

Υποστηρίζει σχεδόν όλων των τύπων τις μεταβλητές και έχει και πολλές ρυθμιζόμενες παραμέτρους που βοηθάνε στη γρηγορότερη εύρεση λύσης αν ρυθμιστούν σωστά αλλά δε θα εξεταστούν στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

### 2. CONOPT

Οι CONOPT είναι μια οικογένεια NLP αλγορίθμων που έχει τρεις εκδόσεις, τις CONOPT1, CONOPT2 και CONOPT3. Η σειρά που αναφέρονται είναι και η χρονολογική σειρά εμφάνισης τους και μάλιστα ο νεώτερος, ο CONOPT3, είναι προφανώς ο καλύτερος στα περισσότερα μοντέλα.

Όλοι προσπαθούν να βρουν κάποιο τοπικό ελάχιστο ή μέγιστο. Η λογική τους είναι περίπλοκη και η συμπεριφορά τους είναι δυναμική και προσαρμοζόμενη στο μοντέλο.

### 3. CPLEX

Ο CPLEX είναι ένας επιλυτής κατάλληλος για μεγάλα προβλήματα τύπου LP, QCP(Quadratically Constrained Programming), MIP και MIQCP(Mixed Integer Quadratically Constrained Programs).

Έχει πολλές επιλογές τις οποίες μπορεί να θέτει από μόνος του στις καταλληλότερες τιμές ανάλογα με το μοντέλο.

Προβλήματα τύπου MIP που μας ενδιαφέρουν περισσότερο στο μοντέλο μας είναι από τα πιο δύσκολα για να λυθούν. Απαιτούν μεγάλη μνήμη καθώς απαιτείται για τη λύση τους να λυθούν πολλά υποπροβλήματα τύπου LP που παράγονται με τη μέθοδο Branch and Cut.

### 4. IPOPT

Ο IPOPT(Interior Point Optimizer) είναι κι αυτός ένας επιλυτής ανοιχτού κώδικα του οργανισμού COIN-OR για μεγάλης κλίμακας προβλήματα μη γραμμικού προγραμματισμού. Χρησιμοποιεί μεθόδους γραμμικής αναζήτησης εσωτερικού σημείου

Ο επιλυτής αυτός μπορεί να χειριστεί μοντέλα με μη κυρτές συναρτήσεις οι οποίες όμως είναι 2 φορές παραγωγίσιμες. Περιλαμβάνει τον αραιό γραμμικό επιλυτή (sparse solver) MUMPS στον οποίο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό η επίδοσή του. Ο χρήστης μπορεί να αντικαταστήσει το MUMPS με ειδικές ρουτίνες ή άλλο επιλυτή.

### 5. MINOS

Είναι ένας επιλυτής γενικού σκοπού που λύνει προβλήματα μη γραμμικού και γραμμικού προγραμματισμού.

Είναι σχεδιασμένος ώστε να βρίσκει λύσεις τοπικά βέλτιστες αλλά αν οι συναρτήσεις είναι κυρτές οι λύσεις θα είναι και καθολικά βέλτιστες. Επίσης οι μη γραμμικές συναρτήσεις πρέπει να είναι ομαλές, δηλαδή να υπάρχει η πρώτη παράγωγος τους.

Όπως και πολλοί άλλοι επιλυτές έχει ρυθμιζόμενες παραμέτρους που μπορούν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά του αλγορίθμου στο μοντέλο που εξετάζουμε

#### 6. MUMPS[9]

Ο επιλυτής MUMPS(MUltifrontal Massively Parallel Solver) επιλύει γραμμικά συστήματα εξισώσεων στα οποία ο πίνακας παραμέτρων είναι αραιός κάτι που βοηθάει την παραλληλοποίηση των υπολογισμών με κατάλληλες μεθόδους.

### 4.3 Ο ΕΠΙΛΥΤΗΣ BENCH[4]

Ο επιλυτής αυτός είναι στην πραγματικότητα ένας μετα-επιλυτής που αυτοματοποιεί τη διαδικασία συλλογής στατιστικών από άλλους επιλυτές (benchmarking). Μπορεί να καλέσει οσοδήποτε από τους επιλυτές είναι ικανοί να λύσουν ένα δεδομένο μοντέλο και λαμβάνει τα αποτελέσματα που του επιστρέφουν σε ένα listing αρχείο του GAMS (GAMS listing file format). Επιπλέον ο BENCH μπορεί να καλέσει τον EXAMINER άλλον έναν επιλυτή που ελέγχει την εφικτότητα<sup>1</sup> και τη βελτιστότητα<sup>2</sup> της λύσης που επιστρέφεται.

---

<sup>1</sup> feasibility

<sup>2</sup> optimality

## 5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### 5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### 5.1.1 ΠΙΘΑΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι παράμετροι που θέλουμε να εξετάσουμε είναι πολλές οπότε θα χρειαστούμε μία μέθοδο εξέτασης που να είναι αποτελεσματική και να μην απαιτεί υπερβολικά πολλές μετρήσεις. Επιπλέον πρέπει να συνυπολογίσουμε ότι το πρόβλημα είναι μη κυρτό.

Κάποιοι δυνατοί τρόποι σχεδίασης της πειραματικής διαδικασίας είναι οι παρακάτω[18]

- Απλή σχεδίαση: έχουμε ένα συνδυασμό σταθμών των παραγόντων ως βάση(βασική διάταξη) και μεταβάλλουμε ένα παράγοντα κάθε φορά σε κάθε στάδιο του πειράματος. Στη συνέχεια παρατηρούμε πως επηρεάζει η μεταβολή αυτή την απόκριση συγκρίνοντας την κατάσταση με τη βασική διάταξη. Αν έχουμε  $k$  παράγοντες και ο παράγοντας  $i$  έχει  $n_i$  στάθμες τότε ο συνολικός

$$\text{αριθμό πειραμάτων θα είναι: } n = 1 + \sum_{i=1}^k (n_i - 1)$$

Η σχεδίαση αυτή από τη μία έχει σχετικά μικρό αριθμό πειραμάτων αλλά δε λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις των παραγόντων. Θα την προτιμήσουμε για την απλότητα της και για το ότι το πρόβλημα είναι μη κυρτό και μπορούμε να βγάλουμε περισσότερα συμπεράσματα αν έχουμε πολλές στάθμες ακόμα και χωρίς να γνωρίζουμε τις αλληλεπιδράσεις

- Πλήρης παραγοντική σχεδίαση: εκτελούμε πειράματα με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς σταθμών των παραγόντων. Αν όπως πριν έχουμε  $k$  παράγοντες με  $n_i$  στάθμες θα χρειαστούμε  $n = \prod_{i=1}^k n_i$  αριθμό πειραμάτων.

Με αυτή τη σχεδίαση μπορούν να μετρηθούν και οι επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων. Από την άλλη τα πειράματα που θα εκτελεστούν δεδομένου ότι θα χρειαστούν πολλές στάθμες για κάθε παράγοντα που θα εξετάσουμε κάνουν τον αριθμό των πειραμάτων απαγορευτικά μεγάλο. Η άλλη εναλλακτική είναι να μειώσουμε τους παράγοντες που εξετάζουμε αλλά δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι εκ των προτέρων ποιοι παράγοντες είναι σημαντικοί και ποιοι όχι

- Κλασματική παραγοντική σχεδίαση: είναι μια παραλλαγή της παραπάνω σχεδίασης. Εκτελείται ένα κατάλληλα επιλεγμένο κλάσμα της παραγοντικής σχεδίασης έτσι μειώνεται ο αριθμός των πειραμάτων. Από την άλλη υπάρχει απώλεια πληροφορίας σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο. Δε θα προτιμήσουμε ούτε αυτή τη μέθοδο για τους λόγους που εξηγήσαμε και παραπάνω εφόσον δε θα μειωθεί σημαντικά ο αριθμός των πειραμάτων



### 5.1.2 ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ & ΣΤΑΘΜΕΣ

Όπως εξηγήσαμε παραπάνω θα προτιμήσουμε τη μέθοδο της απλής σχεδίασης οπότε θα χρειαστούμε να προσδιορίσουμε τις βασικές τιμές των παραγόντων και τις στάθμες που θα εξετάσουμε στον καθένα. Οι στάθμες προσδιορίζονται από το εύρος των τιμών και το βήμα με το οποίο τις επιλέγουμε. Επιλέξαμε λοιπόν τις παρακάτω στάθμες

Πίνακας 1: Εξεταζόμενες στάθμες και βασικές τιμές

Παράμετροι εισόδου	Βασική Τιμή	Εύρος τιμών	Βήμα
Αριθμός εικονικών μηχανών	10	2-20	1
Αριθμός εξυπηρετητών	20	2-30	1
Πιθανότητα διαθεσιμότητας της υπηρεσίας	50%	50%-100%	5%
Αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών εξυπηρετητών	16	0-16	1
Αριθμός βασικών εικονικών μηχανών	1	1-8	1
Αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών	10	1-10	1
Κέρδη υπηρεσιών	500	100-1000	100

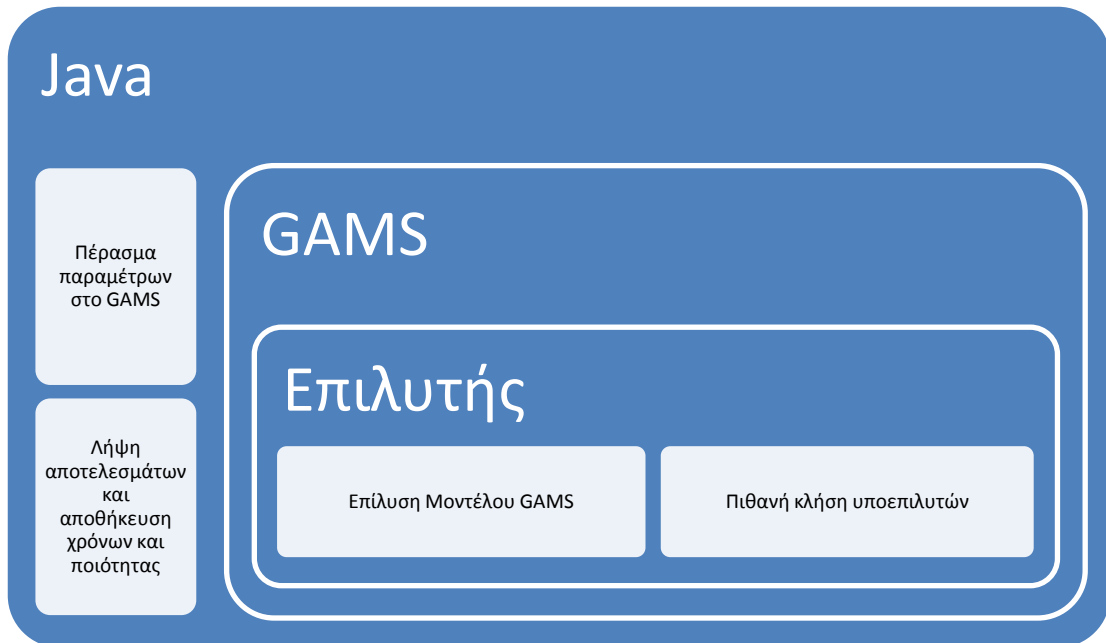
Όλες οι παράμετροι που δεν εξετάζονται έχουν σταθερές τιμές, ίσες με τη βασική τιμή σε όλες τις διατάξεις. Ακόμα όταν μεταβάλλουμε τους παράγοντες αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών, αριθμός βασικών εικονικών μηχανών, αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών δεν αλλάζουμε μία τιμή αλλά όλες στις οποίες αναφέρονται και παράλληλα αλλάζει και η μέση τιμή τους αντίστοιχα. Για παράδειγμα αν έχουμε τιμή 5 ελεύθερους επεξεργαστές αυτή θα είναι η τιμή των ελεύθερων επεξεργαστών σε όλους τους εξυπηρετητές αλλά και η μέση τιμή τους.

### 5.1.3 ΥΠΟΔΟΜΗ

Οι μετρήσεις έγιναν σε υπολογιστή με τα παρακάτω χαρακτηριστικά

- λειτουργικό Windows Vista™ Home Premium
- επεξεργαστής Intel® Core™2 Duo CPU T250 @ 2.00GHz 2.00GHz
- μνήμη RAM 1022 MB
- τύπος συστήματος 32bit

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούμε για να επεξεργαστούμε τα αποτελέσματα αλλά και να καλέσουμε το GAMS με τις κατάλληλες παραμέτρους εισόδου είναι η Java. Σχηματικά η αρχιτεκτονική της εφαρμογής λήψης αποτελεσμάτων φαίνεται στην Εικόνα 1



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική εφαρμογής

#### 5.1.4 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στη λήψη των αποτελεσμάτων αρχικά χρησιμοποιούμε τον επιλυτή BENCH για να τρέξουμε όλους τους επιλυτές μέσω αυτού και να έχουμε μια γενική εικόνα για τα αποτελέσματα. Στο στάδιο αυτό θα εξετάσουμε ποιοι επιλυτές δίνουν αποτέλεσμα και τότε και αν το αποτέλεσμα είναι το επιθυμητό.

Για όσους δίνουν έγκυρα αποτελέσματα θα πάρουμε αναλυτικές μετρήσεις στο επόμενο στάδιο και για τις περιπτώσεις που δε δίνουν θα εξετάσουμε για ποιο λόγο συμβαίνει αυτό.

Θα παρουσιάσουμε τις λεπτομέρειες από τα αποτελέσματα σε όσους επιλυτές αυτά είναι μη τετριμμένα (δηλαδή όχι ίδια σε κάθε εκτέλεση). Για συντομία η λύση που μπορεί να δώσει ένας επιλυτής μπορεί να κωδικοποιηθεί ως εξής:

- NS (No Solution): καμία λύση δεν έχει επιστραφεί
- IBOV (Impossible Best Objective Value): η βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι θετική, κάτι που είναι αδύνατο με βάση το μοντέλο και δεν περιμένουμε να συμβεί (η τιμή της συνάρτησης είναι 0 αν η υπηρεσία δεν εξυπηρετηθεί)
- IOV (Impossible Objective Value): η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του επιλυτή που εξετάζουμε είναι θετική, κάτι που είναι πρακτικά απίθανο με βάση το μοντέλο και δεν περιμένουμε να συμβεί (η τιμή της συνάρτησης είναι 0 αν η υπηρεσία δεν εξυπηρετηθεί)
- SA-W (Service Accepted – Wrong): η υπηρεσία έγινε αποδεκτή αν και αυτό δε μπορεί να γίνει με βάση την καθολικά βέλτιστη λύση
- SA-NBS (Service Accepted – Not Best Solution): η υπηρεσία έγινε αποδεκτή αλλά δεν έδωσε την καθολικά βέλτιστη λύση
- SA-BS (Service Accepted – Best Solution): η υπηρεσία έγινε αποδεκτή και έδωσε την καθολικά βέλτιστη λύση

- SNA-W (Service Not Accepted – Wrong): η υπηρεσία δεν έγινε αποδεκτή και αυτό δεν είναι σωστό με βάση την καθολικά βέλτιστη λύση
- SNA-C (Service Not Accepted – Correct): η υπηρεσία δεν έγινε αποδεκτή και αυτό είναι το σωστό με βάση την καθολικά βέλτιστη λύση

Όπως θα φανεί κάποιες περιπτώσεις δεν εμφανίζονται ποτέ αλλά αναφέρονται για λόγους πληρότητας

Στο επόμενο στάδιο, αφού αποκλείσουμε τους επιλυτές που δε δίνουν ποτέ αποτέλεσμα, παίρνουμε ξανά μετρήσεις για τις διατάξεις που δίνουν λύση για να εκτιμήσουμε το χρόνο απόκρισης. Αυτή τη φορά εκτελούμε τον κάθε επιλυτή 20 φορές για να βγάλουμε αξιόπιστα αποτελέσματα, να υπολογίσουμε τα σφάλματα και να επαναλάβουμε με περισσότερες μετρήσεις όπου χρειαστεί για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Από τη στατιστική γνωρίζουμε ότι μια εκτιμήτρια του χρόνου απόκρισης  $t$  είναι ο μέσος όρος των  $n=20$  μετρήσεων που πήραμε και θα τον συμβολίζουμε  $\bar{X}$ . Επίσης αν  $X_i$  είναι οι μετρήσεις μας μπορούμε να υπολογίσουμε και τη δειγματική διασπορά από τον τύπο

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad [18]$$

Στην περίπτωση μας και γενικά στην πράξη θα θέλαμε να υπολογίσουμε τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, δηλαδή ένα διάστημα στο οποίο η πραγματική τιμή του χρόνου  $t$  θα ανήκει σε αυτό με πιθανότητα 95%. Πάλι είναι γνωστό στη στατιστική ότι ένα επιθυμητό τέτοιο διάστημα έχει κέντρο το  $\bar{X}$  και πλάτος  $2z_{1-\alpha/2}s/\sqrt{n}$  όπου στην περίπτωση μας  $\alpha=0.95$ ,  $n=20$  και  $s$  η τετραγωνική ρίζα της διασποράς ή αλλιώς η δειγματική τυπική απόκλιση. Η τιμή  $z_{1-\alpha/2}$  είναι μια σταθερή τιμή και υπολογίζεται, είτε από τους πίνακες της κανονικής κατανομής, είτε από τους πίνακες της κατανομής Student με  $n-1$  βαθμούς ελευθερίας. Η πρώτη προτιμάται όταν το  $n$  είναι μεγάλο (συνήθως μεγαλύτερο από 30) οπότε στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιήσουμε τη Student με 19 βαθμούς ελευθερίας που δίνει  $z_{1-\alpha/2} = 2.093$ .

Θεωρούμε ότι το διάστημα εμπιστοσύνης θα είναι ικανοποιητικό αν το πλάτος του είναι μικρότερο από το 10% της δειγματικής μέσης τιμής. Αυτό όντως το πετύχαμε με τις 20 μετρήσεις και μάλιστα το πλάτος σχεδόν παντού ήταν μικρότερο και από 5%.

Τέλος θα ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα και θα βγάλουμε συμπεράσματα για το χρόνο απόκρισης, όπως και την ποιότητα της λύσης και πόσο εύκολα μπορεί να εκτιμηθεί. Προφανώς θα παραλείψουμε από αυτή την ανάλυση τους επιλυτές που δεν έδωσαν αποτελέσματα

## 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.2.1 ALPHA ECP

Ο επιλυτής αυτός σπάνια καταλήγει στη βέλτιστη λύση. Συνήθως βγάζει αντικειμενική συνάρτηση 0 που συμβαίνει όταν δε βρίσκει κάποια ανάθεση των εργασιών στους

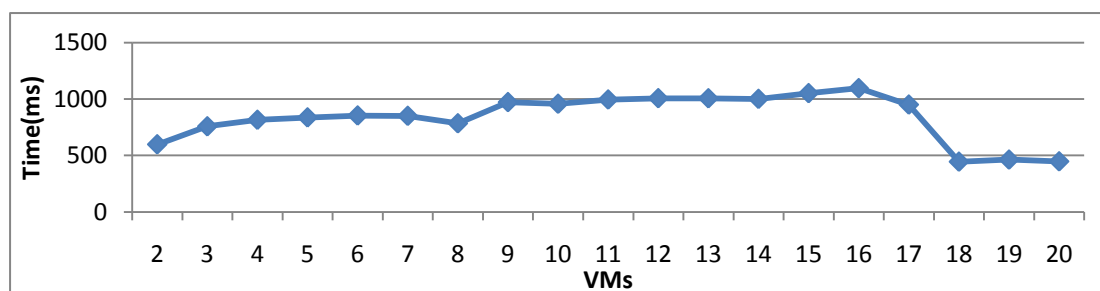
εξυπηρετητές. Όπως θα φανεί και στα αποτελέσματα που ακολουθούν, εκτός μίας διάταξης στην περίπτωση των εικονικών μηχανών, σε κάποιες διατάξεις οι λύσεις είναι σωστές γιατί δεν υπάρχει δυνατή ανάθεση.

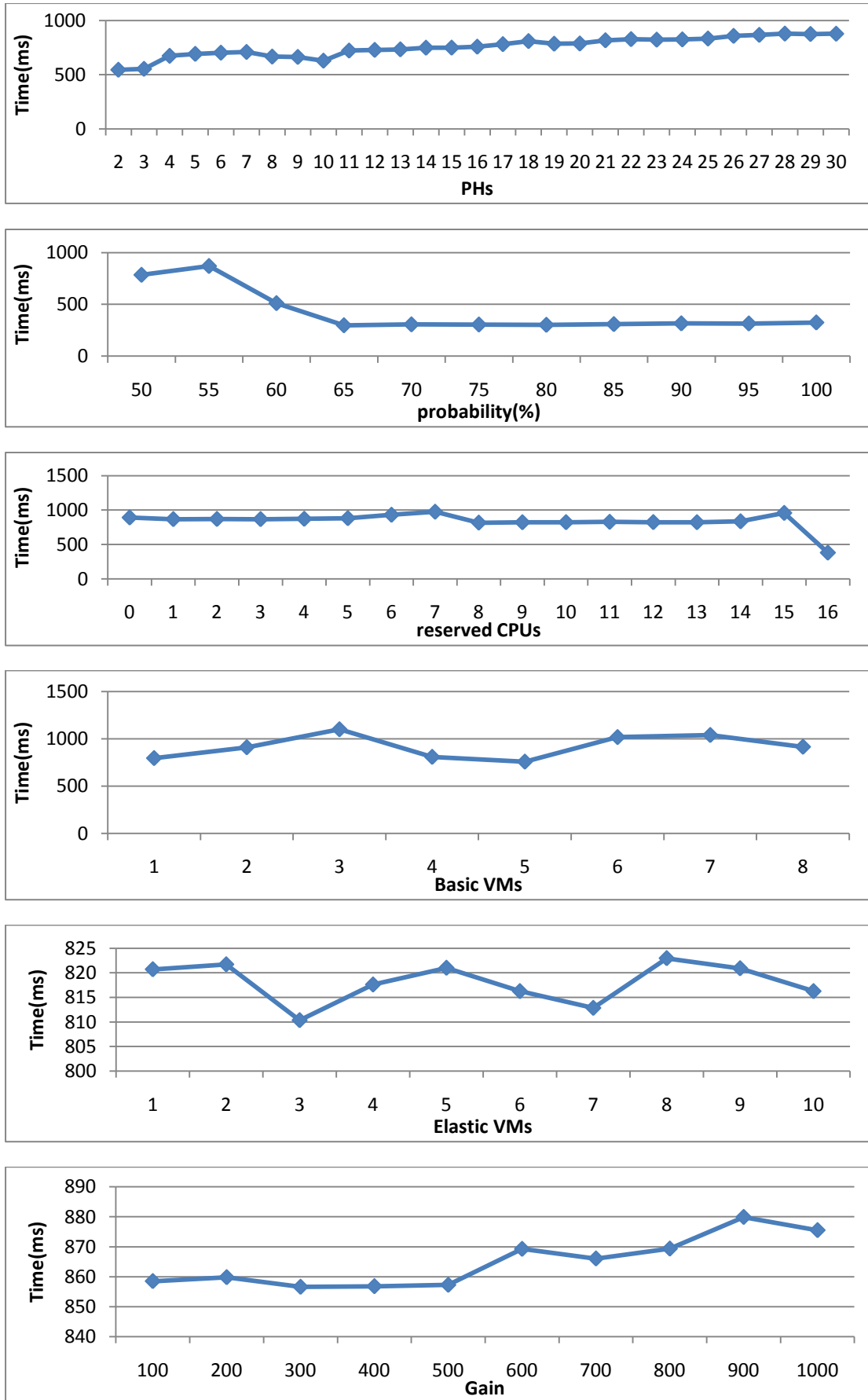
**Πίνακας 2: Αποτελέσματα ποιότητας AlphaECP**

Παράμετροι Εισόδου	Αποτέλεσμα επιλυτή	Τιμή μεταβαλλόμενης παραμέτρου
Εικονικές μηχανές	SA-BS	2
	SNA-W	3-20
Εξυπηρετητές	SNA-W	2-30
Πιθανότητα διαθεσιμότητας	SNA-W	50-60
	SNA-C	65-100
Αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών	SNA-W	1-16
	SNA-C	0
Αριθμός βασικών εικονικών μηχανών	SNA-W	1-8
Αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών	SNA-W	1-10
Κέρδη υπηρεσιών	SNA-W	100-1000

Αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ότι αν και βρίσκει το σημείο της λύσης δεν καταφέρνει να λύσει όλους τους μη γραμμικούς περιορισμούς στο σημείο αυτό οπότε δεν το θεωρεί αποδεκτό.

Παρακάτω βλέπουμε γενικά ότι είναι αρκετά γρήγορος παρόλο που δεν είναι αξιόπιστος.





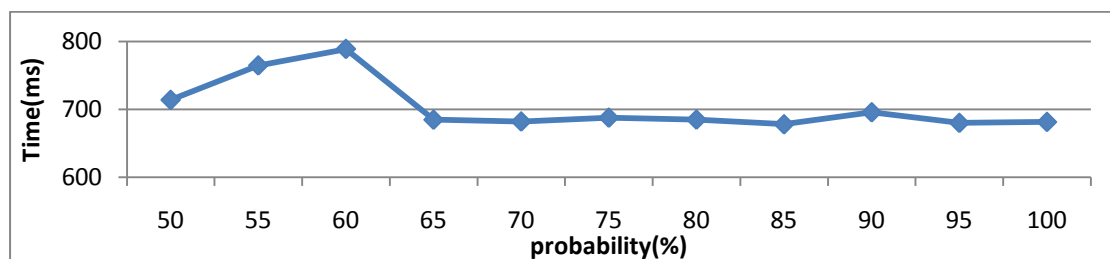
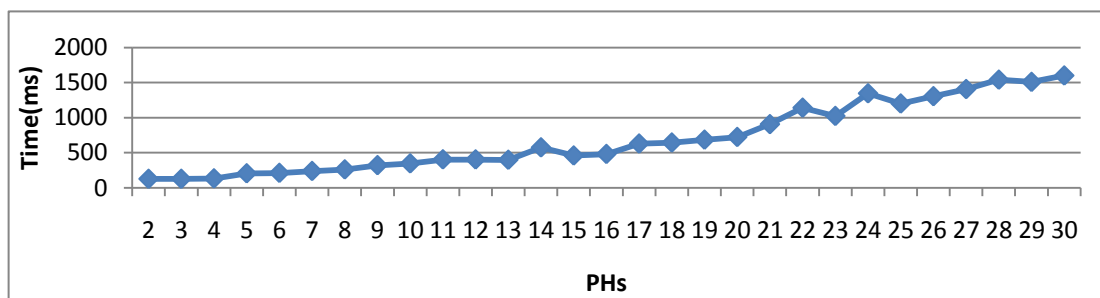
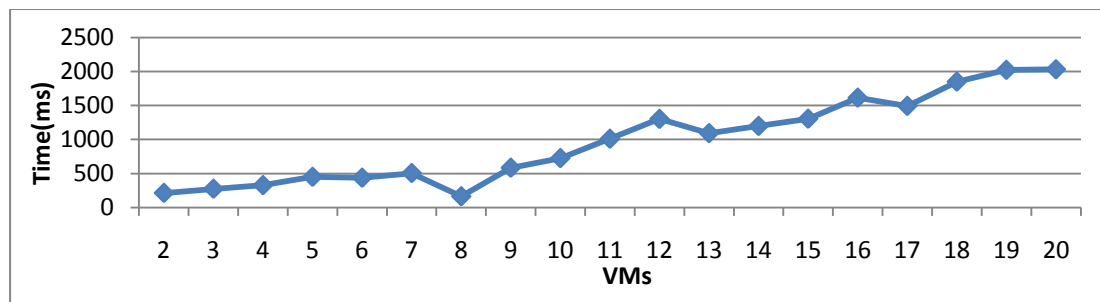
Εικόνα 2: Διαγράμματα χρόνων AlphaECP

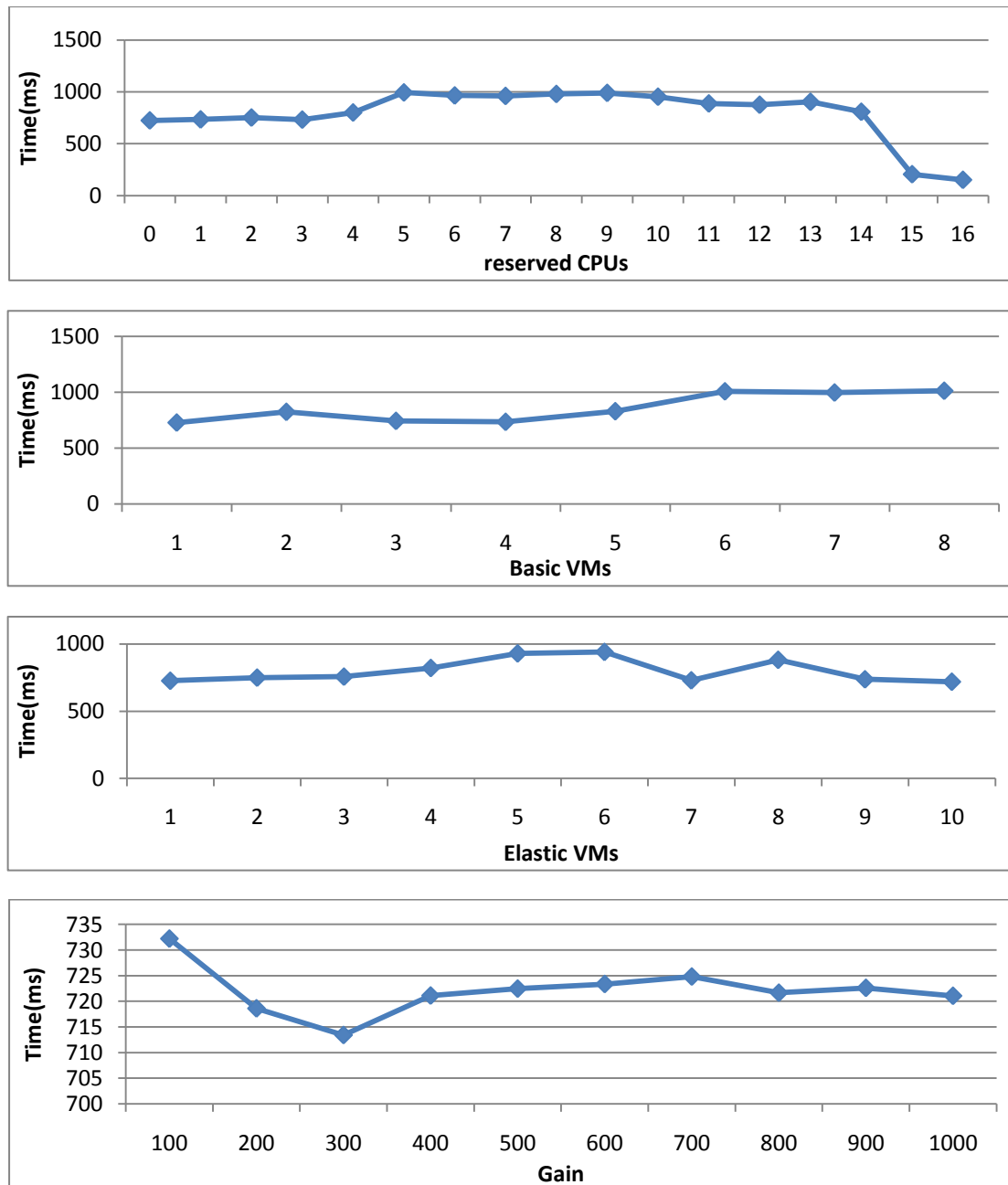
Εκτιμούμε ότι θα βρίσκει πάντα το σωστό αποτέλεσμα όταν η υπηρεσία δε γίνεται αποδεκτή και σε πολύ απλές διατάξεις όταν αυτή γίνεται αποδεκτή. Γενικά παρατηρούμε ότι υπάρχει μικρή διακύμανση στα περισσότερα διαγράμματα. Επίσης είναι αρκετά γρήγορος αφού δεν ξεπερνάει σχεδόν ποτέ το 1 δευτερόλεπτο ο χρόνος απόκρισης του.

Με βάση τα παραπάνω η εκτίμηση του χρόνου απόκρισης ίσως θα μπορούσε να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα και με γραμμική παρεμβολή. Το πότε θα δώσει έγκυρο αποτέλεσμα κι αυτό εύκολα μπορεί να εκτιμηθεί αν και δε φαίνεται ότι θα είναι από τους πιο χρήσιμους επιλυτές λόγω της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του

### 5.2.2 BARON

Ο επιλυτής αυτός είναι καθολικός(global solver) και βρίσκει πάντα τη βέλτιστη λύση όταν τερματίζει φυσιολογικά. Στο μοντέλο μας δεν τίθεται θέμα μη σωστού τερματισμού και γενικά η λύση του συγκρινόμενη και με άλλους καθολικούς επιλυτές είναι όντως βέλτιστη στα παραδείγματα που εξετάζουμε. Τον θεωρούμε σημείο αναφοράς και με το αποτέλεσμα του συγκρίνονται και τα αποτελέσματα των υπόλοιπων επιλυτών. Προφανώς δε θα αναλύσουμε την ποιότητα του, αφού είναι πάντα η καλύτερη, αλλά μόνο τους χρόνους του που φαίνονται παρακάτω.





Εικόνα 3: Διαγράμματα χρόνων BARON

Κατά τη μεταβολή του αριθμού των εικονικών μηχανών και των εξυπηρετητών η αύξηση στο χρόνο απόκρισης είναι κατά προσέγγιση γραμμική. Καθώς αυξάνεται η πιθανότητα διαθεσιμότητας η αύξηση φαίνεται να είναι αρχικά γραμμική και μετά πέφτει σε μια σταθερή τιμή. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί κατά την αύξηση αυξάνεται και ο αριθμός των ελαστικών εικονικών μηχανών που πρέπει να αναθέσουμε και από ένα σημείο και μετά ο αριθμός αυτός ξεπερνάει το μέγιστο επιτρεπτό και η διαδικασία αναζήτησης αποτυγχάνει στον ίδιο περίπου χρόνο, αφού το μοντέλο δεν αλλάζει. Στο διάγραμμα του αριθμού των δεσμευμένων επεξεργαστών βλέπουμε ότι ο χρόνος είναι τμηματικά σταθερός και αυτό πιθανότατα έχει να κάνει με τις ιδιαιτερότητες του επιλυτή. Σε πολλούς δεσμευμένους επεξεργαστές ο χρόνος μειώνεται σημαντικά κι αυτό

γιατί μειώνονται οι περιπτώσεις που έχει να εξετάσει. Ο αριθμός βασικών και ελαστικών εικονικών μηχανών και η τιμή του κέρδους δε φαίνεται να επηρεάζουν ιδιαίτερα το χρόνο απόκρισης

Η εκτίμηση του χρόνου απόκρισης φαίνεται ότι θα είναι αξιόπιστη και σε λίγες μόνο περιπτώσεις μπορεί να έχει σημαντικό σφάλμα. Τη βέλτιστη λύση περιμένουμε να τη βρίσκει πάντα οπότε εκεί η πρόβλεψη θα είναι ουσιαστικά τετριμμένη.

### 5.2.3 COINBONMIN

Ο επιλυτής αυτός δε δίνει πάντα τις βέλτιστες λύσεις και κάποιες φορές μπορεί να μην επιστρέψει και λύση όπως φαίνεται και από τα παρακάτω δεδομένα.

**Πίνακας 3: Αποτελέσματα ποιότητας CoinBonmin**

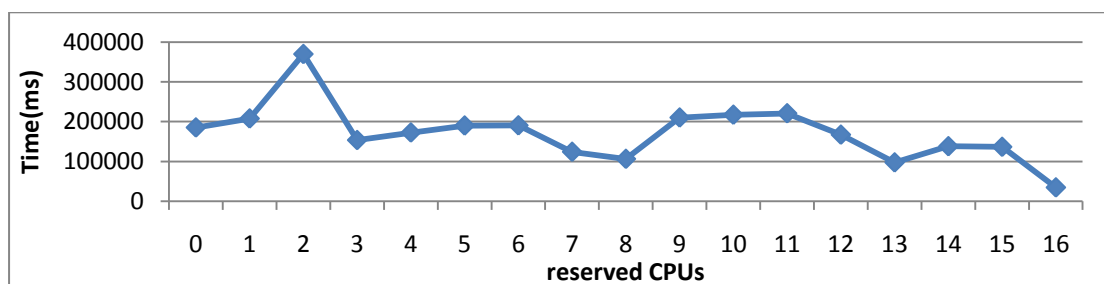
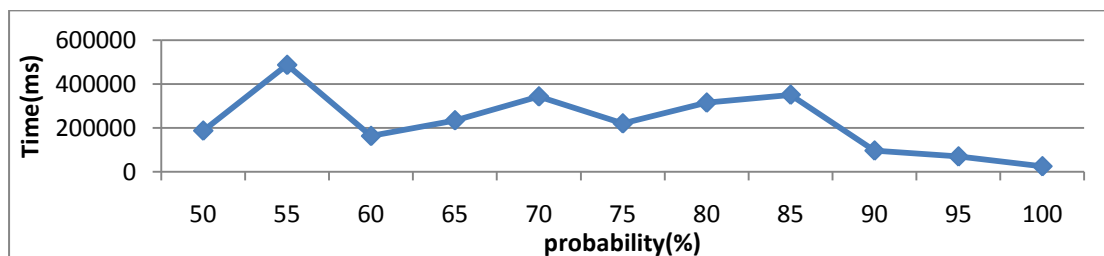
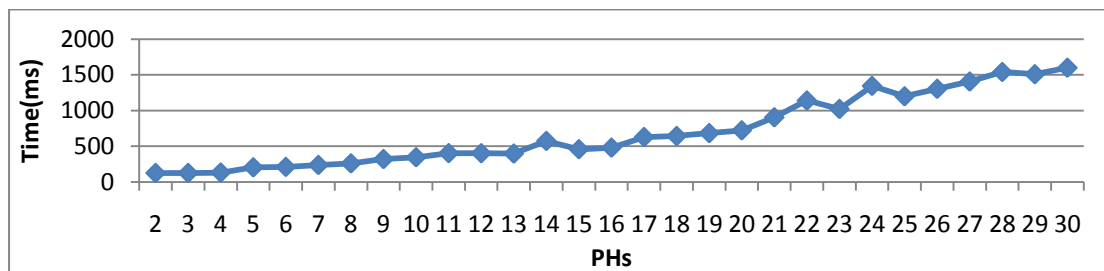
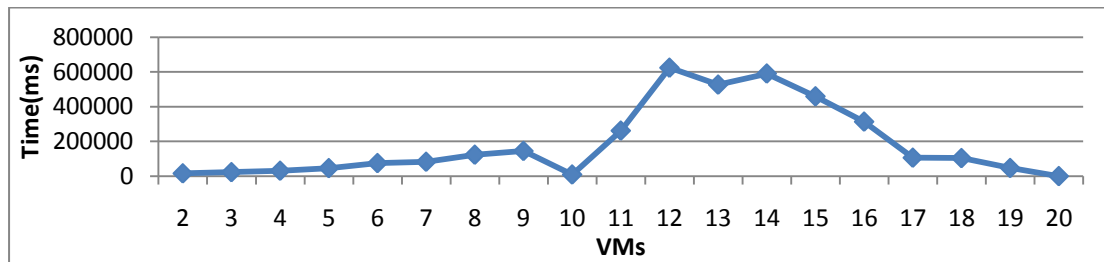
Παράμετροι Εισόδου	Αποτέλεσμα επιλυτή	Τιμή μεταβαλλόμενης παραμέτρου
Εικονικές μηχανές	NS	14-20
	SA-BS	2-13
Εξυπηρετητές	NS	30
	SA-BS	2-29
Πιθανότητα διαθεσιμότητας	SA-BS	50-55
	SNA-W	60
	SNA-C	65-100
Αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών	SA-NBS	8
	SA-BS	1-7,9-16
	SNA-C	0
Αριθμός βασικών εικονικών μηχανών	SA-BS	1-8
Αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών	SA-BS	1-10
Κέρδη υπηρεσιών	SA-BS	100-1000

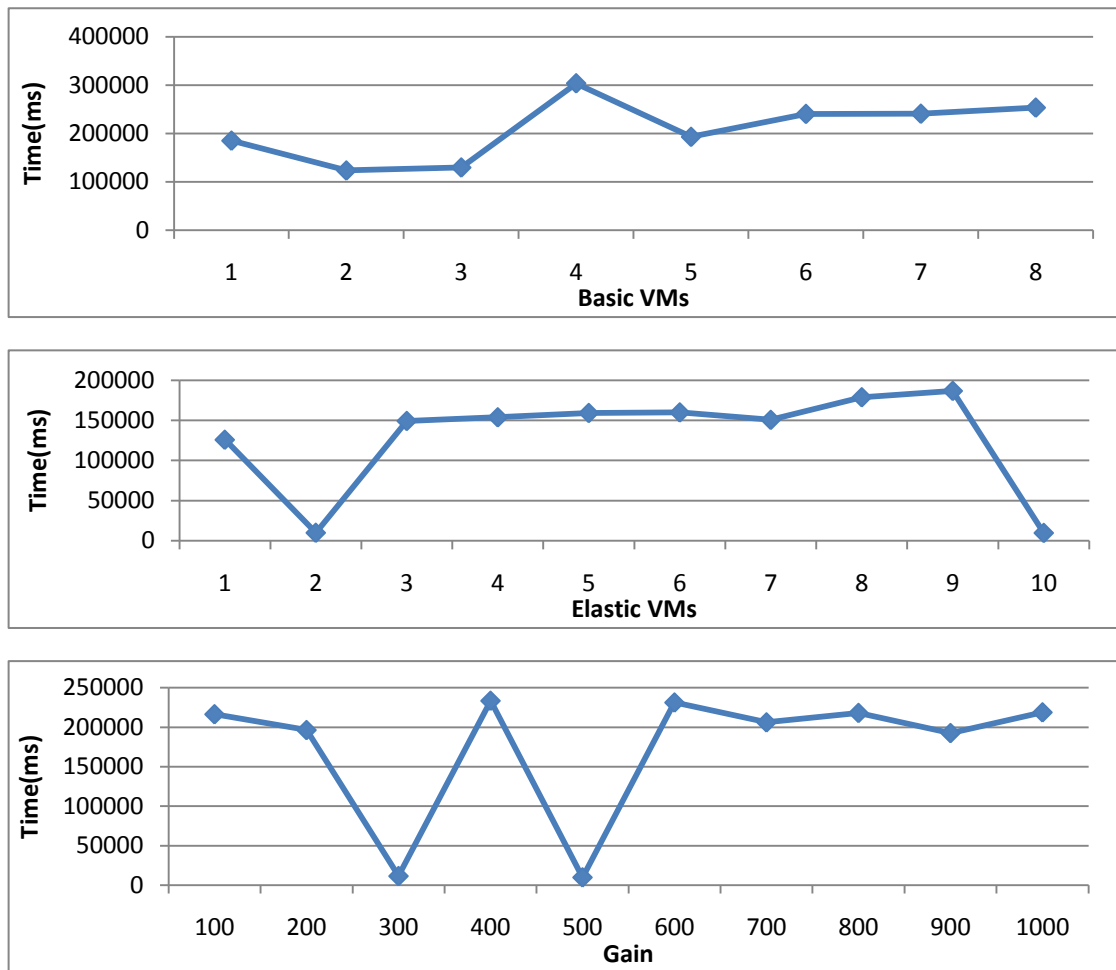
Σε περίπτωση που αυξηθούν οι εικονικές μηχανές η αναζήτηση του βέλτιστου είναι δυσκολότερη και αποτυγχάνει. Στην περίπτωση των 30 εξυπηρετητών το μοντέλο δεν τερμάτισε φυσιολογικά λόγω υπέρβασης χρόνου και πάλι δεν επέστρεψε λύση. Σε άλλες



δύο περιπτώσεις δε βρέθηκε η βέλτιστη τιμή πιθανόν λόγω μεγάλου χώρου αναζήτησης. Για παράδειγμα όταν η πιθανότητα διαθεσιμότητας θέλουμε να είναι 60% υπάρχει εφικτή λύση αλλά χρησιμοποιεί πολλές ελαστικές μηχανές. Επίσης για 8 επεξεργαστές η λύση είναι κοντά στη βέλτιστη αλλά τυχαίνει να είναι τοπικά βέλτιστη. Ο επιλυτής αυτός έτσι κι αλλιώς δεν εγγυάται ότι η λύση θα είναι ολικά βέλτιστη

Αν και τις περισσότερες φορές δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορος. Επίσης οι τιμές του χρόνου απόκρισης έχουν μεγάλες διακυμάνσεις και η συμπεριφορά του είναι γενικά απρόβλεπτη όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν.





Εικόνα 4: Διαγράμματα χρόνων CoinBonmin

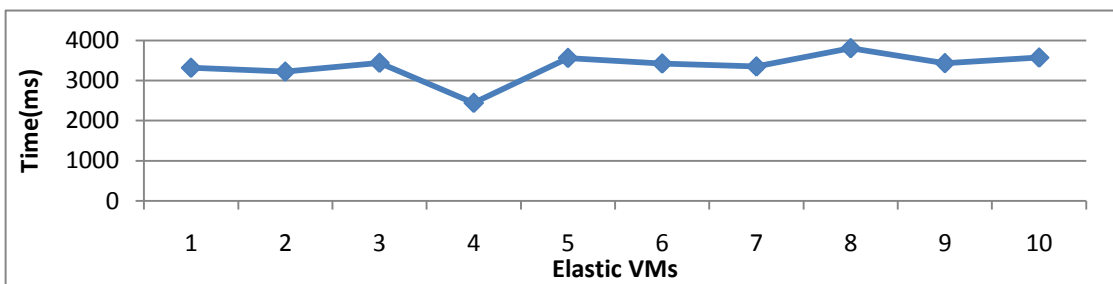
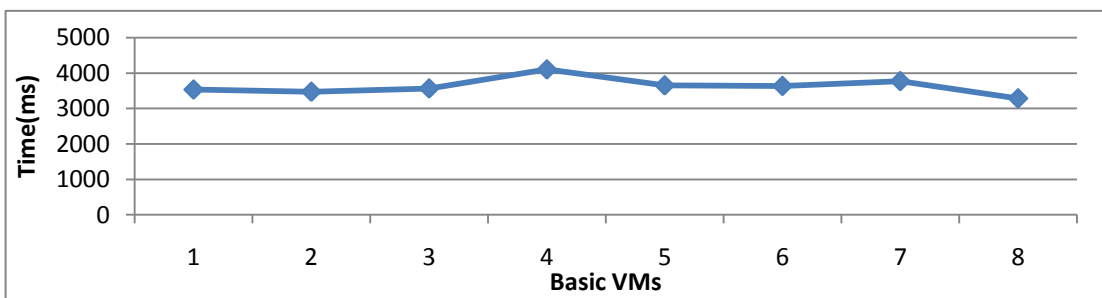
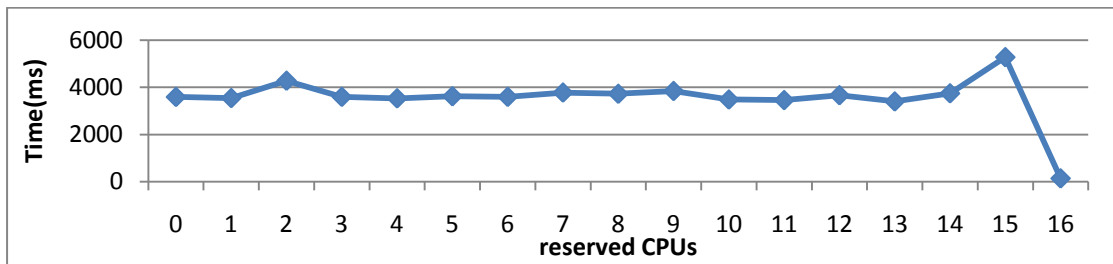
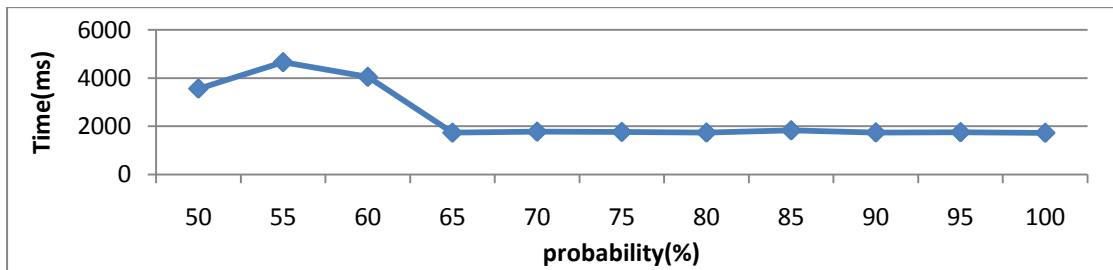
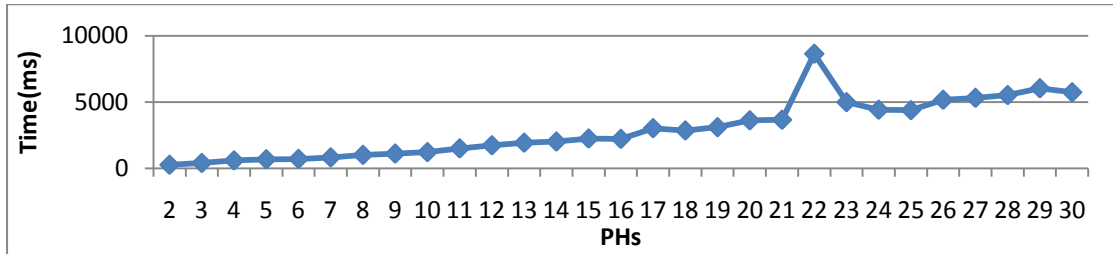
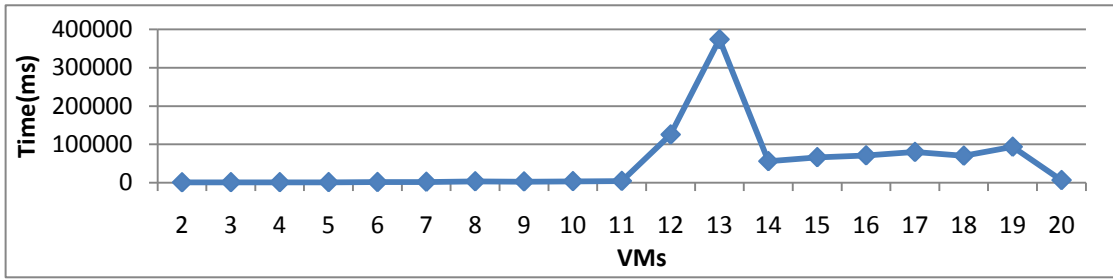
Μπορούμε να δούμε ότι με την αύξηση των εικονικών μηχανών και των εξυπηρετητών υπάρχει και μια τάση αύξησης του χρόνου απόκρισης. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις όμως ο επιλυτής δεν ακολουθεί κάποιο κανόνα και οι τοπικές μεταβολές στους χρόνους πιθανόν έχουν να κάνουν με τον αλγόριθμο που έχει κάποιο βαθμό τυχαιότητας.

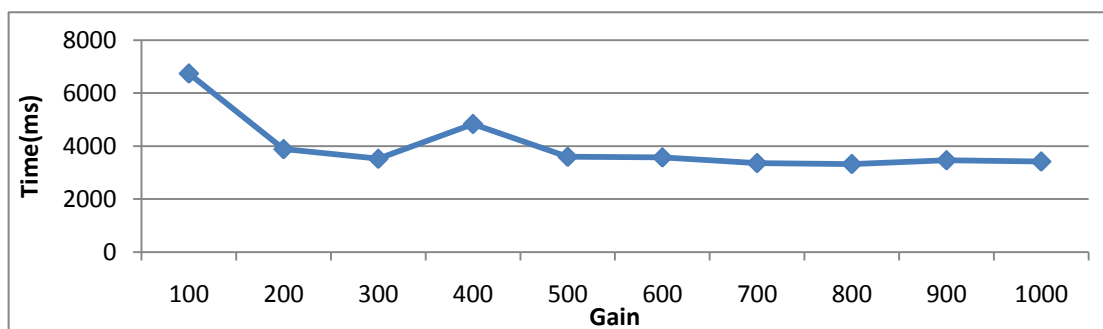
Συνοπτικά δεν περιμένουμε καλές εκτιμήσεις για αυτόν τον επιλυτή αλλά ακόμα και αν οι εκτιμώμενοι χρόνοι είναι σωστοί σίγουρα δε θα είναι οι μικρότεροι δυνατοί. Εκτός από ορισμένες δύσκολες περιπτώσεις θα περιμένουμε πάντα να δίνει αποτέλεσμα. Συνεπώς η πρόβλεψη της ποιότητας της λύσης θα δίνει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα.

#### 5.2.4 COINCOUENNE

Βρίσκει πάντα τη βέλτιστη λύση αν και σε πολύ μεγάλα μοντέλα μπορεί να υπερβεί το χρόνο εκτέλεσης. Κάτι τέτοιο όμως δεν συνέβη στα παραδείγματα που εξετάσαμε. Για τους παραπάνω λόγους δε θα εξετάσουμε την ποιότητα της λύσης που περιμένουμε πάντα ή σχεδόν πάντα να είναι η καλύτερη

Αν και αυτός ο επιλυτής δίνει πάντοτε το βέλτιστο αποτέλεσμα δεν είναι τόσο γρήγορος όσο ο BARON όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα.





Εικόνα 5: Διαγράμματα χρόνων CoinCouenne

Σε ορισμένες διατάξεις υπάρχουν απότομες μεταβολές στο χρόνο απόκρισης κάτι που θα έδινε μεγάλα σφάλματα σε μια προσπάθεια προσέγγισης του αλλά στις περισσότερες διατάξεις έχει προβλέψιμη συμπεριφορά. Αυτό γιατί στις περισσότερες διατάξεις φαίνεται να έχει σταθερή απόκριση με εξαίρεση κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις. Ακόμα η αύξηση στον αριθμό εξυπηρετητών δείχνει μια σχετικά σταθερή ανοδική τάση.

Συμπερασματικά η πρόβλεψη χρόνου απόκρισης μπορεί να έχει σημαντικό σφάλμα σε κάποιες περιπτώσεις αλλά ο χρόνος αυτός συνήθως δεν ξεπερνά τα μερικά δευτερόλεπτα και η βελτιστότητα της λύσης είναι εγγυημένη οπότε θα είναι χρήσιμος γενικά.

### 5.2.5 DICOPT

Ο επιλυτής αυτός επιστρέφει πάντα λύση αλλά δεν υπάρχει εγγύηση ότι θα είναι βέλτιστη σε αυτό το πρόβλημα και πολλές φορές καταλήγει σε μη αποδοχή της υπηρεσίας έστω κι αν αυτό είναι εφικτό.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα ποιότητας DICOPT

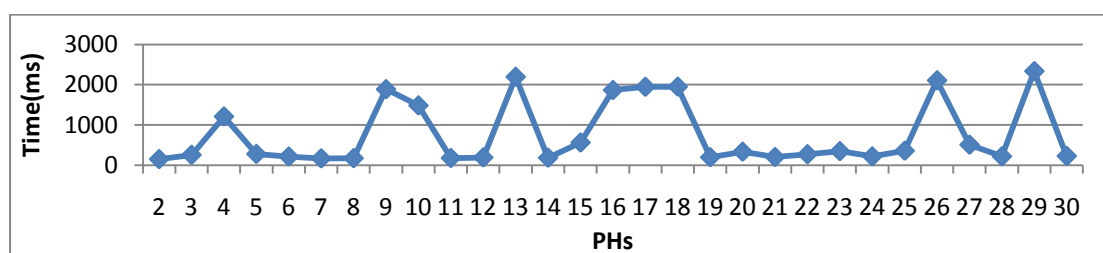
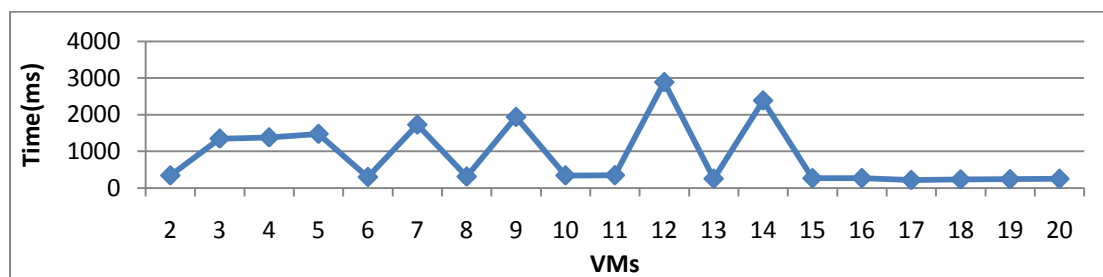
Παράμετροι Εισόδου	Αποτέλεσμα επιλυτή	Τιμή μεταβαλλόμενης παραμέτρου
Εικονικές μηχανές	SA-BS	2-12, 14
	SNA-W	13, 15-20
Εξυπηρετητές	SA-BS	3-5, 9-10, 13, 15-18, 20, 22-30
	SNA-W	2, 6-8, 11-12, 14, 19, 21
Πιθανότητα διαθεσιμότητας	SA-NBS	55-60
	SA-BS	50
	SNA-C	65-100
Αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών	SA-BS	1-3, 12-14, 16
	SNA-W	4-11, 15

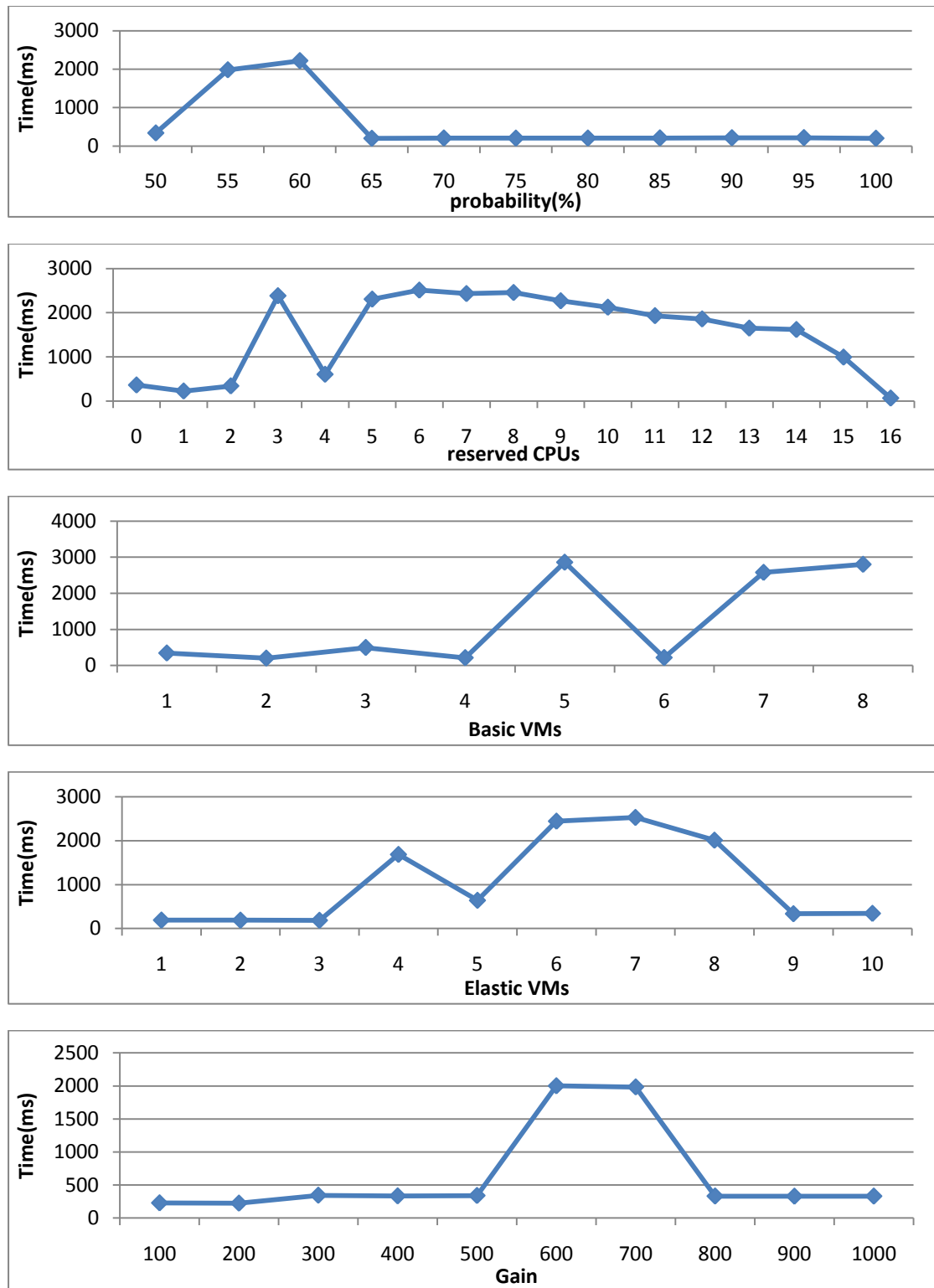
	SNA-C	0
Αριθμός βασικών εικονικών μηχανών	SA-BS	1, 3-8
	SNA-W	2
Αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών	SA-BS	4-10
	SNA-W	1-3
Κέρδη υπηρεσιών	SA-BS	300-1000
	SNA-W	100-200

Δεν μπορούμε να εντοπίσουμε παντού κάποια κανονικότητα ως προς πότε θα βρεθεί σίγουρα λύση.

Αυξάνοντας τον αριθμό των εικονικών μηχανών βλέπουμε ότι σίγουρα το πρόβλημα δυσκολεύει όπως και η εύρεση της βέλτιστης λύσης. Από την άλλη αυξάνοντας τους εξυπηρετητές έχουμε το αντίστροφο αποτέλεσμα. Για μικρό αριθμό εξυπηρετητών πρακτικά δεν μπορούμε να αποφανθούμε για το αν θα βρεθεί λύση. Το αποτέλεσμα μπορεί να βασίζεται και σε λεπτομέρειες του αλγορίθμου που δεν εξετάζουμε στη παρούσα εργασία. Επίσης όταν η πιθανότητα διαθεσιμότητας είναι 55% ή 60% το μοντέλο απαιτεί να ανατεθούν και ελαστικές εικονικές μηχανές στους εξυπηρετητές κάτι που κάνει πιο δύσκολο το πρόβλημα και εξαντλείται ο μέγιστος αριθμός επιτρεπτών επαναλήψεων. Για τον αριθμό των ελεύθερων επεξεργασιών ανά εξυπηρετητή βλέπουμε γενικά ότι είναι πιο εύκολο να βρεθεί λύση είτε όταν υπάρχουν πολλοί ελεύθεροι είτε όταν υπάρχουν λίγοι. Οι υπόλοιπες παράμετροι επηρεάζουν την εύρεση ή μη της λύσης κατά έναν απροσδιόριστο τρόπο

Ο επιλυτής αυτός είναι σε γενικές γραμμές γρήγορος αν και δεν είναι αρκετά αξιόπιστος. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω





Εικόνα 6: Διαγράμματα χρόνων DICOPT

Η μόνη περίπτωση που υπάρχει σταθερότητα στο χρόνο απόκρισης είναι όταν μεταβάλλουμε την πιθανότητα διαθεσιμότητας κάτι που συμβαίνει στους περισσότερους επιλυτές. Τις διακυμάνσεις που υπάρχουν στις υπόλοιπες παραμέτρους μπορούμε πάλι να τους αποδώσουμε στην τυχαιότητα του αλγορίθμου επίλυσης. Με τον όρο τυχαιότητα εννοούμε τη μη προβλεψιμότητα του αλγορίθμου που εξαρτάται από το αρχικό σημείο εξέτασης και το χώρο αναζήτησης, δηλαδή παράγοντες που δεν

αλλάζουν το χρόνο εκτέλεσης μεταξύ των εκτελέσεων με ίδια είσοδο αλλά μπορούν να τον αλλάξουν σημαντικά όταν μια από τις παραμέτρους εισόδου αλλάξει

Επίσης με μια άμεση σύγκριση μπορούμε να δούμε ότι όταν η λύση που επιστρέφεται είναι λάθος ο χρόνος είναι πολύ μικρότερος από άλλες περιπτώσεις και περίπου ίσος με 250ms όταν μεταβάλλουμε τον αριθμό εικονικών μηχανών, τον αριθμό των εξυπηρετητών, τις βασικές εικονικές μηχανές τις ελαστικές εικονικές μηχανές και το κέρδος.

Γενικά δεν μπορεί να προβλεφθεί εύκολα ούτε ο χρόνος απόκρισης του ούτε το πότε θα βγάλει αποτέλεσμα αλλά σε αρκετές περιπτώσεις είναι γρήγορος και είναι ανταγωνιστικός.

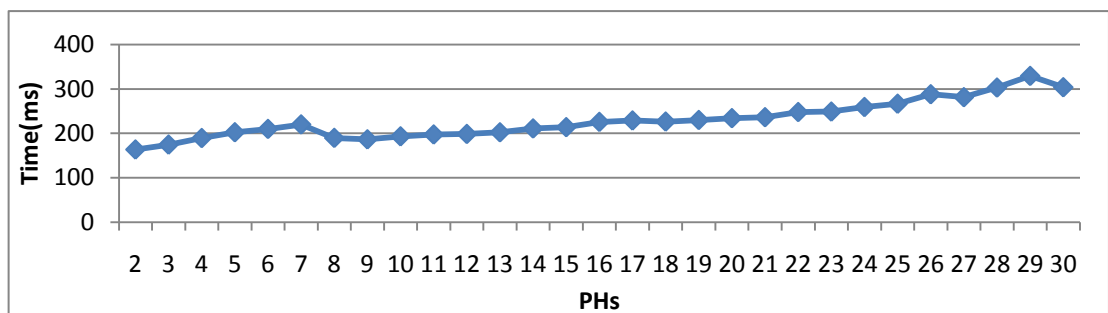
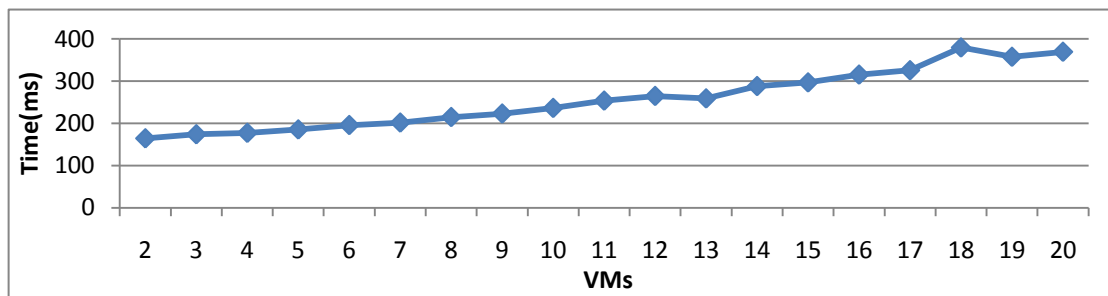
### 5.2.6 KNITRO

Ο επιλυτής αυτός εξαντλεί το μέγιστο χρόνο εκτέλεσης (1000sec) πάντα και δεν καταλήγει ποτέ στο βέλτιστο αποτέλεσμα. Η μέθοδος που ακολουθεί είναι να ξεκινάει την αναζήτηση λύσης από ένα εφικτό σημείο και να πηγαίνει σε γειτονικά. Στην περίπτωση μας, που το πρόβλημα είναι μη κυρτό, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το αρχικό σημείο να μην είναι κατάλληλο και όλα τα επόμενα σημεία να είναι μη εφικτά<sup>3</sup> σύμφωνα με πληροφορίες που καταγράφει το GAMS.

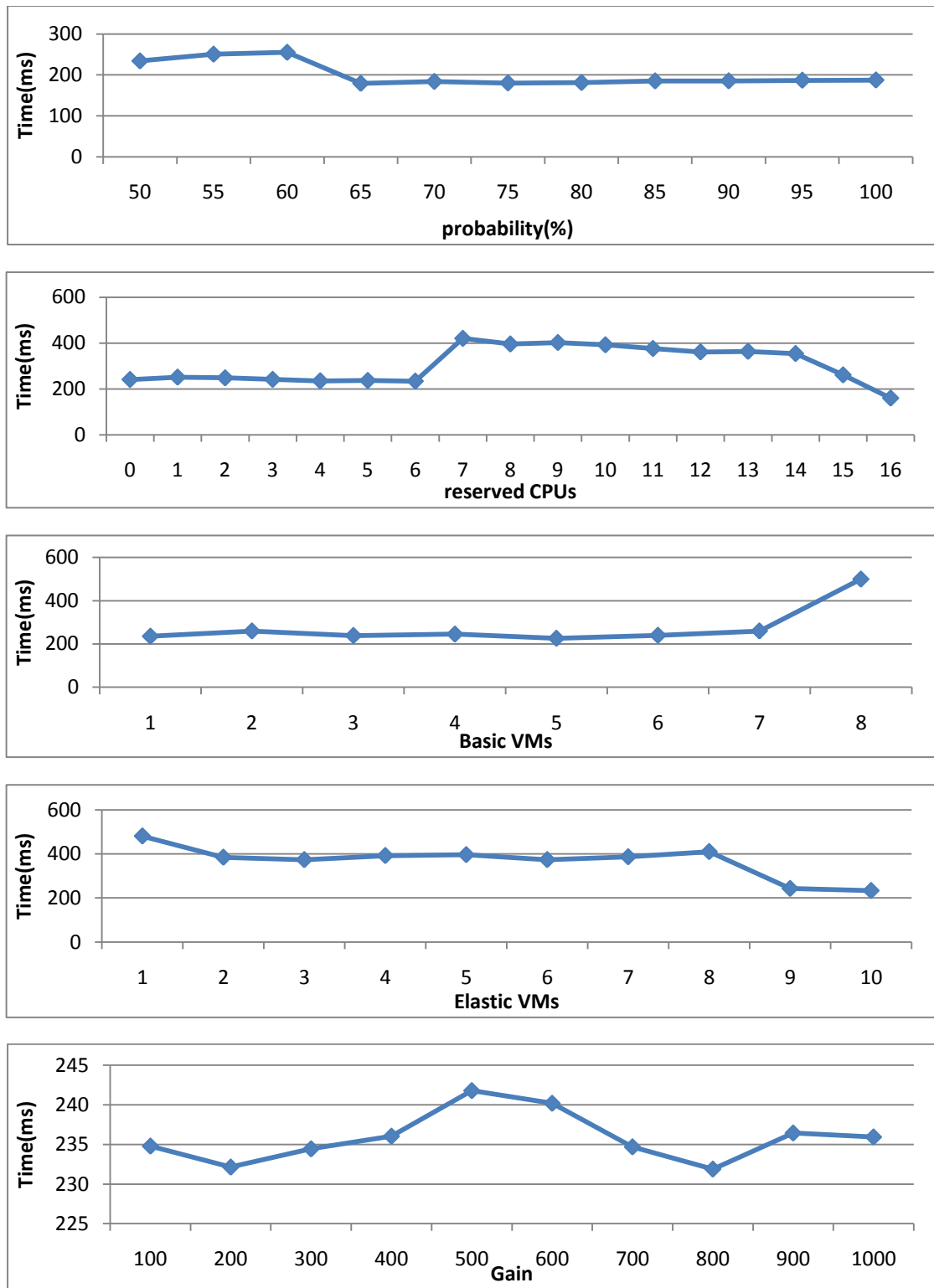
### 5.2.7 LINDOGLOBAL

Άλλος ένας επιλυτής που εγγυάται πάντα ότι βρίσκει τη βέλτιστη λύση όταν τερματίζει. Τα αποτελέσματα ποιότητας λύσης συνεπώς παραλείπονται γιατί δεν έχουν κάτι να προσθέσουν.

Ο επιλυτής αυτός φαίνεται να είναι ο καλύτερος μέχρι στιγμής καθώς και δίνει πάντα το βέλτιστο αποτέλεσμα και πρακτικά δεν ξεπερνάει ποτέ το μισό δευτερόλεπτο σαν χρόνο απόκρισης όπως φαίνεται στα αποτελέσματα.



<sup>3</sup> infeasible



Εικόνα 7: Διαγράμματα χρόνων LindoGlobal

Όπως παρατηρούμε στα διαγράμματα δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο απόκρισης και κάνει εύκολη και την πρόβλεψη του. Επίσης η αξιοπιστία της λύσης είναι δεδομένη οπότε δε χρειάζεται να συζητάμε για την εκτίμηση της.



### 5.2.8 OQNLP

Τερματίζει πάντα χωρίς να επιστρέφει λύση. Ο επιλυτής αυτός ξεκινάει από διάφορα τυχαία σημεία και αναζητεί λύσεις κοντά σε αυτά. Στην περίπτωση μας καταλήγει πάντα σε μη εφικτά σημεία (infeasible points). Αυτό δε σημαίνει βέβαια ότι και το πρόβλημα δεν είναι εφικτό αφού προφανώς έχει λύση, απλά ο αλγόριθμος δεν είναι κατάλληλος για την επίλυση του. Πιθανόν ο χώρος των εφικτών σημείων είναι περιορισμένος και τα σημεία που επιλέγει ο αλγόριθμος αν και επιλεγμένα με ειδικά κριτήρια σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του επιλυτή δεν είναι τα επιθυμητά.[4]

### 5.2.9 SBB

Σε γενικές γραμμές ο επιλυτής αυτός συμπεριφέρεται όπως ο DICOPT όμως σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να αποδεχθεί την υπηρεσία όμως η λύση του να μην είναι η βέλτιστη, κάτι που δε συνέβη στον DICOPT, όπως μπορεί και να μην επιστρέψει καθόλου λύση.

**Πίνακας 5: Αποτελέσματα ποιότητας SBB**

Παράμετροι Εισόδου	Αποτέλεσμα επιλυτή	Τιμή μεταβαλλόμενης παραμέτρου
Εικονικές μηχανές	SA-NBS	16
	SA-BS	2-12, 14-15
	SNA-W	13, 17-20
Εξυπηρετητές	SA-NBS	11, 21
	SA-BS	3-5, 9-10, 13, 15-20, 22-30
	SNA-W	2, 6-8, 12, 14
Πιθανότητα διαθεσιμότητας	NS	60
	SA-BS	50-55
	SNA-C	65-100
Αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών	SA-NBS	6-7
	SA-BS	1-3, 12-14, 16
	SNA-W	4-5, 8-11, 15
	SNA-C	0
Αριθμός βασικών εικονικών μηχανών	NS	4, 8
	SA-BS	1, 3, 5-6
	SNA-W	2,7
Αριθμός ελαστικών	SA-BS	4-10

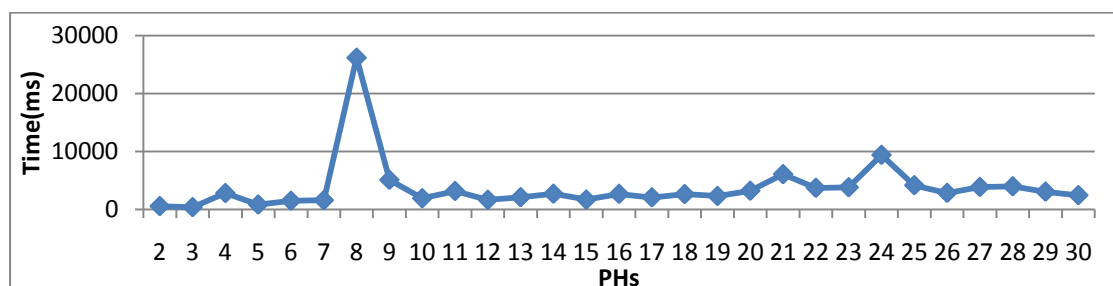
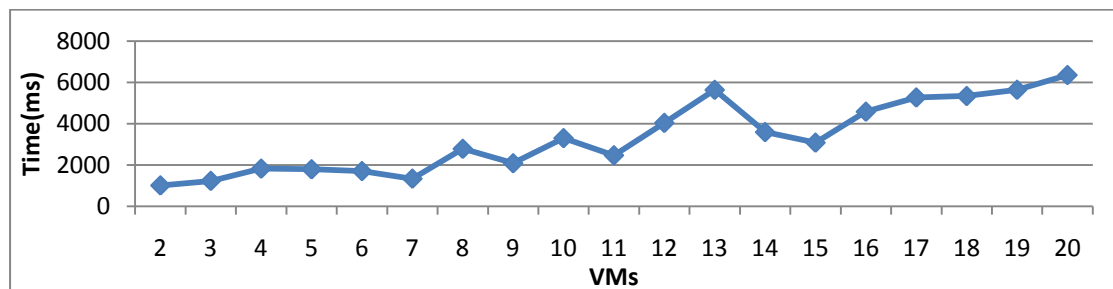
εικονικών μηχανών	SNA-W	1-3
Κέρδη υπηρεσιών	SA-BS	200-1000
	SNA-W	100

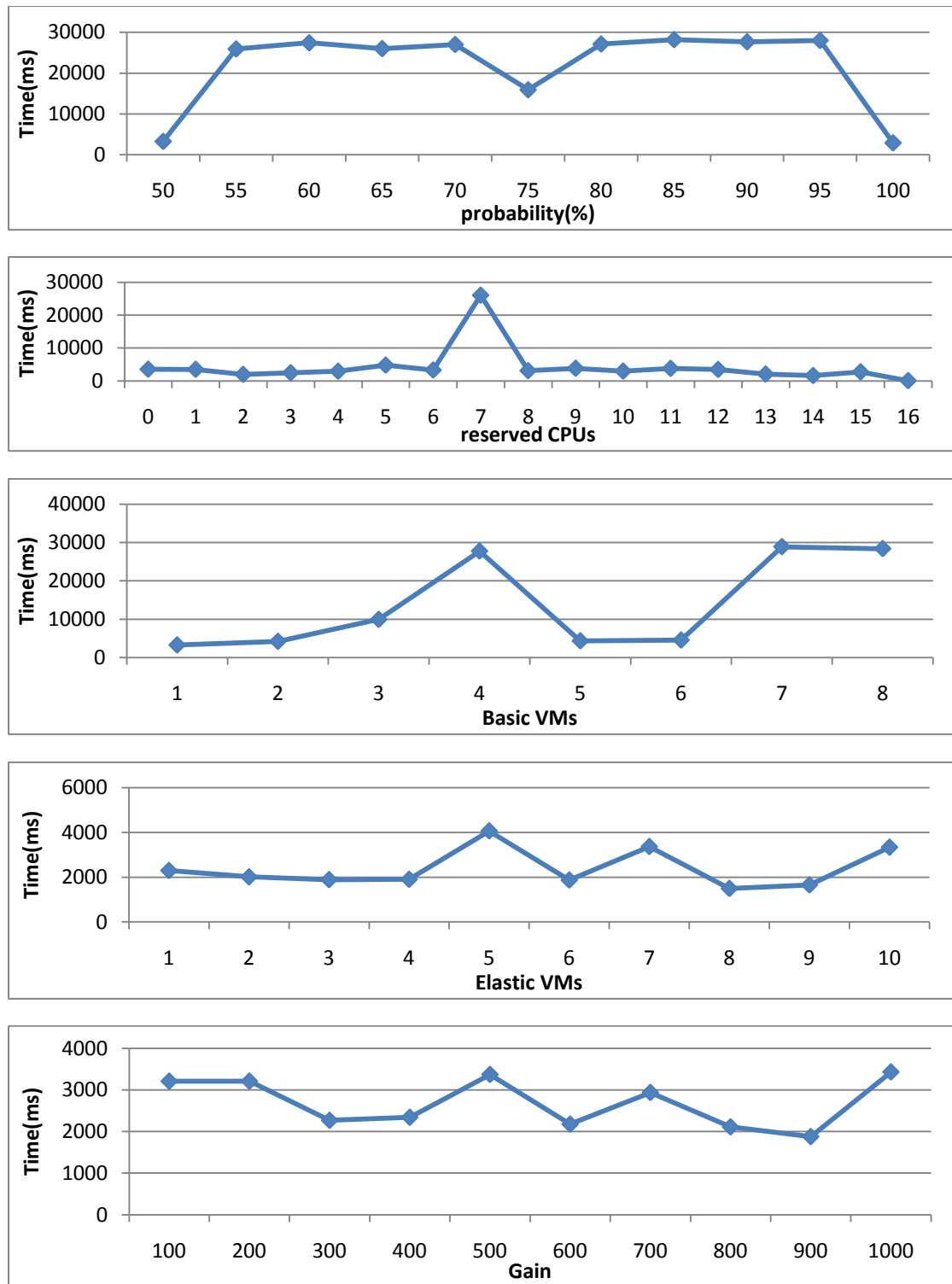
Οι αρχικές διαπιστώσεις είναι φανερές στις τέσσερις πρώτες παραμέτρους. Μικρές είναι οι διαφορές με τον επιλυτή DICOPT όπως στο ότι στη «δύσκολη» περίπτωση της πιθανότητας διαθεσιμότητας 60% δεν επιστρέφει λύση.

Όταν μεταβάλλουμε τον αριθμό των βασικών εικονικών μηχανών, έχουμε πάλι μια απροσδιόριστη συμπεριφορά. Φαίνεται ότι είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους αφού άλλοτε δε βρίσκει λύση (εξαντλούνται οι κόμβοι που εξετάζονται) άλλοτε βρίσκει την αναμενόμενη βέλτιστη λύση και άλλες επιστρέφει λύση χωρίς να είναι η καλύτερη

Οι τελευταίες παράμετροι μοιάζουν κι αυτοί στη συμπεριφορά με τον DICOPT. Υπάρχει αλλαγή στη συμπεριφορά του αποτελέσματος αν και δε μπορούμε να προσδιορίσουμε σε όλες το λόγο για τον οποίο γίνεται. Αν δούμε τον τελευταίο παράγοντα για παράδειγμα η μεγαλύτερη τιμή κέρδους κάνει την αντικειμενική συνάρτηση μικρότερη και ίσως είναι πιο εύκολο η αναζήτηση να οδηγηθεί στο ελάχιστο της, όμως δεν μπορούμε να πούμε κάτι παρόμοιο και για τις εικονικές μηχανές

Βλέπουμε λοιπόν ότι αυτός ο επιλυτής αρκετές φορές δε δίνει σωστό αποτέλεσμα αλλά και όταν το κάνει δεν είναι πάντα αρκετά γρήγορος οπότε δεν περιμένουμε να είναι από τους καλύτερους.





Εικόνα 8: Διαγράμματα χρόνων SBB

Όπως φαίνεται παραπάνω ο χρόνος απόκρισης δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο όπως και οι περιπτώσεις που δίνει αποτέλεσμα. Στα δύο πρώτα διαγράμματα μόνο φαίνεται μια τάση αύξησης του μέσου χρόνου απόκρισης με την αύξηση των αντίστοιχων παραμέτρων αλλά δεν αποτελεί και κανόνα. Επίσης σε περίπτωση που μεγαλώνει η πιθανότητα διαθεσιμότητας από 65% και πάνω ο χρόνος αυξάνεται πολύ, σε σχέση με άλλους επιλυτές που έπεφτε λίγο, και παραμένει σχετικά σταθερός. Αυτό

γενικά τον κάνει ακατάλληλο όταν αναζητούμε λύση που να απαιτεί και ελαστικές εικονικές μηχανές

Τελικά σε ελάχιστες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει καλύτερος από άλλους επιλυτές ενώ η εκτίμηση του χρόνου απόκρισης του δε θα είναι ιδιαίτερα εύκολη. Εκτιμάμε όμως ότι οι κατά κάποιο τρόπο ασυνέχειες του στα διαγράμματα δεν είναι τόσο μεγάλες όσο στους CoinBonmin και CoinCouenne και θα δίνει καλύτερες εκτιμήσεις.

## 6 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΥΣΗΣ

### 6.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Για την πρόβλεψη του χρόνου απόκρισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που ήδη έχουμε από τις μετρήσεις που κάναμε για να αναλύσουμε τη συμπεριφορά των επιλυτών αλλά μόνο αυτά δεν αρκούν γιατί δεν καλύπτουν όλο το δυνατό πεδίο τιμών.

Οι επιπλέον μετρήσεις έγιναν σε τυχαία παραγόμενα δεδομένα καταγράφοντας για την κάθε διάταξη τις τιμές των παραμέτρων που εξετάζουμε το χρόνο απόκρισης και μια κωδικοποίηση της ποιότητας του αποτελέσματος που αναφέρεται στη συνέχεια.

Η ποιότητα  $q$  του αποτελέσματος μπορεί να πάρει μια τιμή από  $-1$  έως  $1$  και η ερμηνεία της είναι η εξής

- $q=-1$ : η τιμή αυτή δηλώνει ότι το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο βέλτιστο. Το βέλτιστο θεωρούμε ότι είναι η αντικειμενική τιμή της συνάρτησης που επιστρέφει ο BARON
- $q>-1$  και  $q<=0$ : σε περίπτωση που η βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δεν είναι  $0$  και με βάση το μοντέλο είναι προφανώς αρνητική, η τιμή της ποιότητας είναι το αντίθετο του λόγου της αντικειμενικής συνάρτησης που έδωσε ο επιλυτής προς τη βέλτιστη. Πρακτικά δεν περιμένουμε η τιμή να είναι θετική
- $q=1$ : σε κάθε άλλη περίπτωση που δεν έχει αναφερθεί παραπάνω και προφανώς είναι μη επιθυμητή, όπως για παράδειγμα να μην επιστραφεί καθόλου αποτέλεσμα ή η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που επιστρέφεται να είναι θετική

Αξίζει να σημειωθούν κάποιες αλλαγές σε σχέση με τις προηγούμενες διατάξεις των μετρήσεων που κάνουν τα δεδομένα πιο ρεαλιστικά

- Οι τιμές των ελεύθερων επεξεργαστών δεν είναι ίδιες για όλους τους εξυπηρετητές και η τιμή υπό εξέταση είναι η μέση τιμή αυτών. Ακόμα οι εξυπηρετητές δεν έχουν όλοι δεκαέξι(16) επεξεργαστές αλλά θεωρούμε ότι ο αριθμός τους είναι κάποια δύναμη του δύο ενώ οι επεξεργαστές που είναι δεσμευμένοι δεν ξεπερνούν τον αριθμό αυτό. Ο αριθμός των ελεύθερων επεξεργαστών προκύπτει από τη διαφορά τους
- Ο αριθμός των βασικών εικονικών μηχανών και των ελαστικών εικονικών μηχανών επίσης δεν είναι ίδιες για όλες τις εικονικές μηχανές – υπούπηρεσίες, συνεπώς μας ενδιαφέρει η μέση τιμή αυτών.
- Το κέρδος κάθε υπηρεσίας δεν προκύπτει μόνο από την παράμετρο του κέρδους όπως στα παραδείγματα που είχαμε εξετάσει. Μας ενδιαφέρει η τιμή του κανονικοποιημένη σύμφωνα με τις σταθερές τιμές των παραγόντων που είχαμε εξετάσει. Με άλλα λόγια μας ενδιαφέρει η κανονικοποιημένη τιμή του κέρδους να είναι τέτοια ώστε η συνάρτηση των (αξιοπιστία, κέρδος, οικολογία, πιθανότητα αποτυχίας, ποινή, ρίσκο) να είναι η ίδια με τη συνάρτηση όταν οι παράμετροι εκτός του κέρδους έχουν τις προεπιλεγμένες τιμές τους.

## 6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΕΞΟΔΟΥ

Για να μπορούμε να συγκρίνουμε τους επιλυτές μεταξύ τους συγκεντρώσαμε με τη βοήθεια του επιλυτή BENCH δεδομένα για όλους σε κάθε διάταξη που εξετάσαμε. Τα δεδομένα που συγκεντρώσαμε προέρχονται από 277 διατάξεις.

Φροντίσαμε τα δεδομένα εισόδου να επιλέγονται τυχαία με ομοιόμορφη κατανομή στο πεδίο ορισμού τους. Για να δούμε κατά πόσο το πετύχαμε πήραμε για τα δεδομένα εισόδου τα παρακάτω στατιστικά που δείχνουν την κατανομή των τιμών.

**Πίνακας 6: Στατιστικά δεδομένων εισόδου**

Εικονικές μηχανές-υποϋπηρεσίες	2-5	6-10	11-15	16-20
Ποσοστό	0,242	0,314	0,224	0,220

Εξυπηρετητές	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30
Ποσοστό	0,098	0,162	0,184	0,170	0,195	0,191

Πιθανότητα Διαθεσιμότητας(%)	[0-50]	(50-60]	(60-70]	(70-80]	(80-90]	(90-100]
Ποσοστό	0,516	0,079	0,101	0,134	0,098	0,072

Αριθμός ελεύθερων επεξεργασιών	[0-2]	(2-5]	(5-8]	(8-16]
Ποσοστό	0,322	0,630	0,044	0,004

Βασικές εικονικές μηχανές	[1-2)	[2-3)	[3-4)	[4-5]
Ποσοστό	0,029	0,376	0,563	0,032

Ελαστικές εικονικές μηχανές	[1-4)	[4-7)	[7-10]
Ποσοστό	0,061	0,863	0,076

Κέρδος	[0-400)	[400-700)	[700-1100]
Ποσοστό	0,318	0,307	0,375

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των τιμών αν και κοντά στην κανονική δεν την προσεγγίζει αρκετά καλά κι αυτό οφείλεται στο μέγεθος του δείγματος. Από την άλλη σε δεδομένα όπως τον αριθμό των ελεύθερων επεξεργασιών ή των βασικών και ελαστικών εικονικών μηχανών

Παράλληλα συλλέξαμε και κάποια στατιστικά για τις εξόδους του κάθε επιλυτή και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Τα ποσοστά αντιστοιχούν στην κλίμακα [0,1] και σε παρένθεση δίνεται και ο ακριβής αριθμός περιπτώσεων από τις 277 που αντιστοιχούν στο κάθε ποσοστό.

Πίνακας 7: Στατιστικά επιλυτών

Επιλυτής	AlphaECP	BARON	CoinBonmin	CoinCouenne
Μέσος Χρόνος	0,640	0,415	157,372	21,960
Τυπική απόκλιση	0,142	0,083	32,576	2,108
Ποσοστό Επιτυχίας	0,653(181)	1(277)	0,661(183)	0,996(276)
Ποσοστό Καλύτερων Χρόνων	0,0072(2)	0,0036(1)	0(0)	0,0072(2)
Ποσοστό Καλύτερου Χρόνου-Ποιότητας	0(0)	0,0072(2)	0(0)	0,0072(2)

Επιλυτής	DICOPT	LindoGlobal	SBB
Μέσος Χρόνος	0,315	0,118	0,904
Τυπική απόκλιση	0,057	0,015	0,181
Ποσοστό Επιτυχίας	0,823(228)	1(277)	0,773(214)
Ποσοστό Καλύτερων Χρόνων	0,4044(112)	0,5018(139)	0,0758(21)
Ποσοστό Καλύτερου Χρόνου-Ποιότητας	0,2780(77)	0,6390(177)	0,0686(19)

Από τα στατιστικά είναι φανερό ότι ο LindoGlobal είναι ο καταλληλότερος γενικά για την επίλυση του μοντέλου με τον DICOPT να ακολουθεί. Σε καμία περίπτωση τα παραπάνω αποτελέσματα δεν αποτελούν γενίκευση της ικανότητας των επιλυτών.

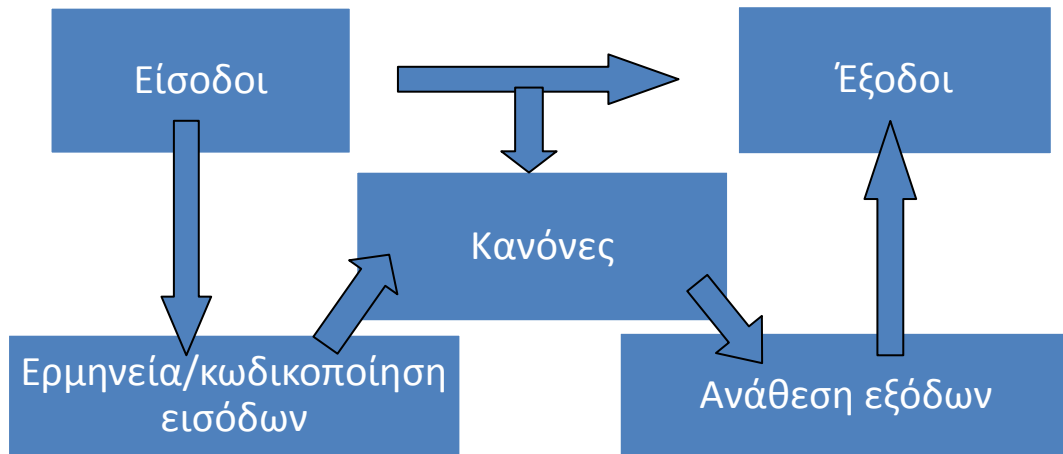
### 6.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Για την πρόβλεψη κατάλληλο είναι κάποιο σύστημα με ικανότητα γενίκευσης, δηλαδή να μπορεί να βγάλει σωστά συμπεράσματα για εισόδους για τις οποίες δεν έχει κάποια πληροφορία. Για τους σκοπούς της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε δύο βασικές μεθόδους πρόβλεψης. Την πρόβλεψη με σύστημα συμπερασμού ασαφούς λογικής και την πρόβλεψη με παρεμβολή. Την πρώτη από της δύο θα την αναλύσουμε περισσότερο γιατί είναι λιγότερο γνωστή. Η δεύτερη παρουσιάζεται περισσότερο για λόγους σύγκρισης.

### 6.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΟΥ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

#### 6.4.1 Η ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ[13]

Ένα σύστημα συμπερασμού ασαφούς λογικής μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά με την παρακάτω εικόνα



Εικόνα 9: Περιγραφή λειτουργίας ασαφούς συστήματος

Περίληπτικά αυτό που περιγράφεται στο σχήμα είναι ότι το σύστημα ερμηνεύει τις εισόδους του και με βάση ένα σύνολο κανόνων αναθέτει τιμές στις εξόδους.

Αυτό που πετυχαίνουμε ουσιαστικά είναι να κατασκευάσουμε μια απεικόνιση από τις εισόδους στις εξόδους, κάτι που μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Ο παραπάνω τρόπος όμως έχει κάποια βασικά πλεονεκτήματα

- Το σύστημα είναι ευέλικτο με την έννοια ότι μπορούμε να αλλάξουμε ή να προσθέσουμε κανόνες ή ακόμα και να αλλάξουμε τον τρόπο που ερμηνεύονται οι εισοδοί ή γίνεται η ανάθεση εξόδων. Όλα αυτά χωρίς να κατασκευαστεί το σύστημα από την αρχή
- Μπορούμε να μοντελοποιήσουμε οποιαδήποτε απεικόνιση ακόμα και μη γραμμική μεγάλης πολυπλοκότητας
- Μπορούμε να απεικονίσουμε αποτελεσματικά ακόμα και ανακριβή δεδομένα, δηλαδή εισόδους που δεν έχουν μετρηθεί με ακρίβεια, όπως και εισόδους που δεν έχουν εξεταστεί.
- Η περιγραφή των κανόνων μπορεί να γίνει ισοδύναμη με μια περιγραφή σε φυσική γλώσσα και η διαδικασία απεικόνισης μπορεί να γίνει αντιληπτή και από τον άνθρωπο

#### 6.4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

Υπάρχουν 2 βασικοί τύποι συστημάτων συμπερασμού ασαφούς λογικής, του τύπου Mamdani και του τύπου Sugeno. Τα συστήματα που θα κατασκευάσουμε και θα αναλύσουμε θα είναι τύπου Sugeno αν και πολλά σημεία είναι κοινά στους 2 τύπους συστημάτων. Κάποια πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τα Mamdani είναι

- Είναι πιο αποδοτικά υπολογιστικά
- Είναι πιο αποτελεσματικά σε τεχνικές προσαρμογής-βελτιστοποίησης

Ξεκινώντας ένας τυπικός κανόνας συστήματος Sugeno μηδενικής τάξης έχει την παρακάτω μορφή:

Αν  $x$  είναι  $A$  και  $y$  είναι  $B$  τότε  $z = c$

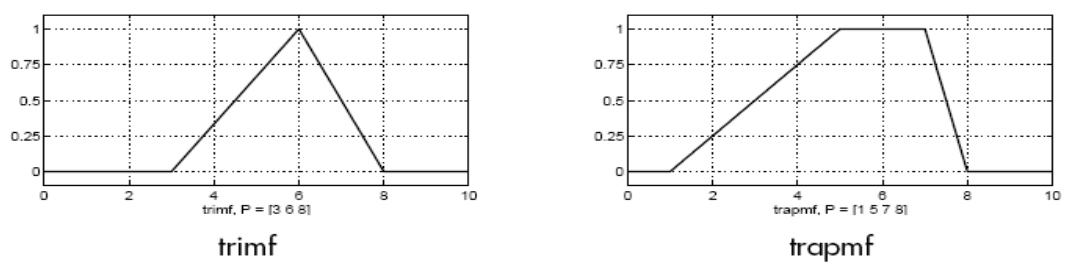


Ο παραπάνω κανόνας συσχετίζει 2 εισόδους με την έξοδο αλλά γενικά μπορούν να είναι περισσότεροι όπως και το «και» μπορεί να αντικατασταθεί από το «ή»

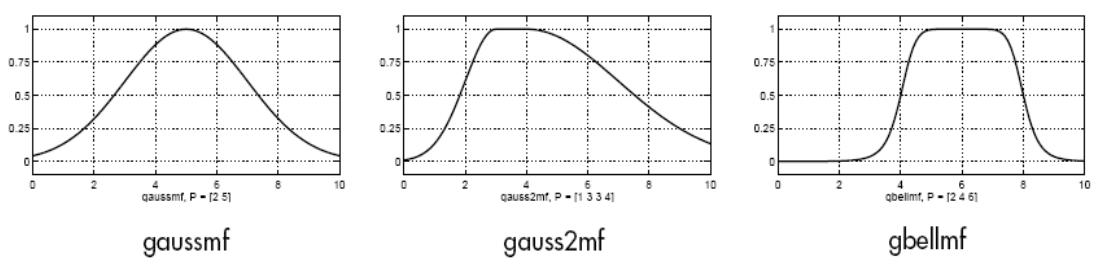
Στη γενικότερη μορφή του η έξοδος είναι γραμμική και μάλιστα της μορφής  $z = ax + by + c$

Τα  $A, B$  είναι ασαφή σύνολα που σημαίνει ότι η ιδιότητα μιας μεταβλητής να ανήκει στο ένα σύνολο ή στο άλλο περιγράφεται από τις συναρτήσεις συμμετοχής<sup>4</sup>  $F_A(x)$  και  $F_B(y)$  αντίστοιχα. Μια συνάρτηση συμμετοχής απεικονίζει την είσοδο σε μια τιμή που ανήκει στο διάστημα  $[0, 1]$  και η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει τη συμμετοχή ή όχι στο σύνολο ανάλογα με το πόσο κοντά στο 1 ή στο 0 είναι αντίστοιχα.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής μπορούν να έχουν πολλές μορφές αλλά υπάρχουν ορισμένες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη λόγω της απλότητας τους. Από την άλλη μια πιο περίπλοκη μορφή συνάρτησης μπορεί να είναι καταλληλότερη για μια συγκεκριμένη μοντελοποίηση. Μερικές συνηθισμένες μορφές που είναι ενσωματωμένες και στο Fuzzy Logic Toolbox του MATLAB φαίνονται παρακάτω



Εικόνα 10: τριγωνική και τραπεζοειδής συνάρτηση[13]



Εικόνα 11: γκαουσιανή, δίπλευρη γκαουσιανή και γενικευμένη Bell συνάρτηση[13]

Με τη σειρά που εμφανίζονται οι συναρτήσεις είναι η τριγωνική(3 βαθμοί ελευθερίας), η τραπεζοειδής(4 βαθμοί ελευθερίας), η γκαουσιανή(2 βαθμοί ελευθερίας), η δίπλευρη γκαουσιανή, που είναι σύνθεση 2 γκαουσιανών(4 βαθμοί ελευθερίας) και η γενικευμένη Bell(3 βαθμοί ελευθερίας).

Το κατά πόσο είναι σε ισχύ η υπόθεση του κανόνα δίνεται από τη συνάρτηση  $AndMethod(F_A(x), F_B(y))$  ενώ αν ο κανόνας ήταν διαζευκτικός θα εφαρμοζόταν η συνάρτηση  $OrMethod(F_A(x), F_B(y))$ . Οι συναρτήσεις αυτές δεν είναι μονοσήμαντα

<sup>4</sup> Membership functions

καθορισμένες αλλά πρέπει να ικανοποιούν κάποιες προϋποθέσεις που δε θα αναλύσουμε εδώ<sup>5</sup>. Αναφέρουμε όμως κάποιες πιθανές συναρτήσεις για την κάθε μέθοδο στον παρακάτω πίνακα

$AndMethod(F_A(x), F_B(y))$	$min(F_A(x), F_B(y))$	$F_A(x) \cdot F_B(y)$
$OrMethod(F_A(x), F_B(y))$	$max(F_A(x), F_B(y))$	$F_A(x) + F_B(y) - F_A(x) \cdot F_B(y)$

Τελικά μπορούμε να πούμε ότι η πιθανότητα ικανοποίησης της υπόθεσης του κανόνα  $i$  είναι  $w_i = And/OrMethod(F_{Ai}(x), F_{Bi}(y))$  ή  $w_i = F_{Ai}(x)/F_{Bi}(y)$  αν κάποια από τις εισόδους παραλείπεται

Η τελική έξοδος είναι ο σταθμισμένος μέσος των εξόδων όλων των κανόνων, δηλαδή

$$Output = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \text{ όπου } N \text{ ο αριθμός των κανόνων.}$$

### 6.4.3 ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

Η κατασκευή των κανόνων και η δημιουργία των συναρτήσεων συμμετοχής είναι μια διαδικασία που μπορεί είτε να γίνει εμπειρικά, ειδικά όταν είναι απλό το πρόβλημα, είτε να γίνει με ειδικούς αλγορίθμους. Σε κάθε περίπτωση ο σκοπός είναι να αναγνωρίσουμε κάποια χαρακτηριστικά στην είσοδο που δίνουν μια συγκεκριμένη τιμή στην έξοδο. Με άλλα λόγια θα πρέπει να ομαδοποιήσουμε κατά κάποιο τρόπο τις εισόδους με τις εξόδους και σε κάθε ομάδα να αντιστοιχίσουμε μια συνάρτηση συμμετοχής. Η συνάρτηση συμμετοχής θα αναφέρεται σε μία μόνο είσοδο αλλά η ευελιξία του συστήματος έγκειται στο ότι τα όρια της ομάδας δεν είναι σαφώς καθορισμένα αλλά ασαφή

Παρακάτω θα δούμε κάποιες κατηγορίες δεδομένων που θα συναντήσουμε στη διαδικασία κατασκευής του ασαφούς συστήματος πρόβλεψης.

- Δεδομένα Εκπαίδευσης

Είναι τα δεδομένα που θα εκπαιδεύσουν το σύστημα ώστε να μπορεί να αποκρίνεται και για δεδομένα που θα δε θα του έχουν παρουσιαστεί άλλη φορά. Αυτό αναφέρεται και ως ικανότητα γενίκευσης. Τα δεδομένα αυτά έχουν την πληροφορία και της εισόδου και της εξόδου που θέλουμε να έχουμε και που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι, ο χρόνος απόκρισης και αν το αποτέλεσμα θα είναι έγκυρο. Καλό θα είναι τα δεδομένα αυτά να περιέχουν όλες τις ακραίες τιμές των παραμέτρων εισόδου, δηλαδή το μέγιστο και το ελάχιστο της καθεμίας. Αυτό γίνεται γιατί δεν είναι εύκολη η πρόβλεψη για τιμές εκτός του πεδίου ορισμού των διατάξεων.

<sup>5</sup> Οι πράξεις των andMethod, orMethod ακολουθούν τις ιδιότητες των T-norm και S-norm(ή T-conorm) αντίστοιχα. Βλέπε[16]

Ενδεικτικό ποσοστό των δεδομένων εκπαίδευσης επί του συνόλου των δεδομένων που έχουμε είναι 70% όταν υπάρχουν δεδομένα επαλήθευσης και όταν δεν υπάρχουν 80%.

- Δεδομένα Επαλήθευσης

Τα δεδομένα αυτά δεν είναι απαραίτητα σε όλα τα συστήματα και χρησιμεύουν για να ελεγχθεί η διαδικασία εκπαίδευσης κατά τη διάρκεια της. Το αποτέλεσμα του ελέγχου μπορεί να κρίνει αν χρειάζεται να σταματήσει η εκπαίδευση ή να κρίνει σε ποιο στάδιο της εκπαίδευσης το σύστημα είχε την καλύτερη ικανότητα γενίκευσης που είναι και το ζητούμενο.

Ένα ενδεικτικό ποσοστό αυτών των δεδομένων όταν χρησιμοποιούνται είναι το 10% επί του συνόλου των δεδομένων που έχουμε.

- Δεδομένα Επικύρωσης

Τα δεδομένα αυτά χρειάζονται για να ελεγχθεί στο τέλος αν όντως το σύστημα έχει την επιθυμητή ικανότητα πρόβλεψης και γενίκευσης. Σημαντικό είναι τα δεδομένα αυτά να μην περιλαμβάνουν δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπαίδευση

Το ποσοστό αυτών των δεδομένων επί του συνόλου των δεδομένων που έχουμε είναι 20% συνήθως.

Επειδή ο αριθμός των παραμέτρων είναι μεγάλος και δεν έχουμε κάποια εμπειρική γνώση για να κατασκευάσουμε κανόνες η χειρονακτική κατασκευή ενός συστήματος ασαφούς λογικής θα είναι δύσκολη και επιρρεπής σε λάθη. Συνεπώς θα χρειαστούμε κάποιο ειδικό αλγόριθμο και το Fuzzy Logic Toolbox του MATLAB παρέχει κάποιες βοηθητικές συναρτήσεις που αναλύονται παρακάτω. Οι εκδόσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι MATLAB2008a και Fuzzy Logic Toolbox 2.2.7. Σε νεώτερες εκδόσεις μπορεί να υπάρχουν μικρές αλλαγές στις συναρτήσεις

- `genfis1[13]`

Είσοδοι

- `data`: τα δεδομένα εκπαίδευσης. Κάθε γραμμή του πίνακα αυτού αντιστοιχεί σε μία διάταξη και όλες οι στήλες εκτός από την τελευταία θεωρούνται είσοδοι
- `numMFs` (προαιρετικό): ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής. Μπορεί να είναι μια βαθμωτή τιμή ή ένα διάνυσμα διάστασης όσο και τα δεδομένα που θα δηλώνει τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχής που θα κατασκευαστούν ανά διάσταση σε περίπτωση που δε δίνεται το ασαφές σύστημα. Αν παραληφθεί και αυτό και το σύστημα ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής που κατασκευάζονται είναι 2
- `inmfstype` (προαιρετικό): είναι ένας πίνακας από συμβολοσειρές που η κάθε γραμμή του καθορίζει τη συνάρτηση συμμετοχής που συνδέεται με κάθε είσοδο. Αν ο τύπος συνάρτησης συμμετοχής είναι ο ίδιος για όλες

τις εισόδους τότε μπορεί να δοθεί μια μοναδική τιμή. Αν παραληφθεί οι συναρτήσεις συμμετοχής είναι τύπου “gbellmf”

- o outmftype (προαιρετικό): είναι μια συμβολοσειρά που καθορίζει τη συνάρτηση συμμετοχής που συνδέεται με την έξοδο. Η τιμή του μπορεί να είναι είτε “linear” είτε “constant” και αν παραληφθεί τότε θα θεωρείται “linear”. Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής που συνδέονται με την έξοδο είναι ίσος με τον αριθμό των κανόνων που θα παραχθούν.

Έξοδοι

- o fismat: Ένα ασαφές σύστημα τύπου Sugeno που μοντελοποιεί την συμπεριφορά των δεδομένων εισόδου-εξόδου

Περιγραφή

Δεδομένων των εισόδων και της εξόδου η συνάρτηση παράγει αυτόματα ένα σύστημα τύπου Sugeno με τις συναρτήσεις συμμετοχής εισόδου που υποδεικνύονται. Με βάση αυτές παράγονται κανόνες από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς συναρτήσεων των εισόδων που συνδέονται με τη μέθοδο «και». Στην έξοδο δε γίνεται καμία προσαρμογή στις παραμέτρους γι’ αυτό χρειάζεται απαραίτητα εκπαίδευση με τη συνάρτηση anfis

Χαρακτηριστικά ασαφούς συστήματος εξόδου

**Πίνακας 8: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis1**

Τύπος	Sugeno
Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδων	gbellmf (γκουσιανή)
Συναρτήσεις συμμετοχής εξόδων	linear (γραμμική)
Μέθοδος “and”	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Μέθοδος “or”	probor (πιθανοτικό «ή»), $x + y - x \cdot y$
Συνεπαγωγή(implication)	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Συσσώρευση(aggregation)	max (μέγιστο)
Αποασαφοποίηση(defuzzification)	wtaver (σταθμισμένο μέσο)
Βάρος κανόνων	1
Μέθοδος σύνδεσης κανόνων	Μέθοδος “and”
Κατασκευή κανόνων	Ένας κανόνας για κάθε συνδυασμό συναρτήσεων συμμετοχής εξόδων
Κατασκευή συναρτήσεων συμμετοχής	Ίσος αριθμός συναρτήσεων σε κάθε διάσταση

- genfis2[13]

Είσοδοι

- o Xin: πίνακας εισόδων. Κάθε γραμμή του περιέχει τις παραμέτρους εισόδου για μία διάταξη
- o Xout: πίνακας εξόδων. Κάθε γραμμή του περιέχει τις παραμέτρους εξόδου για μία διάταξη
- o radii: είναι διάνυσμα ίσο με τη διάσταση των εισόδων συν των εξόδων ή μία αδιάστατη τιμή και καθορίζει την σχετική ακτίνα επιρροής του

κέντρου συστάδας κατά την εφαρμογή της ασαφούς αφαιρετικής ομαδοποίησης(fuzzy subtractive clustering)

- xBounds (προαιρετικό): ένα διάνυσμα δύο γραμμών με τα όρια (ελάχιστο και μέγιστο) των διανυσμάτων εισόδου και εξόδου. Παρέχονται ώστε να γίνει κατάλληλη απεικόνιση στο μοναδιαίο κύβο. Σε περίπτωση που παραλείπονται λαμβάνεται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή κάθε διάστασης
- options (προαιρετικό): διάφορες παράμετροι που καθορίζουν τη συμπεριφορά του αλγορίθμου αφαιρετικής ομαδοποίησης και που παίρνουν τις προεπιλεγμένες τιμές όταν δε δίνονται

#### Έξοδοι

- fismat: Ένα ασαφές σύστημα τύπου Sugeno που μοντελοποιεί την συμπεριφορά των δεδομένων εισόδου-εξόδου

#### Περιγραφή

Δεδομένων των εισόδων και εξόδων η συνάρτηση κάνει αφαιρετική ομαδοποίηση αρχικά για να προσδιορίσει τον αριθμό των κανόνων και των συναρτήσεων συμμετοχής των εισόδων. Στη συνέχεια χρησιμοποιεί μια γραμμική εκτίμηση ελάχιστων τετραγώνων για να προσδιορίσει τη συνάρτηση εξόδου.

Χαρακτηριστικά ασαφούς συστήματος εξόδου

**Πίνακας 9: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis2**

Τύπος	Sugeno
Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδων	gaussmf (γκουσιανή)
Συναρτήσεις συμμετοχής εξόδων	linear (γραμμική)
Μέθοδος “and”	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Μέθοδος “or”	probor (πιθανοτικό «ή»), $x + y - x \cdot y$
Συνεπαγωγή(implication)	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Συσώρευση(aggregation)	max (μέγιστο)
Αποασαφοποίηση(defuzzification)	wtaver (σταθμισμένο μέσο)
Βάρος κανόνων	1
Μέθοδος σύνδεσης κανόνων	Μέθοδος “and”
Κατασκευή κανόνων	Ένας κανόνας ανά συνάρτηση συμμετοχής
Κατασκευή συναρτήσεων συμμετοχής	Ίσος αριθμός συναρτήσεων σε κάθε διάσταση

- genfis3[13]

#### Είσοδοι

- Xin: πίνακας εισόδων. Κάθε γραμμή του περιέχει τις παραμέτρους εισόδου για μία διάταξη
- Xout: πίνακας εξόδων. Κάθε γραμμή του περιέχει τις παραμέτρους εξόδου για μία διάταξη

- type (προαιρετικό): ανάλογα με την τιμή του 'mamdani' ή 'sugeno' κατασκευάζεται ένα σύστημα του αντίστοιχου τύπου. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 'sugeno'
- cluster\_n (προαιρετικό): ο αριθμός των ομάδων που θέλουμε να κατασκευαστούν
- fcmoptions (προαιρετικό): κάποιες παράμετροι για τον fcm αλγόριθμο. Αν παραληφθούν ο αλγόριθμος τρέχει με τις προεπιλεγμένες τιμές

#### Έξοδος

- fismat: Ένα ασαφές σύστημα που μοντελοποιεί την συμπεριφορά των δεδομένων εισόδου-εξόδου

#### Περιγραφή

Παράγει ένα σύστημα συμπερασμού ασαφούς λογικής χρησιμοποιώντας αρχικά ασαφή ομαδοποίηση c-μέσων (fuzzy c-means clustering-FCM) για να προσδιοριστεί ο αριθμός των κανόνων και των συναρτήσεων συμμετοχής των εισόδων και εξόδων

Χαρακτηριστικά ασαφούς συστήματος εξόδου

**Πίνακας 10: Προεπιλεγμένες παράμετροι genfis3**

Τύπος	Sugeno
Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδων	gaussmf (γκουουσιανή)
Συναρτήσεις συμμετοχής εξόδων	linear (γραμμική)
Μέθοδος "and"	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Μέθοδος "or"	probor (πιθανοτικό «ή»), $x + y - x \cdot y$
Συνεπαγωγή(implication)	prod (γινόμενο), $x \cdot y$
Συσσώρευση(aggregation)	max (μέγιστο)
Αποασαφοποίηση(defuzzification)	wtaver (σταθμισμένο μέσο)
Βάρος κανόνων	1
Μέθοδος σύνδεσης κανόνων	Μέθοδος "and"
Κατασκευή κανόνων	Ένας κανόνας ανά συνάρτηση συμμετοχής
Κατασκευή συναρτήσεων συμμετοχής	Ίσος αριθμός συναρτήσεων σε κάθε διάσταση

- anfis[13]

#### Είσοδοι

- trnData: τα δεδομένα εκπαίδευσης. Κάθε γραμμή του πίνακα αυτού αντιστοιχεί σε μία διάταξη και όλες οι στήλες εκτός από την τελευταία θεωρούνται είσοδοι
- initFis (προαιρετικό): είναι το αρχικό ασαφές σύστημα με έτοιμους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής προς εκπαίδευση. Αντί αυτού μπορεί να δοθεί ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής, δεξ παρακάτω.
- numMFs (προαιρετικό): ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής. Μπορεί να είναι μια βαθμωτή τιμή ή ένα διάνυσμα διάστασης όσο και τα

- δεδομένα που θα δηλώνει τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχής που θα κατασκευαστούν ανά διάσταση σε περίπτωση που δε δίνεται το ασαφές σύστημα. Αντί αυτού μπορεί να δοθεί ένα έτοιμο ασαφές σύστημα, δεξ παραπάνω. Αν παραληφθεί και αυτό και το σύστημα ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής που κατασκευάζονται είναι 2
- `trnOpt` (προαιρετικό): είναι ένα διάνυσμα διάστασης 5 με επιλογές που ρυθμίζουν την εκπαίδευση. Οι επιλογές και οι προκαθορισμένες τιμές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

**Πίνακας 11: Προεπιλεγμένες παράμετροι εκπαίδευσης**

1	Αριθμός εποχών εκπαίδευσης	10
2	Τιμή σφάλματος εκπαίδευσης	0
3	Αρχικό μέγεθος βήματος	0.01
4	Ρυθμός μείωσης βήματος	0.9
5	Ρυθμός αύξησης βήματος	1.1

- `dispOpt` (προαιρετικό): ένα διάνυσμα διάστασης 4 που ρυθμίζει ποια αποτελέσματα θα εμφανίζονται. Η προεπιλογή είναι να εμφανίζονται όλες οι πληροφορίες σχετικές με την εκπαίδευση
- `chkData` (προαιρετικό): τα δεδομένα επαλήθευσης. Είναι ένας πίνακας της ίδιας μορφής με τον πίνακα δεδομένων που ελέγχει την υπερπροσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα εκπαίδευσης. Όταν παρέχεται σαν όρισμα θα πρέπει να επιστρέφονται και τα δεδομένα εξόδου `chkFis` και `chkErr`
- `optMethod` (προαιρετικό): ένα όρισμα που καθορίζει ποια μέθοδος βελτιστοποίησης θα χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής. Αν είναι 0 χρησιμοποιείται η μέθοδος `backpropagation` και σε κάθε άλλη περίπτωση ή σε περίπτωση που δεν παρέχεται καθόλου το όρισμα χρησιμοποιείται η υβριδική μέθοδος που είναι συνδυασμός της `backpropagation` και της εκτίμησης ελαχίστων τετραγώνων.

#### Έξοδοι

- `fis`: είναι η τελική δομή του εκπαιδευμένου ασαφούς συστήματος του οποίου οι παράμετροι έχουν τεθεί σύμφωνα με το κριτήριο του ελάχιστου σφάλματος εκπαίδευσης
- `error` και `chkErr`: είναι ένα διάνυσμα των τετραγωνικών ριζών του μέσου όρου των τετραγώνων των σφαλμάτων που αντιπροσωπεύουν τα σφάλματα των δεδομένων εκπαίδευσης και επαλήθευσης αντίστοιχα για κάθε εποχή εκπαίδευσης. Το `chkErr` επιστρέφεται όταν έχει δοθεί σύνολο επαλήθευσης
- `stepsize`: είναι ένα διάνυσμα με τα μεγέθη των βημάτων που εφαρμόζονται στην εκπαίδευση σε κάθε εποχή

- $chkFis$ : είναι η τελική δομή του εκπαιδευμένου ασαφούς συστήματος του οποίου οι παράμετροι έχουν τεθεί σύμφωνα με το κριτήριο του ελάχιστου σφάλματος επαλήθευσης. Μπορεί να επιστραφεί μόνο όταν παρέχονται δεδομένα επαλήθευσης.

#### Περιορισμοί της $anfis$

Η συνάρτηση αυτή μπορεί να εκπαιδεύσει μόνο συστήματα τύπου Sugeno με τα παρακάτω χαρακτηριστικά

- Να είναι πρώτης ή μηδενικής τάξης συστήματα, δηλαδή η έξοδος να είναι γραμμική συνάρτηση των εισόδων το πολύ.
- Να έχουν μία μόνο έξοδο που να προκύπτει με τη μέθοδο αποασαφοποίησης του σταθμισμένου μέσου
- Οι κανόνες δεν πρέπει να έχουν τις ίδιες συναρτήσεις συμμετοχής της εξόδου. Με άλλα λόγια σε κάθε κανόνα θα πρέπει να αντιστοιχεί μία συνάρτηση συμμετοχής εξόδου και αντίστροφα
- Κάθε κανόνας πρέπει να έχει μοναδιαίο βάρος
- Επιπλέον δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συναρτήσεις συμμετοχής διαφορετικές από τις υπάρχουσες, δηλαδή συναρτήσεις που μπορεί να έχει κατασκευάσει ο χρήστης

#### 6.4.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Για τους σκοπούς της εργασίας θα κατασκευάσουμε συνολικά 21 ασαφή συστήματα. Κάποια θα προβλέπουν το χρόνο και κάποια άλλα την ποιότητα της λύσης. Ο λόγος που δεν προβλέπουμε με τη βοήθεια ενός συστήματος και το χρόνο και την ποιότητα είναι ότι η συνάρτηση  $anfis$  εκπαιδεύει συστήματα με μία έξοδο και σίγουρα περιμένουμε βελτίωση με τη χρήση αυτής της συνάρτησης. Επιπλέον με το διαχωρισμό των συστημάτων τα κάνουμε πιο αξιόπιστα αφού κατά κάποιο τρόπο εξειδικεύονται στο να δίνουν εκτίμηση για ένα μόνο μέγεθος. Εφόσον δεν υπάρχει κάποια εμφανής συσχέτιση μεταξύ των εξόδων είναι δύσκολο να προβλεφθούν το ίδιο καλά και οι δύο από ένα σύστημα.

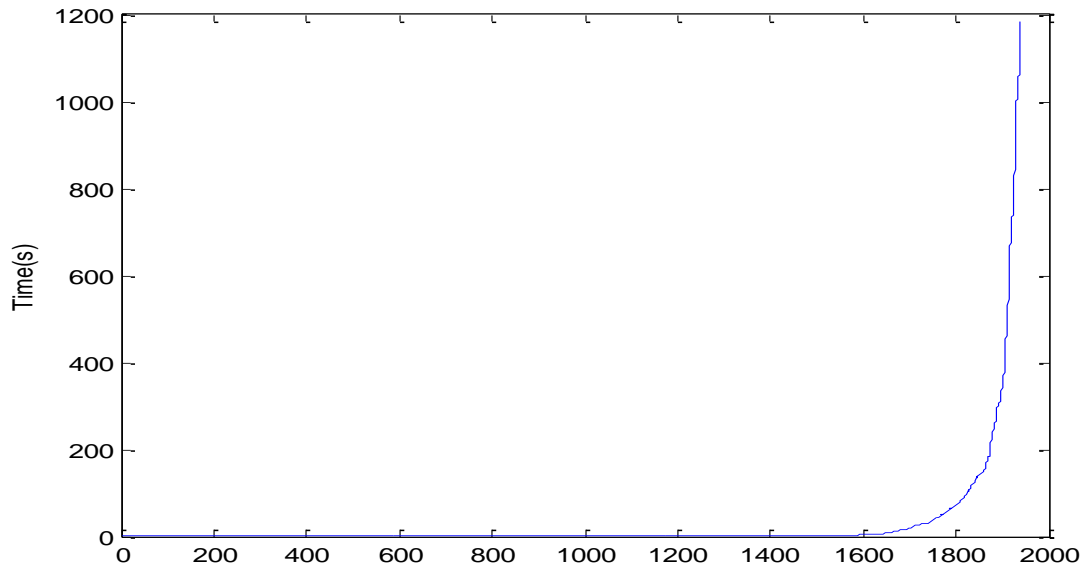
Για τα συστήματα που προβλέπουν το χρόνο θα χρησιμοποιήσουμε δύο ειδών δεδομένα. Τις κανονικές και τις λογαριθμικές τιμές των χρόνων. Θα δοκιμάσουμε να κατασκευάσουμε συστήματα με τον αριθμό του επιλυτή ως παράμετρο για να έχουμε ένα ενιαίο σύστημα για όλους και θα δοκιμάσουμε και να κατασκευάσουμε και 7 ξεχωριστά συστήματα, ανά περίπτωση δεδομένων, ένα για κάθε επιλυτή. Συνεπώς θα έχουμε 16 συστήματα που προβλέπουν χρόνο.

Ο λόγος που θα εξετάσουμε με δύο σύνολα τιμών τους χρόνους είναι γιατί με τις κανονικές τιμές των δεδομένων θα πάρουμε ένα μέσο σφάλμα πρόβλεψης των χρόνων που μπορεί να αντιστοιχηθεί άμεσα σε δευτερόλεπτα. Αυτό δε θα είναι όμως απαραίτητα αντιπροσωπευτικό για όλα τα δεδομένα καθώς για τα μικρά δεδομένα το σφάλμα αυτό θα είναι μεγάλο, ενώ για τα μεγάλα μικρό. Με τα λογαριθμικά δεδομένα προβλέπουμε κατά κάποιο τρόπο την κλίμακα δεδομένων και το μέσο σφάλμα δε θα αντιστοιχίζεται σε δευτερόλεπτα αλλά σε ένα πολλαπλασιαστικό σφάλμα. Για

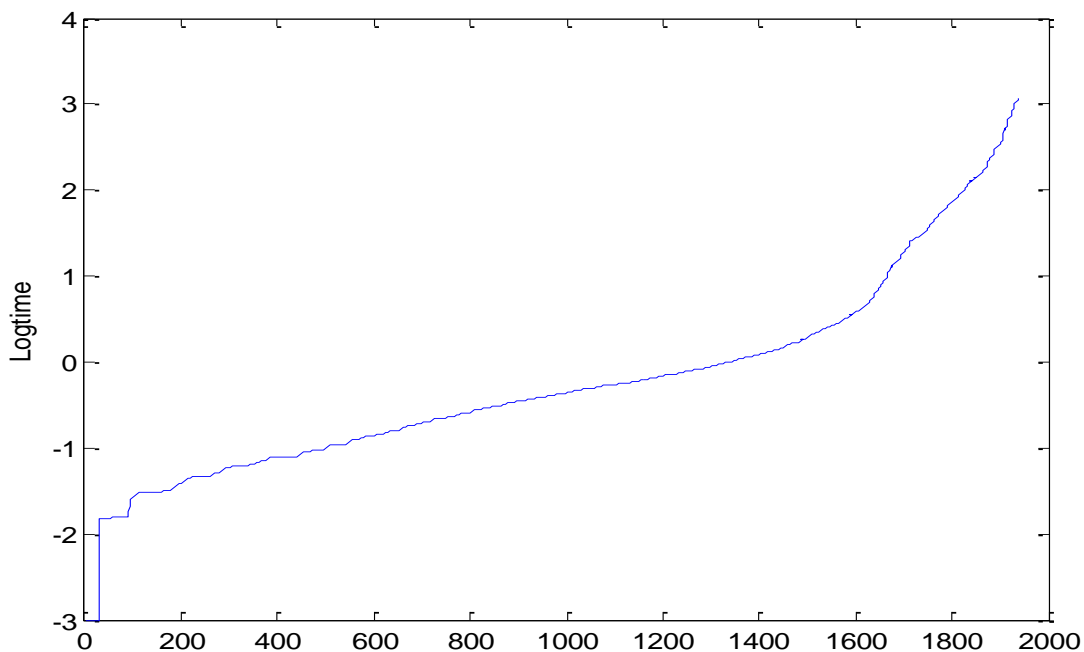


παράδειγμα αν έχει την τιμή 2 τότε αναμένουμε κατά μέσο όρο οι προβλέψεις να είναι 2 φορές μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις πραγματικές

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται οι κατανομές των τιμών των δύο ειδών δεδομένων όταν αυτά είναι ταξινομημένα. Προφανώς τα λογαριθμικά δεδομένα είναι πιο ομαλά και η κατανομή τους μπορεί να φανεί καλύτερα. Τα περισσότερα ανήκουν στο διάστημα  $[-1,0]$  ή  $[100\text{ms}-1\text{s}]$  εφόσον η λογαριθμική κλίμακα έχει βάση το 10. Οι τιμές προέρχονται και από τους 7 επιλυτές αλλά η μορφή τους θα είναι παρόμοια κι αν τους διαχωρίσουμε ακόμα συνολικά έχουμε συνεπώς  $7 \cdot 277 = 1939$  τιμές χρόνων

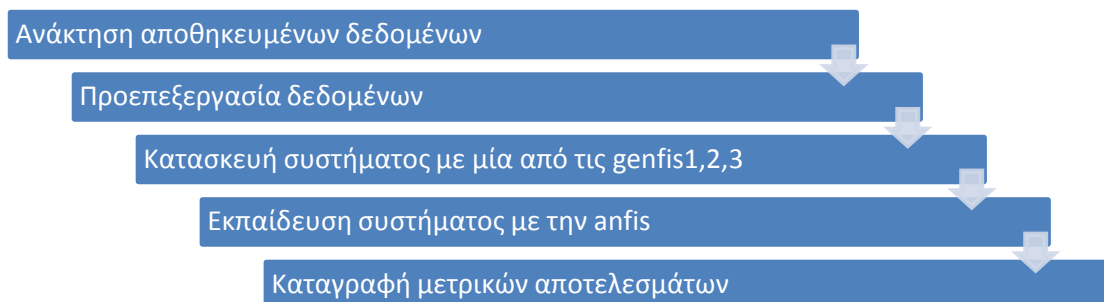


Εικόνα 12: Μορφή χρόνων αν ταξινομηθούν



Εικόνα 13: Μορφή λογαριθμικών τιμών χρόνων αν ταξινομηθούν

Για τα συστήματα που προβλέπουν την ποιότητα θα δούμε ότι 2 από τους 7 επιλυτές που εξετάζουμε δίνουν πάντα το βέλτιστο αποτέλεσμα οπότε η πρόβλεψη είναι περιττή, επομένως θα κατασκευάσουμε 5 συνολικά συστήματα πρόβλεψης ποιότητας. Κρίνεται ότι ένα ενιαίο σύστημα πρόβλεψης ποιότητας δε θα δώσει τα αναμενόμενα αποτελέσματα έστω κι αν παραληφθούν από αυτό οι επιλυτές που έχουν πάντα βέλτιστη ποιότητα



Εικόνα 14: Διαδικασία εκπαίδευσης

Τα βήματα που ακολουθήσαμε, και φαίνονται σχηματικά, αλλά συνοπτικά και στην Εικόνα 14, για την κατασκευή των συστημάτων είναι τα εξής:

- Ανάκτηση όλων των δεδομένων που συγκεντρώσαμε
- Διαχωρισμός τους και επιλογή μόνο όσων δεδομένων αντιστοιχούν στον επιλυτή που μας ενδιαφέρει
- Κανονικοποίηση τους ώστε να αντιστοιχίζονται όλα στο διάστημα  $[0,1]$ . Η απεικόνιση γίνεται σε κάθε παράμετρο ξεχωριστά οπότε όλα τα δεδομένα ανήκουν σε ένα μοναδιαίο υπερκύβο. Αυτό βοηθάει στη σύγκριση των αποτελεσμάτων τελικά αλλά και στη διαδικασία ομαδοποίησης. Ούτως ή άλλως συναρτήσεις όπως αυτή της αφαιρετικής ομαδοποίησης κάνουν αυτή την απεικόνιση σαν προεργασία
- Διαχωρισμός των δεδομένων σε εκπαίδευσης, επαλήθευσης και επικύρωσης σε ποσοστά κατά προσέγγιση 70%, 10% και 20% επί του συνόλου αντίστοιχα. Φροντίσαμε ώστε οι διατάξεις που έχουν τα μέγιστα και τα ελάχιστα κάθε παραμέτρου να ανήκουν στο σύνολο εκπαίδευσης γιατί είναι εύκολη μετά η εκτίμηση ως αποτέλεσμα παρεμβολής παρά παρέκτασης<sup>6</sup>
- Επιλογή των παραμέτρων των εισόδων και εξόδων που θα χρειαστούν στην εκπαίδευση. Για την έξοδο θα χρησιμοποιήσουμε αναγκαστικά μία ενώ για τις εισόδους θα εξετάσουμε αν παραλείποντας κάποιες θα πάρουμε καλύτερα αποτελέσματα
- Επιλογή των παραμέτρων εκπαίδευσης η βασικότερη από τις οποίες είναι ποια συνάρτηση από τις  $genfis1$ ,  $genfis2$ ,  $genfis3$  θα χρησιμοποιηθεί για την αρχική κατασκευή του συστήματος. Οι υπόλοιπες συνήθως έχουν τις προεπιλεγμένες τιμές τους
- Κατασκευάζουμε ένα αρχικό σύστημα με τις παραπάνω συναρτήσεις και υπολογίζουμε ορισμένες μετρικές για να εκτιμήσουμε την απόδοση του.

<sup>6</sup> extrapolation

- Εκπαιδευόμε το σύστημα χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση anfis δίνοντας το αρχικό σύστημα, τα δεδομένα εκπαίδευσης αλλά και τα δεδομένα επαλήθευσης
- Κρατάμε το σύστημα με το μικρότερο σφάλμα επαλήθευσης από όλα τα συστήματα που προέκυψαν από κάθε εποχή εκπαίδευσης και εκτιμούμε πάλι την απόδοση του με τις μετρικές που θα αναφερθούν παρακάτω
- Αποθηκεύουμε όλα τα αποτελέσματα

Στο παράρτημα δίνεται η συνάρτηση εκπαίδευσης που εκτελεί τα τελευταία από τα παραπάνω βήματα

#### 6.4.5 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Οι μετρικές που θα χρησιμοποιήσουμε είναι οι RMSE (root mean square error) NRMSE (normalized RMSE) και CV(RMSE) (coefficient of variation of the RMSE)[15]. Αν  $\hat{x}_i$  είναι η εκτιμώμενη τιμή της  $i$  διάταξης εξόδου από τις  $N$  συνολικά και  $x_i$  είναι η πραγματική της τιμή τότε

$$RMSE(\hat{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - x_i)^2}{N}} \quad \text{και} \quad CV(RMSE) = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad \text{όπου} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Όταν οι τιμές των παραμέτρων είναι κανονικοποιημένες στο διάστημα  $[0, 1]$  τότε και η τιμή του RMSE θα είναι κανονικοποιημένη και ίση με τη μετρική NRMSE αφού

$$NRMSE = \frac{RMSE}{x_{max} - x_{min}} = \frac{RMSE}{1} = RMSE$$

Το παραπάνω φυσικά ισχύει μόνο όταν η μετρική υπολογίζεται στα κανονικοποιημένα δεδομένα, οπότε θα αναφέρεται σαφώς ποια από τις δύο μετρικές θα χρησιμοποιούνται στα αποτελέσματα και πάντα οι τιμές βάσει των οποίων θα υπολογίζονται θα είναι οι κανονικές και όχι οι κανονικοποιημένες.

Αν οι εκτιμώμενες τιμές είναι εκτός του διαστήματος  $[0, 1]$  τότε τις προσαρμόζουμε ώστε να πάρουν τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή ανάλογα με το ποια τιμή είναι πιο κοντινή τους. Αυτό που παριστάνει η μετρική RMSE είναι κάτι αντίστοιχο της τυπικής απόκλισης των δεδομένων. Οι παραλλαγές της που κυρίως χρησιμοποιούμε πετυχαίνουν να δώσουν ένα μέτρο σφάλματος ανεξάρτητο του εύρους των δεδομένων και όσο γίνεται αντιπροσωπευτικό για όλα

#### 6.4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

##### 6.4.6.1 Χρήση συνάρτησης genfis1

Ο αριθμός των κανόνων που κατασκευάζεται από αυτή τη συνάρτηση είναι εκθετικός σε σχέση με τον αριθμό των παραμέτρων εισόδου. Αν συμπεριλάβουμε και τις 7 παραμέτρους ακόμα και 2 συναρτήσεις συμμετοχής να έχουμε ανά παράμετρο οι κανόνες που θα δημιουργηθούν θα είναι  $128(2^7)$  και η διαδικασία εκπαίδευσης με τόσους κανόνες είναι χρονοβόρα. Συνεπώς θα εξετάσουμε γενικά διατάξεις που έχουν λιγότερες παραμέτρους. Επίσης άλλες παράμετροι που θα εξετάσουμε και επηρεάζουν

την απόδοση του δικτύου είναι ο τύπος των συναρτήσεων συμμετοχής, ο αριθμός τους και η μέθοδος “and”. Οι υπόλοιπες μέθοδοι είτε δεν επηρεάζουν είτε δεν μπορεί να αλλάξει η προεπιλεγμένη τιμή τους.

Οι παράμετροι του μοντέλου είναι: αριθμός εικονικών μηχανών(1), αριθμός εξυπηρετητών(2), πιθανότητα διαθεσιμότητας υπηρεσίας(3), μέσος αριθμός ελεύθερων επεξεργαστών ανά εξυπηρετητή(4), αριθμός βασικών εικονικών μηχανών(5), αριθμός ελαστικών εικονικών μηχανών(6), κέρδος υπηρεσίας(7). Στη στήλη των παραμέτρων θα υπάρχει ένας συνδυασμός αυτών των αριθμών. Οι τύποι συνάρτησης συμμετοχής είναι: dsigmf(διαφορά σιγμοειδών), gaussmf(γκουσουσιανή), gauss2mf(δίπλευρη γκουσουσιανή), gbellmf(γενικευμένη Bell), pimf(μορφής Π), psigmf(γινόμενο σιγμοειδών), trapmf(τραπεζοειδής), trimf(τριγωνοειδής). Οι δύο τελευταίοι τύποι μπορεί να εμφανίσουν σφάλματα κατά την εκπαίδευση. Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής θα είναι γενικά χαμηλός αλλά πάνω από 2 και σε περίπτωση που είναι διαφορετικός για κάθε είσοδο ή έξοδο θα δίνεται ως διάνυσμα. Οι επιλυτές είναι οι: AlphaECP(1), BARON(2), CoinBonmin(3), CoinCouenne(4), DICOPT(5), LindoGlobal(6), SBB(7). Σε περίπτωση που συμπεριληφθούν όλοι θα θεωρούνται αυτόματα και σαν επιπλέον παράμετρος εισόδου.

Παρακάτω δίνουμε πίνακες με τις διατάξεις παραμέτρων που εξετάσαμε και έδωσαν τα ελάχιστα σφάλματα καθώς και τα σφάλματα που έδωσε η καθεμία. Τα σφάλματα θα αναφέρονται στα δεδομένα επικύρωσης του κάθε επιλυτή που εξετάζεται.

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-κανονικά δεδομένα

Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιήσαμε τη μετρική σφάλματος CVRMSE και κρατήσαμε την καλύτερη διάταξη καθεμιάς. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά για αρκετούς από τους επιλυτές.

**Πίνακας 12: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis1**

Παράμετροι μοντέλου	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής	Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής	Μέθοδος “and”	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,2,3	gbellmf	2	prod	όλοι	1,6334
1,2,3	gbellmf	2	prod	1	0,3390
1,2,4	gaussmf	2	min	2	0,3532
1,2,5	gauss2mf	2	prod	3	0,7187
1,2,3	dsigmf	2	prod	4	2,0294
1,3,4,5	gaussmf	2	prod	5	1,1825
1,2,3	dsigmf	2	prod	6	0,4420
1,2,3	gbellmf	2	prod	7	1,0568

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-λογαριθμικά δεδομένα

Η διαδικασία εκπαίδευσης των συστημάτων είναι η ίδια με πριν. Το σφάλμα που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι το RMSE που θα αναφέρεται στα λογαριθμικά δεδομένα με βάση το 10. Συνεπώς αν υψώσουμε το 10 στην τιμή του σφάλματος θα μας δώσει ένα πολλαπλασιαστικό παράγοντα σφάλματος.

**Πίνακας 13: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis1**

Παράμετροι μοντέλου	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής	Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής	Μέθοδος "and"	Επιλυτής	Σφάλμα RMSE	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
1,2	gauss2mf	2	prod	όλοι	0,6857	4,8498
1,3,4	pimf	2	min	1	0,1241	1,3307
1,2,4	gaussmf	2	prod	2	0,1241	1,3309
1,2,7	dsigmf	2	prod	3	0,3719	2,3543
1,2,3,4,5	gaussmf	3	min	4	0,5360	3,4360
1,3,4,5	gbellmf	2	min	5	0,4251	2,6612
1,2,4	gauss2mf	3	min	6	0,2998	1,9941
1,2,4	gaussmf	2	min	7	0,5833	3,8306

- Συστήματα πρόβλεψης ποιότητας

Όπως φαίνεται παρακάτω έχουμε παραλείψει τα συστήματα δύο εκ των επιλυτών γιατί η ποιότητα που δίνουν είναι πάντοτε η ίδια (η καλύτερη) και πρακτικά δεν υπάρχει ανάγκη για πρόβλεψη. Εδώ η μόνη μετρική που χρησιμοποιούμε είναι η NRMSE καθώς μας ενδιαφέρει αν το αποτέλεσμα είναι έγκυρο και κοντά στη βέλτιστη τιμή ή αν δεν είναι και όχι η σχετική του αξία σε σχέση με τη μέση τιμή της ποιότητας που δεν έχει και φυσικό νόημα. Εξάλλου η μέση τιμή της ποιότητας αλλά και κάποιες τιμές της ποιότητας μπορεί να είναι κοντά ή ακόμα και ίσες με 0 κάτι που δεν θα δώσει έγκυρες τιμές στις μετρικές. Οι διατάξεις που περιγράφουμε ανήκουν στα καλύτερα συστήματα, δηλαδή αυτά που έδωσαν το μικρότερο σφάλμα.

**Πίνακας 14: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis1**

Παράμετροι μοντέλου	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής	Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής	Μέθοδος "and"	Επιλυτής	Σφάλμα NRMSE
1,3,4	gaussmf	min	2	1	0,1329
2,3,5	pimf	min	2	3	0,1784
1,4,7	pimf	prod	2	4	0
1,2,3,5	psigmf	min	2	5	0,1257
1,3,7	gauss2mf	min	2	7	0,0796

#### 6.4.6.2 Χρήση συνάρτησης genfis2

Η συνάρτηση αυτή εκτιμάει από μόνη της τον αριθμό των κανόνων που είναι ίδιος και με τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχής. Οι παράμετροι που μπορούμε να μεταβάλλουμε και σε αυτή την περίπτωση είναι οι παράμετροι του μοντέλου, η μέθοδος "and" και η παράμετρος radii της συνάρτησης genfis2.

Ο πίνακας με τις διατάξεις παραμέτρων που εξετάστηκαν και είχαν τα ελάχιστα σφάλματα φαίνεται παρακάτω. Σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα έχουν αφαιρεθεί δύο στήλες και έχει προστεθεί αυτή των ακτίνων επιρροής(radii), που η τιμή της εξαρτάται από τις υπόλοιπες και καθορίζει τον αριθμό των συστάδων που θα δημιουργηθούν. Αν η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγάλη μπορεί να δημιουργηθεί μόνο ένας κανόνας και να μη γίνεται εκπαίδευση ενώ αν είναι πολύ μικρή θα δημιουργηθούν πάρα πολλοί κανόνες και η εκπαίδευση θα καθυστερεί υπερβολικά. Οι τιμές της γενικά θα είναι από 0.4 έως 0.9

Η διαδικασία και τα αποτελέσματα που παρουσιάζουμε είναι παρόμοια με την προηγούμενη συνάρτηση. Κρατάμε δηλαδή μόνο τα καλύτερα συστήματα

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-κανονικά δεδομένα

**Πίνακας 15: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis2**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Ακτίνα επιρροής (radii)	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,2,5	prod	0.9	όλοι	1,6181
1,2,3,4,5,6	min	0.8	1	0,2911
1,2,3,4,6,7	prod	0.7	2	0,2695
1,2,4,6	min	0.4	3	0,8204
1,2,3,4,5	prod	0.45	4	1,4100

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Ακτίνα επιρροής (radii)	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,3,4,5	prod	0.65	5	1,1669
1,2,3,4,5	prod	0.55	6	0,3839
1,2	prod	0.7	7	1,0351

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-λογαριθμικά δεδομένα

**Πίνακας 16: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis2**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Ακτίνα επιρροής (radii)	Επιλυτής	Σφάλμα RMSE	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
1,2,3,4	prod	0.5	όλοι	0,4190	2,6242
1,3,4,5,6	prod	0.65	1	0,1023	1,2657
1,2,3,4	prod	0.9	2	0,1142	1,3009
1,2,6	prod	0.8	3	0,3527	2,2524
1,2,3,4,5,6	prod	0.75	4	0,3495	2,2359
1,3,4,5	min	0.75	5	0,4002	2,5133
1,2,3,4,5	prod	0.55	6	0,2504	1,7801
1,2,4,5,7	min	0.85	7	0,5024	3,1797

- Συστήματα πρόβλεψης ποιότητας

**Πίνακας 17: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis2**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Ακτίνα επιρροής (radii)	Επιλυτής	Σφάλμα NRMSE
1,2,3,4,5,7	min	0.9	1	0,1320
2,3,6	prod	0.9	3	0,1773
1,6	min	0.45	4	9,95E-39
1,2,3,4,5	prod	0.85	5	0,1029
2,3,4	prod	0.8	7	0,0774

### 6.4.6.3 Χρήση συνάρτησης genfis3

Η συνάρτηση αυτή είναι η πιο αυτοματοποιημένη καθώς μπορεί να εξάγει κανόνες μόνο από τα δεδομένα και να κατασκευάσει ακόμα και mamdani συστήματα, αν και την τελευταία δυνατότητα δε θα τη χρησιμοποιήσουμε. Όπως και πριν θα εξετάσουμε διατάξεις με διαφορετικό σύνολο παραμέτρων εισόδων και με τις δύο πιθανές μεθόδους “and”. Σε ορισμένες περιπτώσεις θα δοκιμάσουμε να ορίσουμε εμείς τον αριθμό των κανόνων που θα κατασκευαστούν δυνατότητα που δίνει η συνάρτηση.

Ο πίνακας με τις διατάξεις παραμέτρων που εξετάστηκαν και είχαν τα ελάχιστα σφάλματα φαίνεται παρακάτω. Ο αριθμός των κανόνων θα εξαρτάται από τον αριθμό των παραμέτρων μοντέλου που θα χρησιμοποιηθούν αλλά γενικά δε θα ξεπερνάει τους 50 λόγω μεγάλης καθυστέρησης στην εκπαίδευση για μεγαλύτερες τιμές.

Όπως και με τις προηγούμενες συναρτήσεις δίνονται μόνο τα καλύτερα συστήματα

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-κανονικά δεδομένα

**Πίνακας 18: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα και χρήση genfis3**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος “and”	Αριθμός κανόνων	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,2	prod	20	όλοι	1,5566
1,2,3,7	min	14	1	0,3140
1,2,4,6,7	prod	10	2	0,2643
1,2,4,6	min	5	3	0,7643
1,2,3,4	prod	16	4	1,3534
1,2,3,6	prod	6	5	1,1968
1,2,3,5	min	6	6	0,4045
1,3	prod	auto	7	1,0337



- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-λογαριθμικά δεδομένα

Με τη μέθοδο αυτή δεν εξετάσαμε συστήματα με τους επιλυτές ως παράμετρο γιατί προτιμήσαμε να εξετάσουμε περισσότερα με την προηγούμενη μέθοδο που δίνει πάντα τα ίδια αποτελέσματα στην εκπαίδευση.

**Πίνακας 19: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα και χρήση genfis3**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής	Επιλυτής	Σφάλμα RMSE	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
1,2,3,6,7	prod	6	1	0,1090	1,2853
1,2,4,7	min	auto	2	0,1250	1,3334
1,2,5,6,7	prod	5	3	0,3715	2,3524
1,2,3,4	prod	7	4	0,3800	2,3990
1,3,4,5,6,7	prod	8	5	0,4002	2,5133
1,2,3,4	prod	8	6	0,2350	1,7179
1,2,4,7	min	auto	7	0,4882	3,0773

- Συστήματα πρόβλεψης ποιότητας

**Πίνακας 20: Στατιστικά συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με χρήση genfis3**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Αριθμός κανόνων	Επιλυτής	Σφάλμα NRMSE
1,2,3,4	prod	8	1	0,1209
2,3,4,7	min	10	3	0,1770
1,2,5	prod	4	4	6,45E-54
1,2,3,5	prod	4	5	0,1215
2,3,4,5	prod	4	7	0,0778

Η κατασκευή του αρχικού δικτύου δεν είναι μια ντετερμινιστική διαδικασία γι' αυτό τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ελαφρώς διαφορετικά για τις ίδιες παραμέτρους αν ξαναγίνει η κατασκευή και εκπαίδευση.

#### 6.4.6.4 Αξιολόγηση καλύτερων συστημάτων

Παρακάτω κάνουμε απλή παράθεση των καλύτερων συστημάτων που συναντήσαμε στις προηγούμενες ενότητες για να έχουμε μια συγκεντρωτική εικόνα και τα σχολιάζουμε

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου

Όπως φαίνεται ο διαχωρισμός των συστημάτων δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Η μετρική του σφάλματος % δεν προτιμήθηκε τελικά γιατί αρκετές τιμές ήταν κοντά στο 0 σε ορισμένους επιλυτές και ήταν φυσικό να δώσουν μεγάλα σφάλματα οι % αποκλίσεις τους. Στις περιπτώσεις που αυτό δε συμβαίνει όπως στους επιλυτές AlphaECP και BARON τα σφάλματα είναι συγκρίσιμα. Οι περιπτώσεις αυτών των δύο επιλυτών είναι και αυτές που δίνουν και τα μικρότερα σφάλματα και τα οποία μπορούν να θεωρηθούν σχετικά ικανοποιητικά.

Αυτό που φαίνεται είναι ότι η πρόβλεψη είναι εγγενώς δύσκολη λόγω της μεγάλης διακύμανσης των αποτελεσμάτων και ακόμα και περισσότερες διατάξεις εισόδων να δοκιμάζαμε τα σφάλματα δε θα βελτιώνονταν σημαντικά ή και καθόλου. Επίσης ένα σύστημα που θα προέβλεπε πάντα μηδενική έξοδο θα έδινε μέσο ποσοστιαίο σφάλμα 100% κάτι που δε θα κατάφερνε η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε.

**Πίνακας 21: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με κανονικά δεδομένα**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Συνάρτηση κατασκευής και επιπλέον παράμετροι	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,2	prod	genfis3-20	όλοι	1,5566
1,2,3,4,5,6	min	genfis2-0.8	1	0,2911
1,2,4,6,7	prod	genfis3-10	2	0,2643
1,2,5	prod	genfis1-gauss2mf,2	3	0,7187
1,2,3,4	prod	genfis3-16	4	1,3534
1,3,4,5	prod	genfis2-0.65	5	1,1669
1,2,3,4,5	prod	genfis2-0.55	6	0,3839
1,3	prod	genfis3-auto	7	1,0337

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου σε λογαριθμική κλίμακα

Παρατηρούμε ότι σε κάποιους επιλυτές υπάρχει σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα μη λογαριθμικά δεδομένα, αλλά σε άλλους χειροτέρευση. Αυτό προκύπτει αν μετατρέψουμε το πολλαπλασιαστικό σφάλμα σε σφάλμα που μετράει η CVRMSE μετρική. Για παράδειγμα ένα πολλαπλασιαστικό σφάλμα μέτρου 1.4 δίνει μια τιμή τυπικά μεταξύ  $1.4 - 1 = 0.4$  και  $1 - 1 / 1.4 \cong 0.29$  για το CVRMSE σφάλμα.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μετατροπή στον παρακάτω πίνακα βελτίωση παρατηρείται για τους AlphaECP(1) και CoinCouenne(4) και μια σχετικά χειροτέρευση στους CoinBonmin(3) και Lindoglobal(6).

**Πίνακας 22: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνου με λογαριθμικά δεδομένα**

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Συνάρτηση κατασκευής και επιπλέον παράμετροι	Επιλυτής	Σφάλμα RMSE	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
1,2,3,4	prod	genfis2-0.5	όλοι	0,4190	2,6242
1,3,4,5,6	prod	genfis2-0.65	1	0,1023	1,2657
1,2,3,4	prod	genfis2-0.9	2	0,1142	1,3009
1,2,6	prod	genfis2-0.8	3	0,3527	2,2524
1,2,3,4,5,6	prod	genfis2-0.75	4	0,3495	2,2359
1,3,4,5	min	genfis2-0.75	5	0,4002	2,5133
1,2,3,4	prod	genfis3-8	6	0,2350	1,7179
1,2,4,7	min	genfis3-auto	7	0,4882	3,0773

Αν και οι μετρικές που χρησιμοποιούμε δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες, αυτό που δείχνει ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας είναι ότι κατά μέσο όρο η εκτίμηση θα είναι κατά αντίστοιχες φορές μικρότερη η μεγαλύτερη εφόσον τα σφάλματα ακολουθούν κανονική κατανομή. Με άλλα λόγια η μέθοδος πρόβλεψης με τα λογαριθμικά δεδομένα μας εξασφαλίζει ότι θα προβλέψουμε με αρκετά μεγάλη αξιοπιστία την τάξη μεγέθους του αποτελέσματος. Αυτό είναι σημαντικότερο από το να γνωρίζουμε ότι το μέτρο του μέσου απόλυτου σφάλματος για όλα τα δεδομένα καθώς αυτό θα είναι σχετικά μικρό για μεγάλες τιμές χρόνων και εξαιρετικά μεγάλο για τις πολύ μικρές.

- Συστήματα πρόβλεψης ποιότητας

Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων πρόβλεψης της ποιότητας είναι σαφώς καλύτερη. Η τιμή των μέσων σφαλμάτων δείχνει ότι μπορεί πολύ εύκολα να γίνει διαχωρισμός ενός συστήματος που δίνει την καλύτερη εκτίμηση - 0 - με ένα δεν κάνει δεκτή την υπηρεσία ενώ θα μπορούσε - 0.5 - και ένα που δεν επιστρέφει αποτέλεσμα - 1. Αν και υπάρχουν κι άλλες δυνατές τιμές αυτές είναι σπάνιες. Επίσης είναι φανερό ότι ο επιλυτής CoinCouenne(4) δίνει σχεδόν πάντα βέλτιστο αποτέλεσμα και θα ήταν καλύτερο να προβλέπουμε πάντα στατικά ότι πάντα θα δίνει βέλτιστο αποτέλεσμα. Γι' αυτό και το σφάλμα της πρόβλεψης του είναι μηδενικό αφού στα δεδομένα

επαλήθευσης δεν υπήρχε αποτέλεσμα διαφορετικό από το βέλτιστο και η πρόβλεψη τυχαίνει να είναι πάντα τέτοια.

Πίνακας 23: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας

Παράμετροι μοντέλου	Μέθοδος "and"	Συνάρτηση κατασκευής και επιπλέον παράμετροι	Επιλυτής	Σφάλμα NRMSE
1,2,3,4	prod	genfis3-8	1	0,2418
2,3,4,7	min	genfis3-10	3	0,354
1,4,7	prod	genfis1-pimf,2	4	0
1,2,3,4,5	prod	genfis2-0.85	5	0,2058
2,3,4	prod	genfis2-0.8	7	0,1548

#### 6.4.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΛΥΤΕΡΟΥ ΕΠΙΛΥΤΗ

Η ακρίβεια των παραπάνω συστημάτων θα γίνει άμεσα φανερή όταν τα χρησιμοποιήσουμε για να εκτιμήσουμε τον καλύτερο επιλυτή. Ο καλύτερος επιλυτής θα προκύπτει από μια συνάρτηση της εκτιμώμενης ποιότητας και του εκτιμώμενου χρόνου.

Η συνάρτηση αυτή θα είναι η  $\hat{t} + 500(1 + \hat{q})$ .

Η φυσική σημασία του αποτελέσματος συνάρτησης θα είναι χρόνος μετρημένος σε δευτερόλεπτα. Θυμίζουμε ότι η ποιότητα μπορεί να κυμαίνεται από -1 έως 1 και όσο πιο κοντά στο -1 βρίσκεται τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα. Επιπλέον ο χρόνος επειδή είναι πάντα έως 1000 δευτερόλεπτα το πολύ θέλουμε ένας επιλυτής που δίνει τη χειρότερη ποιότητα να είναι χειρότερος από κάποιον που είναι πολύ αργός και πλησιάζει τα 1000 αλλά δίνει την καλύτερη ποιότητα. Αυτό το εξασφαλίζει η συνάρτηση με την επιλογή του παράγοντα 500. Πρακτικά θα υπάρχει πάντα επιλυτής που θα δίνει πολύ καλό αποτέλεσμα και θα τρέχει για μερικά δευτερόλεπτα το πολύ. Προφανώς καλύτερος θα είναι ο επιλυτής που έχει τη μικρότερη τιμή της συνάρτησης.

Οι εκτιμήσεις που θα γίνονται με αυτό τον τρόπο θα είναι περισσότερο συντηρητικές και θα επιλέγονται περισσότερο οι επιλυτές που δίνουν πάντα αξιόπιστα αποτελέσματα. Για να το αποφύγουμε αυτό και εφόσον οι τιμές που δίνονται στην ποιότητα, αν και συνεχείς θεωρητικά, έχουν κυρίως τιμές -1,0,1 στρογγυλοποιούμε τα αποτελέσματα της ποιότητας στην κοντινότερη τιμή από τις προαναφερθείσες. Αυτό που πετυχαίνουμε είναι τιμές ποιότητας που έχουν εκτίμηση για παράδειγμα -0.9 και με το συντηρητικό τρόπο εκτίμησης είχαν τιμή τουλάχιστον 50sec επιπλέον της πραγματικής τους από τη δεύτερη μέθοδο θα αντιμετωπιζόταν ως βέλτιστο το αποτέλεσμα ποιότητας και δε θα έδινε επιβάρυνση στον πραγματικό χρόνο που θα απέκλειε την επιλογή του επιλυτή ως καλύτερου.

Παρακάτω θα επαναλάβουμε κάποια στατιστικά από προηγούμενη ενότητα(6.2) που δείχνουν σε τι ποσοστό των εισόδων είναι καλύτερος ο κάθε επιλυτής. Στην περίπτωση

που χρησιμοποιείται και η ποιότητα η τιμή του καλύτερου επιλυτή καθορίζεται από τη συνάρτηση που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Επιλυτής	AlphaECP	BARON	CoinBonmin	CoinCouenne
Ποσοστό Καλύτερων Χρόνων	0,0072(2)	0,0036(1)	0(0)	0,0072(2)
Ποσοστό Καλύτερου Χρόνου-Ποιότητας	0(0)	0,0072(2)	0(0)	0,0072(2)

Επιλυτής	DICOPT	LindoGlobal	SBB
Ποσοστό Καλύτερων Χρόνων	0,4044(112)	0,5018(139)	0,0758(21)
Ποσοστό Καλύτερου Χρόνου-Ποιότητας	0,2780(77)	0,6390(177)	0,0686(19)

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ακρίβειας πρόβλεψης του καλύτερου επιλυτή. Σε παρένθεση δίνεται και ο ακριβής αριθμός περιπτώσεων εκ των 277 που η εκτίμηση ήταν σωστή. Στην πρώτη στήλη φαίνεται η ακρίβεια στην πρόβλεψη (accuracy) όταν δεν υπολογίζεται η ποιότητα και στη δεύτερη και τρίτη όταν υπολογίζεται με συντηρητικό και μη συντηρητικό τρόπο αντίστοιχα. Σε κάθε σειρά φαίνεται ποια συστήματα χρησιμοποιούνται (7 ξεχωριστά ή ένα ενιαίο) και αν συμμετέχουν όλοι οι επιλυτές στην πρόβλεψη ή όχι.

**Σημείωση 1.** Αν και είναι σπάνιο κάποιοι επιλυτές βρίσκουν σε εξίσου καλό χρόνο το σωστό αποτέλεσμα. Σε αυτή την περίπτωση αν προβλεφθεί οποιοσδήποτε από αυτούς ως ο καλύτερος τότε η πρόβλεψη θεωρείται επιτυχημένη

**Σημείωση 2.** Στηριζόμενοι στο ότι οι 4 από τους 7 επιλυτές είναι καλύτεροι σε ποσοστό περιπτώσεων μικρότερο από 2% η παράλειψη τους δε θα μειώσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων

**Πίνακας 24: Στατιστικά ακρίβειας πρόβλεψης ασαφών συστημάτων**

	Εκτίμηση με χρήση μόνο χρόνου	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου συντηρητική	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου μη συντηρητική
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	46,93%(130)	50,18%(139)	51,26%(142)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	56,68%(157)	66,79%(185)	71,48%(198)

Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	42,96%(119)	38,63%(107)	49,82%(138)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	60,29%(167)	68,23%(189)	56,68%(157)
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	72,92%(202)	67,87%(188)	72,56%(201)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	72,92%(202)	68,59%(190)	72,92%(202)
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	64,26%(178)	67,87%(188)	72,20%(200)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	65,70%(182)	69,31%(192)	73,65%(204)

Τα συμπεράσματα από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι

- Η πρόβλεψη που στηρίζεται στα λογαριθμικά δεδομένα είναι καλύτερη ειδικά όταν συμμετέχουν όλοι οι επιλυτές σε αυτή. Βέβαια όταν ο αριθμός των επιλυτών μειώνεται η πρόβλεψη βελτιώνεται ελάχιστα όταν έχουμε λογαριθμικά δεδομένα και αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι η πρόβλεψη εντοπίζει επιτυχημένα τον καλύτερο επιλυτή μέσα στην ομάδα των τριών συνηθέστερων καλύτερων
- Οι διαφορές μεταξύ των προβλέψεων είναι μικρές όταν αλλάζουμε από τους ξεχωριστούς επιλυτές και πάμε στην πρόβλεψη με ενοποιημένο σύστημα. Η συμπεριφορά τους δεν είναι όμοια και αυτό μας δυσκολεύει στο να επιλέξουμε το καλύτερο σύστημα πρόβλεψης. Το σίγουρο είναι ότι τα ξεχωριστά συστήματα κάνουν καλύτερη πρόβλεψη της ακριβούς τιμής του χρόνου, από

την άλλη όμως το ενοποιημένο σύστημα λαμβάνει καλύτερα υπόψιν του τις συσχετίσεις μεταξύ των επιλυτών ώστε να επιλέξει τον καλύτερο

- Θεωρώντας ως βασικό κριτήριο την απόδοση του συστήματος όταν γίνεται συνεκτίμηση χρόνου και ποιότητας, μπορούμε να πούμε ότι το ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης της λογαριθμικής τιμής του χρόνου είναι καλύτερο αλλά η διαφορά του με το μη ενοποιημένο είναι μικρή. Σε μια υλοποίηση βέβαια που θα έπρεπε να εκτιμηθεί και η τιμή του χρόνου και η ποιότητα του επιλυτή εκτός από το ποιος είναι ο καλύτερος θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε τα αντίστοιχα διαχωρισμένα συστήματα
- Η μη συντηρητική εκτίμηση της ποιότητας δίνει σε όλες τις διατάξεις καλύτερα αποτελέσματα εκτός από μία οπότε φαίνεται ότι πρέπει να προτιμηθεί αν θέλουμε να έχουμε μια πιο αποτελεσματική εκτίμηση

Παρακάτω θα δώσουμε για την περίπτωση των 3 καλύτερων επιλυτών με το μη συντηρητικό συνυπολογισμό της ποιότητας και κάποια επιπλέον στατιστικά. Πρόκειται για το ποσοστό σωστών εκτιμήσεων που έγιναν σωστά προς τις εκτιμήσεις που έγιναν συνολικά για κάθε επιλυτή (precision) και για το ποσοστό των σωστών εκτιμήσεων που έγιναν προς τις σωστές εκτιμήσεις που θα έπρεπε να γίνουν σε κάθε επιλυτή (recall)[14]. Τα δεδομένα πρόβλεψης είναι τα λογαριθμικά και ο τύπος του συστήματος υπάρχει σε παρένθεση

**Πίνακας 25: Στατιστικά precision και recall ασαφών συστημάτων**

	DICOPT	LindoGlobal	SBB
precision (7 συστήματα)	65,2%	76,1%	55,6%
recall (7 συστήματα)	38,0%	91,4%	17,9%
precision (ενοποιημένο)	60,4%	79,0%	45,8%
recall (ενοποιημένο)	36,7%	87,6%	39,3%

Είναι θετικό ότι όταν το σύστημα επιλέγει έναν επιλυτή είναι πάνω από τις μισές περιπτώσεις σωστός όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του precision εκτός από την περίπτωση του SBB στο ενοποιημένο σύστημα. Από την άλλη το ενοποιημένο σύστημα βρίσκει επιτυχημένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των επιθυμητών προβλέψεων κάθε κατηγορίας οπότε είναι προτιμότερο από τα διαχωρισμένα συστήματα από αυτή την άποψη. Σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα ένα σύστημα που θα προέβλεπε μόνο τον LindoGlobal ως τον καλύτερο επιλυτή.

**Σημείωση 1.** Όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήσαμε τις καλύτερες διατάξεις εισόδων στις συναρτήσεις εκπαίδευσης για να κατασκευάσουμε τα συστήματα αλλά η συνάρτηση genfis3 δεν έχει ντετερμινιστική εκπαίδευση, δηλαδή δεν θα παράγει πάντα το ίδιο σύστημα. Συνεπώς τα ποσοστά μπορεί να είναι λίγο διαφορετικά αν επαναληφθούν οι μετρήσεις.

## 6.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

### 6.5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Είναι η πιο απλή αλλά σχετικά αποτελεσματική μέθοδος πρόβλεψης σε πολλές περιπτώσεις. Είναι εύκολη στη υλοποίηση και δεν καθυστερεί όσο η εκπαίδευση ενός ασαφούς συστήματος ή ενός νευρωνικού. Παρακάτω θα περιγράψουμε συνοπτικά τη διαδικασία πρόβλεψης και αξιολόγησης του συστήματος

Για τη μέθοδο χρειάζονται δεδομένα εκπαίδευσης στα οποία θα γίνει η γραμμική παρεμβολή και δεδομένα επικύρωσης τα οποία θα αξιολογήσουν πόσο καλή ήταν η παρεμβολή. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε είναι τα ίδια με τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε και στην πρόβλεψη με ασαφές σύστημα. Αυτό που κάνει η μέθοδος είναι να κατασκευάζει ένα υπερεπίπεδο διάστασης όση και η διάσταση του διανύσματος εισόδου που να είναι τέτοιο ώστε το άθροισμα των αποστάσεων όλων των δεδομένων εκπαίδευσης από το επίπεδο να ελαχιστοποιείται. Η εκτίμηση θα είναι αποτελεσματική μόνο αν υπάρχει κατά προσέγγιση γραμμική εξάρτηση μεταξύ των εισόδων και της εξόδου

### 6.5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που μας δίνει η μέθοδος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Η πρώτη στήλη είναι ποιες παράμετροι εισόδου χρησιμοποιήθηκαν για την παρεμβολή. Η δεύτερη είναι ο επιλυτής στον οποίο αναφέρονται τα δεδομένα εισόδου και σε περίπτωση που είναι όλοι θεωρούμε τους επιλυτές ως επιπλέον εισόδο στο σύστημα. Οι δύο τελευταίες στήλες είναι τα σφάλματα που εξετάσαμε και σε προηγούμενη ενότητα και αναφέρονται πάντα στα δεδομένα επικύρωσης

- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-κανονικά δεδομένα

Πίνακας 26: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνων με κανονικά δεδομένα με παρεμβολή

Παράμετροι μοντέλου	Επιλυτής	Σφάλμα CVRMSE
1,2,4,6	όλοι	3,8771
1,2,3,4,5,7	1	0,3015
1,2,3,4,7	2	0,4807
1,2,4,7	3	1,4458
3,6	4	2,5065
1,3,4	5	1,4102
1,2,3,5	6	0,6560
1,2,3,4,5,6	7	1,1087



- Συστήματα πρόβλεψης χρόνου-λογαριθμικά δεδομένα

**Πίνακας 27: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης χρόνων με λογαριθμικά δεδομένα με παρεμβολή**

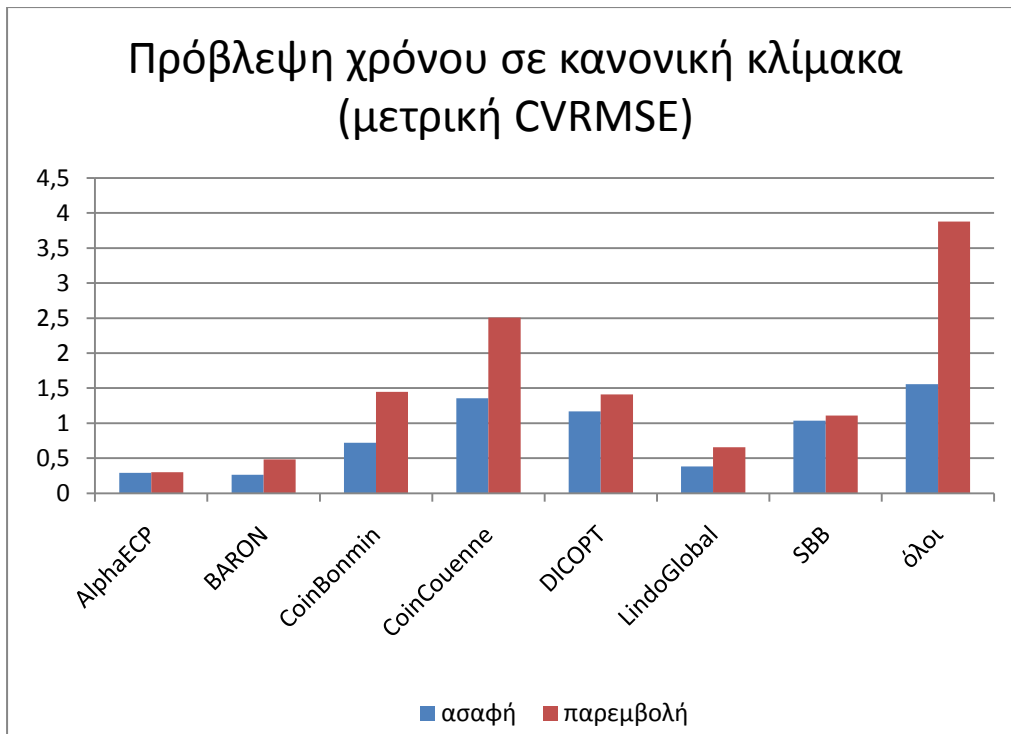
Παράμετροι μοντέλου	Επιλυτής	Σφάλμα RMSE	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
1,2,3,4,5,6,7	όλοι	1,0212	10,5003
1,2,3,5,6,7	1	0,1544	1,4269
1,2,3,4,5	2	0,1540	1,4256
1,2,4,6	3	0,5589	3,6216
1,2,5,6,7	4	0,7915	6,1873
1,5,6,7	5	0,5654	3,6762
1,2,3,4,7	6	0,3849	2,4261
1,2,5,6,7	7	0,5987	3,9692

- Συστήματα πρόβλεψης ποιότητας

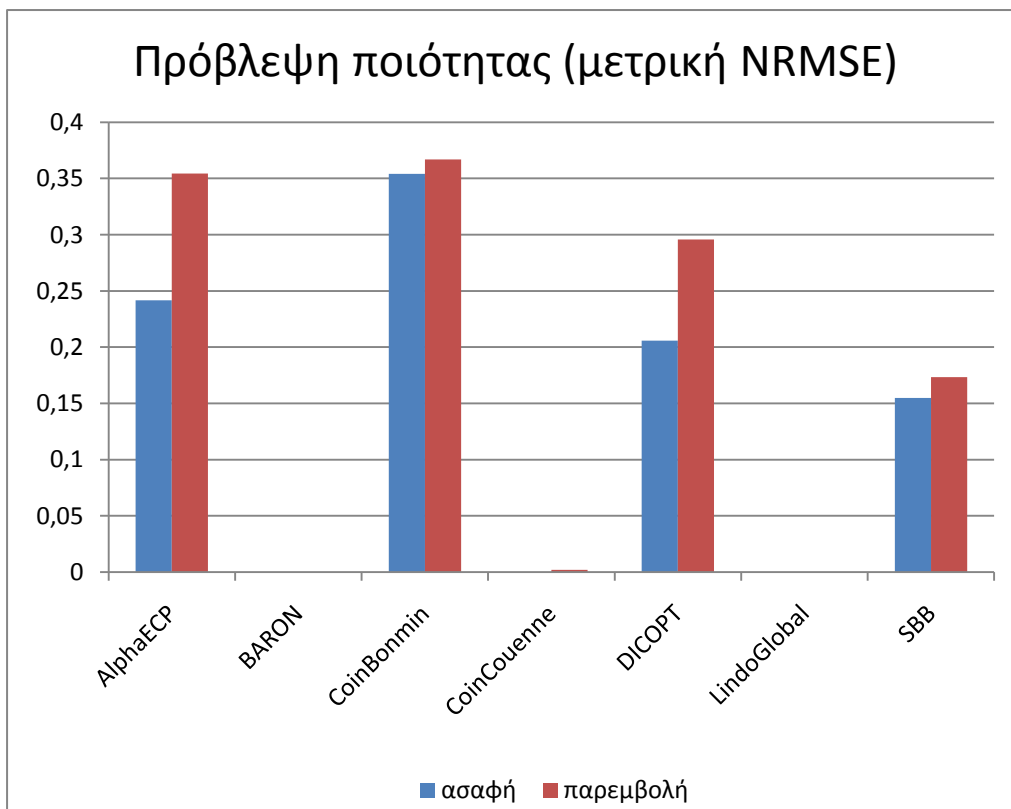
**Πίνακας 28: Στατιστικά καλύτερων συστημάτων πρόβλεψης ποιότητας με παρεμβολή**

Παράμετροι μοντέλου	Επιλυτής	Σφάλμα NRMSE
1,3,4,5,6	1	0,3544
2,3,4,6,7	3	0,3669
2,5	4	0,0020
1,2,3,4,5,7	5	0,2957
3,4,5,6	7	0,1734

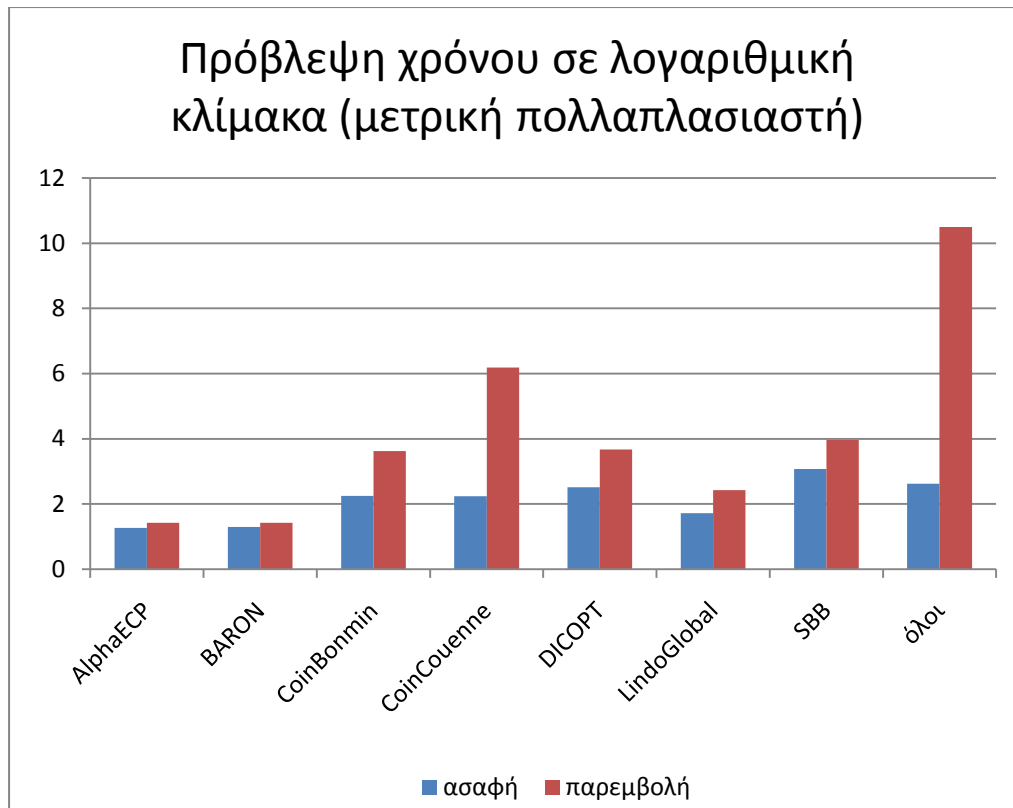
Στη συνέχεια θα δώσουμε 3 ραβδογράμματα που θα κάνουν εμφανή τη διαφορά μεταξύ των καλύτερων συστημάτων της μεθόδου πρόβλεψης της προηγούμενης ενότητας (ασαφή συστήματα) και των συστημάτων αυτής της ενότητας (παρεμβολή)



Εικόνα 15: Πρόβλεψη χρόνου σε κανονική κλίμακα



Εικόνα 16: Πρόβλεψη ποιότητας



Εικόνα 17: Πρόβλεψη χρόνου σε λογαριθμική κλίμακα

Είναι φανερό ότι σε κάθε περίπτωση η χρήση συστημάτων ασαφούς λογικής είναι καλύτερη αν και σε λίγες περιπτώσεις η απόδοσή τους είναι σχεδόν ίδια.

### 6.5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΛΥΤΕΡΟΥ ΕΠΙΛΥΤΗ

Όπως και στην ενότητα των ασαφών συστημάτων έτσι κι εδώ θα εκτιμήσουμε τον καλύτερο επιλυτή χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις γραμμικής παρεμβολής που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η συνάρτηση που συνυπολογίζει το χρόνο και την ποιότητα και από την οποία προκύπτει ο καλύτερος επιλυτής θυμίζουμε ότι είναι η  $\hat{t} + 500(1 + \hat{q})$

Τα αποτελέσματα με εκτίμηση μόνο χρόνου και με συνυπολογισμό της ποιότητας με το συντηρητικό και μη συντηρητικό τρόπο που περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα(6.4.7) ακολουθούν.

Πίνακας 29: Στατιστικά ακρίβειας πρόβλεψης παρεμβολής

	Εκτίμηση με χρήση μόνο χρόνου	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου συντηρητική	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου μη συντηρητική

	Εκτίμηση με χρήση μόνο χρόνου	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου συντηρητική	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου μη συντηρητική
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	53,07%(147)	59,93%(166)	65,34%(181)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	57,40%(159)	64,98%(180)	69,68%(196)
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	38,99%(108)	66,06%(183)	39,35%(109)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης κανονικής τιμής χρόνων	38,27%(106)	66,79%(185)	38,63%(107)
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	57,40%(159)	64,62%(179)	64,98%(180)
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ξεχωριστά συστήματα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	57,76%(160)	65,70%(182)	66,06%(183)
Εκτίμηση με όλους τους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	11,19%(31)	65,34%(181)	11,19%(31)

	Εκτίμηση με χρήση μόνο χρόνου	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου συντηρητική	Εκτίμηση με χρήση ποιότητας και χρόνου μη συντηρητική
Εκτίμηση με τους 3 καλύτερους επιλυτές/ Ενοποιημένο σύστημα πρόβλεψης λογαριθμικής τιμής χρόνων	11,19%(31)	66,06%(183)	11,19%(31)

Για τα παραπάνω αποτελέσματα έχουμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις

- Έχουμε σε όλα τα αποτελέσματα βελτίωση σε περίπτωση που συνυπολογίσουμε την ποιότητα. Αυτό δείχνει ότι η πρόβλεψη της ποιότητας είναι αρκετά καλή έστω κι αν με χρήση ασαφών συστημάτων θα μπορούσε να είναι καλύτερη.
- Το ενοποιημένο σύστημα είναι ακατάλληλο για την πρόβλεψη του χρόνου. Επειδή η προσέγγιση είναι γραμμική και μέσα στις παραμέτρους είναι και ο αριθμός του επιλυτή τότε η ελάχιστη τιμή της συνάρτησης θα βρίσκεται στα άκρα και συγκεκριμένα στον πρώτο ή τον τελευταίο επιλυτή. Ο λόγος που μπορεί να επιλεχθούν και άλλοι επιλυτές ως καλύτεροι είναι ότι έχουμε θέσει ένα κάτω φράγμα στο χρόνο για να μην παίρνει αρνητικές τιμές ή τιμές πολύ κοντά στο μηδέν(0) και μπορεί να πάρουν την κατώτερη τιμή περισσότεροι του ενός επιλυτές με αυτόν τον τρόπο. Σε αυτήν την περίπτωση κάθε πιθανή σωστή πρόβλεψη θεωρείται επιτυχημένη αλλά αυτό δεν επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα σε περίπτωση που συνεκτιμηθεί και η ποιότητα. Σε αυτό οφείλεται και το γεγονός ότι η ακρίβεια όταν έχουμε λιγότερους επιλυτές γίνεται μικρότερη στην περίπτωση του ενοποιημένου συστήματος με πρόβλεψη κανονικής τιμής χρόνου
- Η ακρίβεια των διαχωρισμένων συστημάτων σε σχέση με το ενοποιημένο όταν συνυπολογίζεται η ποιότητα είναι συγκρίσιμη αλλά λίγο χειρότερη στη συντηρητική εκτίμηση. Όπως θα δούμε παρακάτω το ενοποιημένο σύστημα επιλέγει σχεδόν πάντα τον ίδιο επιλυτή (τον Lindoglobal) που σίγουρα είναι ο καλύτερος με βάση τις εκτιμήσεις που έχουμε κάνει, αλλά η ακρίβεια του βασίζεται μόνο σε αυτό. Από την άλλη όταν γίνεται μη συντηρητική εκτίμηση της ποιότητας τα αποτελέσματα των διαχωρισμένων συστημάτων είναι πολύ καλύτερα.

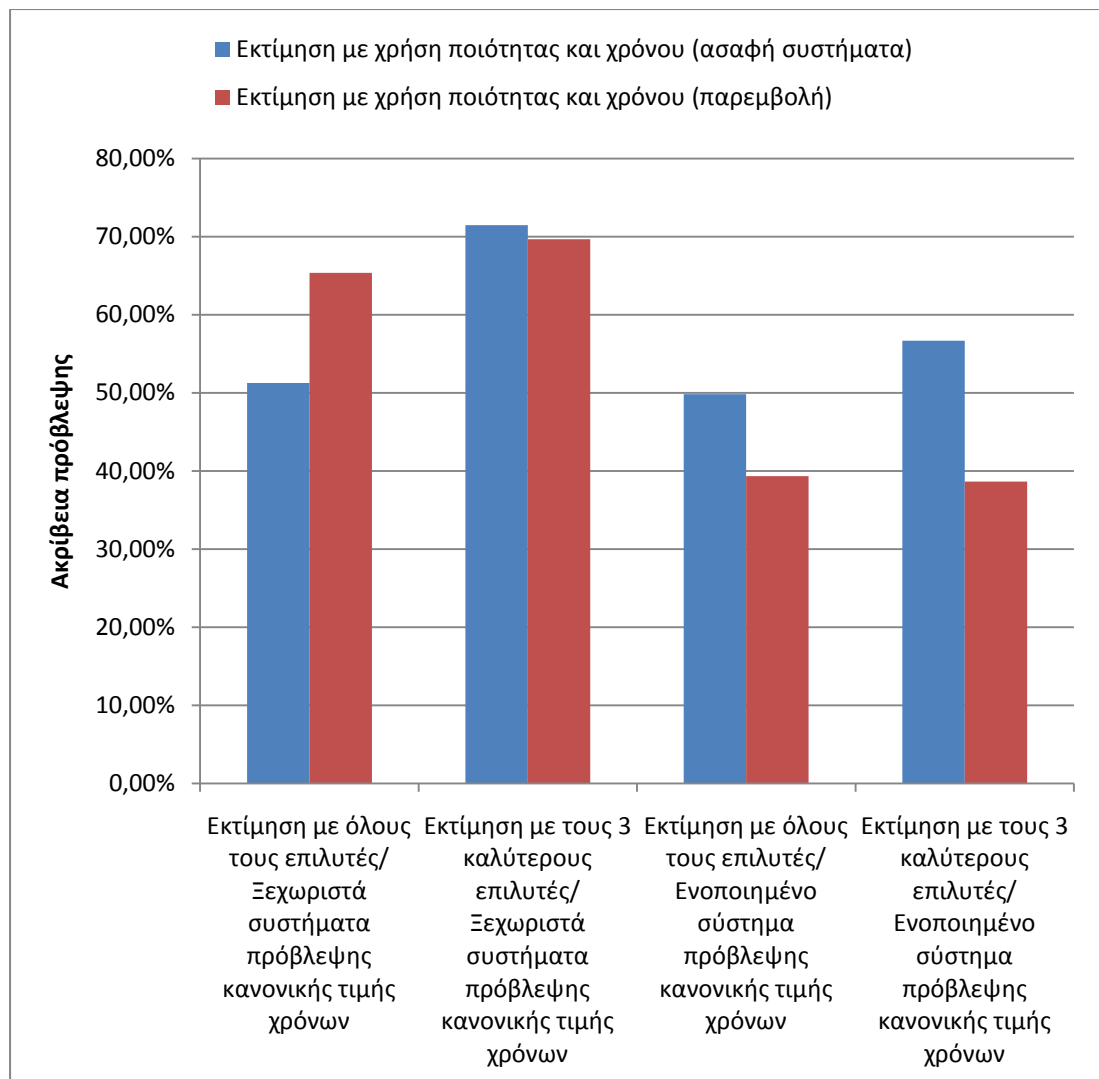
Παρακάτω θα δώσουμε για την περίπτωση των 3 καλύτερων επιλυτών με το μη συντηρητικό συνυπολογισμό της ποιότητας και τα επιπλέον στατιστικά που αναφέραμε και στην περίπτωση των ασαφών συστημάτων. Σε παρένθεση φαίνεται και ο τύπος δεδομένων. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στα διαχωρισμένα συστήματα που δίνουν καλύτερα αποτελέσματα

Πίνακας 30: Στατιστικά precision και recall παρεμβολής

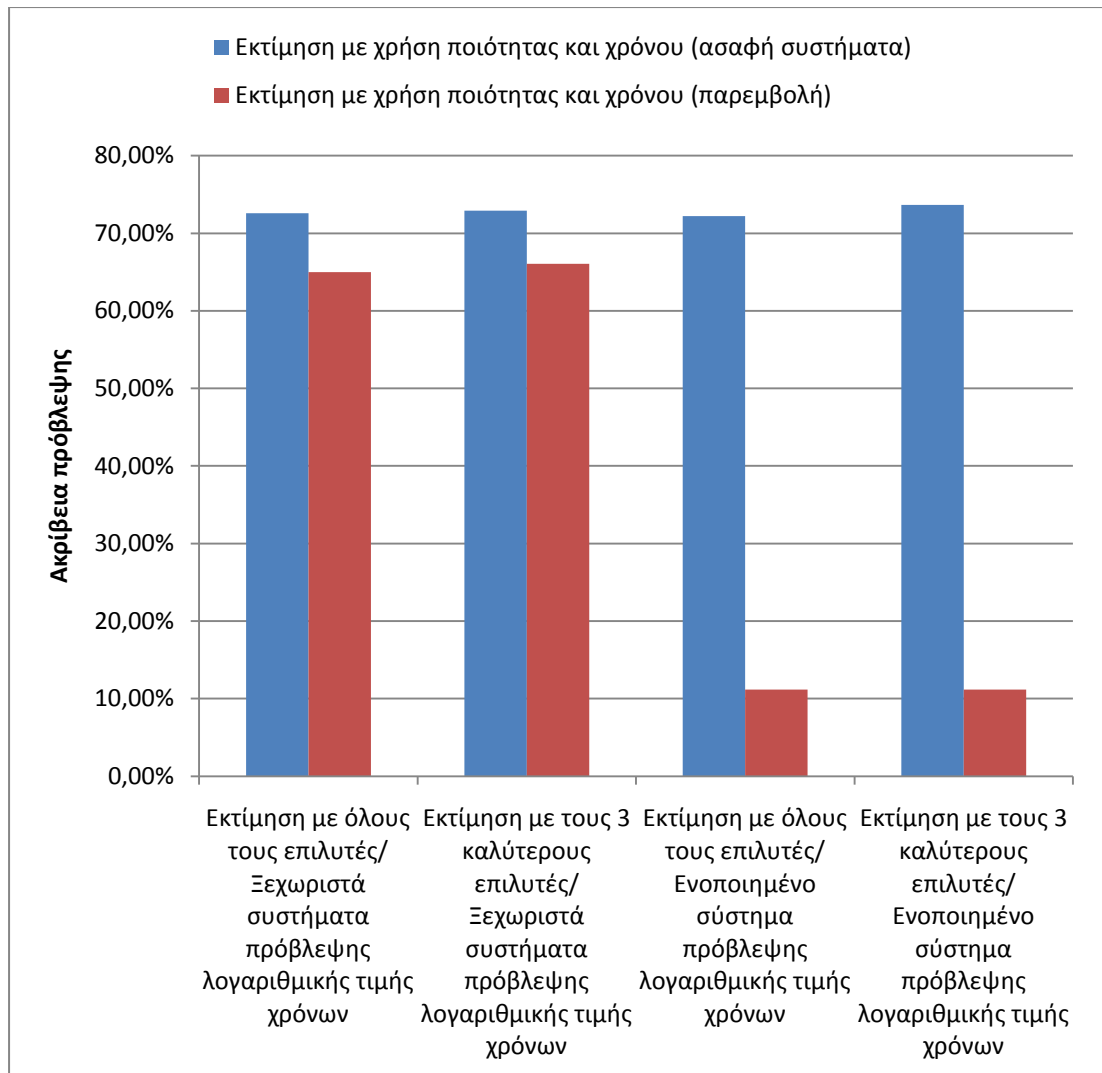
	DICOPT	LindoGlobal	SBB
precision (κανονικά δεδομένα)	44,2%	71,4%	34,2%
recall (κανονικά δεδομένα)	29,5%	84,9%	46,4%
precision (λογαριθμικά δεδομένα)	33,3%	68,0%	66,7%
recall (λογαριθμικά δεδομένα)	6,3%	95,1%	7,1%

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα με τα κανονικά δεδομένα κάνουν καλύτερη δουλειά στο να προβλέπουν όλους τους επιλυτές αν και είναι αποτελεσματικοί μόνο στην πρόβλεψη του Lindoglobal. Από την άλλη τα συστήματα λογαριθμικής τιμής χρόνων αν και χειρότερα στην πρόβλεψη όλων των κατηγοριών είναι καλύτερα στην πρόβλεψη του Lindoglobal στον οποίο βασίζεται η ακρίβεια πρόβλεψη τους τελικά

Παρακάτω δίνουμε και ένα συγκριτικό πίνακα των αποτελεσμάτων ακρίβειας των δύο μεθόδων που εξετάσαμε. Ο πίνακας θα συγκρίνει την ακρίβεια των προβλέψεων για τις περιπτώσεις που έχουν συνεκτιμηθεί η ποιότητα και ο χρόνος με το μη συντηρητικό τρόπο



Εικόνα 18: Σύγκριση ακρίβειας πρόβλεψης μεταξύ ασαφών συστημάτων και παρεμβολής 1



**Εικόνα 19: Σύγκριση ακρίβειας πρόβλεψης μεταξύ ασαφών συστημάτων και παρεμβολής 2**

Είναι φανερό και από τον παραπάνω πίνακα ότι όταν περιοριζόμαστε στους 3 καλύτερους επιλυτές η πρόβλεψη με ασαφή συστήματα είναι πάντα καλύτερη. Το ποσοστό της ακρίβειας που ξεπερνά για λίγο το 70% μπορεί να μην είναι αρκετά καλό αλλά θα εξετάσουμε στην επόμενη ενότητα τρόπους με τους οποίους μπορεί να βελτιωθεί



## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ

Συνοπτικά ακολουθήσαμε την παρακάτω πορεία στην εργασία μας

1. Επιλέξαμε τις παραμέτρους από το μοντέλο ανάθεσης εργασιών που θα εξετάζαμε
2. Επιλέξαμε τους επιλυτές που ήταν θεωρητικά ικανοί να λύσουν το πρόβλημα
3. Πήραμε μετρήσεις μεταβάλλοντας καθεμία παράμετρο από τις επιλεγμένες για να δούμε πως επηρεάζει τον κάθε επιλυτή
4. Συγκεντρώσαμε δεδομένα από διάφορα τρεξίματα με τυχαίες παραμέτρους εισόδου και καταγράψαμε τις παραμέτρους που μας ενδιαφέρουν καθώς και τα αποτελέσματα του χρόνου απόκρισης και της ποιότητας των αποτελεσμάτων για κάθε ένα επιλυτή
5. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα κατασκευάσαμε συστήματα που προβλέπουν τη συμπεριφορά του χρόνου απόκρισης και της ποιότητας των αποτελεσμάτων
6. Επιλέξαμε τα καλύτερα συστήματα για να προβλέψουμε εκτός του χρόνου και της ποιότητας ποιος επιλυτής θα δώσει το καλύτερο αποτέλεσμα
7. Συγκρίναμε όλα τα αποτελέσματα-εκτιμήσεις για δύο μεθόδους πρόβλεψης

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος πρόβλεψης με ασαφή συστήματα είναι αποτελεσματική αλλά σε άλλους επιλυτές περισσότερο και σε άλλους λιγότερο. Ο λόγος φαίνεται και από τις μετρήσεις του τρίτου βήματος που δείχνουν ότι δεν υπάρχει κάποιος μοτίβο στη συμπεριφορά κάποιων επιλυτών. Έτσι είναι εγγενώς αδύνατο να γίνει απόλυτα σωστή πρόβλεψη.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της πρόβλεψης του καλύτερου επιλυτή δείχνουν ότι η σχετικά καλή απόδοση οφείλεται στο ότι ένας από τους επιλυτές ξεχωρίζει στις περισσότερες περιπτώσεις. Σίγουρα όμως είναι καλύτερη από μια στατική πρόβλεψη που θα επέλεγε μονάχα τον έναν καλύτερο επιλυτή συνέχεια.

Μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί και ως εφαρμογή. Σίγουρα προτείνεται η υλοποίηση των ασαφών συστημάτων αλλά τώρα η εκπαίδευση ενός ασαφούς συστήματος δεν είναι μια διαδικασία που γίνεται μια φορά. Έτσι όταν σε επίπεδο εφαρμογής υπάρξουν νέες μετρήσεις από πιθανούς χρήστες της αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία νέα εκπαίδευση του συστήματος και μια αναμενόμενη περαιτέρω βελτίωση των προβλέψεων. Με άλλα λόγια το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και επαλήθευσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν σχετικά μικρό αλλά όσο μεγαλύτερο γίνεται τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η βελτίωση που θα περιμένουμε. Από την άλλη η εκπαίδευση δε θα πρέπει να γίνεται συνέχεια, για παράδειγμα μετά από κάθε καινούργια μέτρηση, γιατί είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και θα καθυστερεί όλο και περισσότερο όσο μεγαλώνει το σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε αυτή.

Στη συνέχεια θα δούμε βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν σε όλα τα βήματα της εργασίας που αναφέρθηκαν πιο πριν

1. Οι παράμετροι που εξετάσαμε δεν είναι όλες οι πιθανές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του μοντέλου. Ανάλογα με τα αιτήματα της εφαρμογής μπορεί να κριθεί ότι και ο αριθμός των πυρήνων ανά εικονική μηχανή μπορεί να μην είναι

πάντα 1 όπως θεωρήσαμε και να χρειάζεται να μελετηθεί και αυτός ως παράμετρος.

2. Αν και οι επιλυτές που εξετάσαμε ήταν όλοι οι δυνατοί δεν αποκλείεται να εμφανιστούν και άλλοι στο μέλλον. Επίσης μπορούν να εξεταστούν και κάποιες παράμετροι των επιλυτών που όχι μόνο μπορεί να κάνουν το μοντέλο να τρέχει πιο γρήγορα αλλά μπορεί να γίνει πιο πιθανό να βρεθεί λύση όταν ο επιλυτής δεν έβρισκε ποτέ μίας.
3. Σε περίπτωση κάποιων γρήγορων επιλυτών μπορεί να γίνουν πιο αναλυτικές μετρήσεις και εκτός από την εξέταση ξεχωριστά κάθε παραμέτρου να εξεταστούν πολλές διαφορετικές στάθμες πολλών παραμέτρων ταυτόχρονα
4. Σε αυτό το σημείο προτείναμε ήδη τη συγκέντρωση δεδομένων για την εκπαίδευση από αιτήματα χρηστών. Η χρήση δεδομένων εκπαίδευσης από χρήστες είναι χρήσιμη και για το λόγο ότι τα δεδομένα εισόδου θα είναι πιο ρεαλιστικά και όχι τυχαία παραγόμενα όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία
5. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί με τον ίδιο τρόπο που περιγράφεται στην εργασία αν και μπορεί να υπάρξουν καινούργιες εκδόσεις των συναρτήσεων εκπαίδευσης και κατασκευής ασαφών συστημάτων που να έχουν περισσότερες επιλογές να εξεταστούν. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι πρόβλεψης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Casolari S., e. a. (2008, Σεπτέμβριος 8-10). Runtime prediction models for Web-based system resources. *Modeling, Analysis and Simulation of Computers and Telecommunication Systems, 2008. MASCOTS 2008. IEEE International Symposium on* , σσ. 1-8.
- [2] Chen, T. a. (2003). A fuzzy back propagation network for output time prediction in a wafer fab. *Applied Soft Computing* , 2 (3), σσ. 211 - 222.
- [3] COIN-OR Foundation, Inc. (n.d.). Ανάκτηση από COmputational INfrastructure for Operations Research Home Page: <http://www.coin-or.org/>
- [4] GAMS Development Corporation. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.gams.com/dd/docs/solvers/allsolvers.pdf>
- [5] George Kousiouris, e. a. (2010, Ιούλιος 5-10). A Service-Oriented Framework for GNU Octave-Based Performance Prediction. *2010 IEEE International Conference on* , σσ. 114-121.
- [6] George Kousiouris, e. a. (2011, Αύγουστος). The effects of scheduling, workload type and consolidation scenarios on virtual machine performance and their prediction through optimized artificial neural networks. *Journal of Systems and Software* , 84 (8), σσ. 1270-1291.
- [7] Kleopatra Konstanteli, e. a. (2011, Δεκέμβριος). Probabilistic Admission Control for Elastic Cloud Computing. *Proceedings of IEEE International Conference on Service Oriented Computing and Applications (SOCA)* .
- [8] Michael R. Bussieck, S. V. (n.d.). *MINLP Solver Software*. Ανάκτηση από <http://www.math.hu-berlin.de/~stefan/minlpsoft.pdf>
- [9] Patrick Amestoy, M. B. (n.d.). Ανάκτηση από [http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/doc/userguide\\_4.10.0.pdf](http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/doc/userguide_4.10.0.pdf)
- [10] Podhradsky, M. (n.d.). *Modelling languages for optimization*. Ανάκτηση από [http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/0/0b/Bp\\_2010\\_podhradsky\\_michal.pdf](http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/0/0b/Bp_2010_podhradsky_michal.pdf)
- [11] Rosenthal, R. E. (n.d.). *GAMS / A User's Guide*. Ανάκτηση από <http://www.gams.com/dd/docs/bigdocs/GAMSUsersGuide.pdf>
- [12] *The General Algebraic Modeling System (GAMS) Website*. (n.d.). Retrieved from GAMS Home Page: <http://www.gams.com/>
- [13] The Mathworks Inc. (n.d.). Ανάκτηση από [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)

- [14] Wikimedia Foundation, I. (n.d.). Ανάκτηση από [http://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_and\\_recall](http://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall)
- [15] Wikimedia Foundation, Inc. (n.d.). Ανάκτηση από [http://en.wikipedia.org/wiki/Root\\_mean\\_square\\_deviation](http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square_deviation)
- [16] Wikimedia Foundation, Inc. (n.d.). Ανάκτηση από <http://en.wikipedia.org/wiki/T-norm>
- [17] Ziena Optimization, Inc. (n.d.). Ανάκτηση από [http://www.ziena.com/docs/Knitro70\\_UserManual.pdf](http://www.ziena.com/docs/Knitro70_UserManual.pdf)
- [18] Σταφυλοπάτης, Α. (1996). *Ανάλυση Επίδοσης Υπολογιστικών Συστημάτων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [19] *Optimis-Optimized Infrastructure Services*. (n.d.). Retrieved from OPTIMIS Home Page: <http://www.optimis-project.eu/>

## Γλωσσάριο

BARON	Branch and Reduce Optimization Navigator
BONMIN	Basic Open-source Nonlinear Mixed INteger programming
CBC	COIN-OR Branch and Cut
COIN-OR	COmputational INfrastructure for Operation Research
COUENNE	Convex Over and Under ENvelopes for Non-linear Estimation
CLP	COIN-OR Linear Programming
CPU	Central Processing Unit
DICOPT	DIcrete and Continuous OPTimizer
GAMS	General Algebraic Modeling System
IPOPT	Interior Point Optimizer
LP	Linear Programming
MINLP	Mixed Integer Non Linear Programming
MIP	Mixed Integer Programming
MIQCP	Mixed Integer Quadratically Constrained Programs
MUMPS	MULTifrontal Massively Parallel Solver
NLP	Non Linear Programming
OQNLP	OptQuest NonLinear Programming
QCP	Quadratically Constrained Programming
RMIP	Relaxed Mixed Integer Programming
SBB	Simple Branch and Bound
VM	Virtual Machine

## Παράρτημα

Πηγαίος κώδικας train.m

```
function [factors, fismat2] =
train(traindat, valdat, testdat, and, or, imp, agg, defuzz, ...
      radii, numMfs, inMftype, algo, indin, indout, PSout, numRules)
% constants
min_val = 0;
max_val = 1;
dif = max_val - min_val;

%selection of inputs, outputs
trainin = traindat(:,indin);
trainout = traindat(:,indout);
valin = valdat(:,indin);
valout = valdat(:,indout);
testin = testdat(:,indin);
testout = testdat(:,indout);

%keep process settings only for desired output
PSout.xrows = 1; inputs = 8;
PSout.xmax = PSout.xmax(indout-inputs);
PSout.xmin = PSout.xmin(indout-inputs);

%% fis generation
switch algo
  case 1
    %input membership functions any gbellmf(default)
    %output membership functions linear(default)
    fismat = genfis1([trainin trainout],numMfs,inMftype);
  case 2
    %default options [1.25 0.5 0.15 0]
    fismat = genfis2(trainin, trainout, radii, [], [1.25 0.5 0.15
0]);
  case 3
    %default options [2.0 100 1e-5 1]
    fismat = genfis3(trainin, trainout, 'sugeno',numRules,[2.0 150
1e-5 1]);
  otherwise
    fismat = genfis2(trainin, trainout, radii, [], [1.25 0.5 0.15
0]);
end

% debugging output
disp 'rules'
disp (length(fismat.rule))
disp (indin)

%options andMethod min prod(default)
%options orMethod max probor(default)
%options impMethod min prod(default)
%options aggMethod max probor(default) sum
%options defuzzMethod wtaver(sug) (default) wtsum(sug) bisector(mam)
%      centroid(mam) lom(mam) mom(mam) som(mam)
fismat.andMethod = and;
fismat.orMethod = or;
fismat.impMethod = imp;
fismat.aggMethod = agg;
fismat.defuzzMethod = defuzz;
```

```

trnfuzout = evalfis(trainin, fismat);
trnfuzout = max(trnfuzout, min_val);
trnfuzout = min(trnfuzout, max_val);
trnRMSEN = norm(trnfuzout - trainout)/sqrt(length(trainout))/dif;
trnfuzout = mapminmax('reverse',trnfuzout',PSout);
trnfuzout = trnfuzout';
trainout = mapminmax('reverse',trainout',PSout);
trainout = trainout';
trnRMSE = norm(trnfuzout - trainout)/sqrt(length(trainout));
trnCVRMSE = trnRMSE./mean(trainout);
trnfactor = sum(abs((trnfuzout -
trainout)./trainout))/length(trainout);

vlfuzout = evalfis(valin, fismat);
vlfuzout = max(vlfuzout, min_val);
vlfuzout = min(vlfuzout, max_val);
vlRMSEN = norm(vlfuzout - valout)/sqrt(length(valout))/dif;
vlfuzout = mapminmax('reverse',vlfuzout',PSout);
vlfuzout = vlfuzout';
valout = mapminmax('reverse',valout',PSout);
valout = valout';
vlRMSE = norm(vlfuzout - valout)/sqrt(length(valout));
vlCVRMSE = vlRMSE./mean(valout);
vlfactor = sum(abs((vlfuzout - valout)./valout))/length(valout);

tstfuzout = evalfis(testin, fismat);
tstfuzout = max(tstfuzout, min_val);
tstfuzout = min(tstfuzout, max_val);
tstRMSEN = norm(tstfuzout - testout)/sqrt(length(testout))/dif;
tstfuzout = mapminmax('reverse',tstfuzout',PSout);
tstfuzout = tstfuzout';
testout = mapminmax('reverse',testout',PSout);
testout = testout';
tstRMSE = norm(tstfuzout - testout)/sqrt(length(testout));
tstCVRMSE = tstRMSE./mean(testout);
tstfactor = sum(abs((tstfuzout - testout)./testout))/length(testout);

valout = mapminmax('apply',valout',PSout);
valout = valout';
trainout = mapminmax('apply',trainout',PSout);
trainout = trainout';
testout = mapminmax('apply',testout',PSout);
testout = testout';

%% fis training
if length(fismat.rule) == 1
    %no training if there is one rule generated
    maxi = 1000000;
    trnCVRMSE2 = maxi;
    trnRMSEN2 = maxi;
    trnfactor2 = maxi;
    vlCVRMSE2 = maxi;
    vlRMSEN2 = maxi;
    vlfactor2 = maxi;
    tstCVRMSE2 = maxi;
    tstRMSEN2 = maxi;
    tstfactor2 = maxi;
else
    % default options[10 0 0.01 0.9 1.1]

```

```

[fismat,foo1,bar,fismat2,foo2] = anfis([trainin trainout],...
    fismat,[50 0 0.1],[],[valin valout]);

fismat.andMethod = and;
fismat.orMethod = or;
fismat.impMethod = imp;
fismat.aggMethod = agg;
fismat.defuzzMethod = defuzz;

fismat2.andMethod = and;
fismat2.orMethod = or;
fismat2.impMethod = imp;
fismat2.aggMethod = agg;
fismat2.defuzzMethod = defuzz;

trnfuzout = evalfis(trainin, fismat2);
trnfuzout = max(trnfuzout, min_val);
trnfuzout = min(trnfuzout, max_val);
trnRMSEN2 = norm(trnfuzout -
trainout)/sqrt(length(trainout))/dif;
trnfuzout = mapminmax('reverse',trnfuzout',PSout);
trnfuzout = trnfuzout';
trainout = mapminmax('reverse',trainout',PSout);
trainout = trainout';
trnRMSE2 = norm(trnfuzout - trainout)/sqrt(length(trainout));
trnCVRMSE2 = trnRMSE2./mean(trainout);
trnfactor2 = sum(abs((trnfuzout -
trainout)./trainout))/length(trainout);

vlfuzout = evalfis(valin, fismat2);
vlfuzout = max(vlfuzout, min_val);
vlfuzout = min(vlfuzout, max_val);
vlRMSEN2 = norm(vlfuzout - valout)/sqrt(length(valout))/dif;
vlfuzout = mapminmax('reverse',vlfuzout',PSout);
vlfuzout = vlfuzout';
valout = mapminmax('reverse',valout',PSout);
valout = valout';
vlRMSE2 = norm(vlfuzout - valout)/sqrt(length(valout));
vlCVRMSE2 = vlRMSE2./mean(valout);
vlfactor2 = sum(abs((vlfuzout - valout)./valout))/length(valout);

tstfuzout = evalfis(testin, fismat2);
tstfuzout = max(tstfuzout, min_val);
tstfuzout = min(tstfuzout, max_val);
tstRMSEN2 = norm(tstfuzout - testout)/sqrt(length(testout))/dif;
tstfuzout = mapminmax('reverse',tstfuzout',PSout);
tstfuzout = tstfuzout';
testout = mapminmax('reverse',testout',PSout);
testout = testout';
tstRMSE2 = norm(tstfuzout - testout)/sqrt(length(testout));
tstCVRMSE2 = tstRMSE2./mean(testout);
tstfactor2 = sum(abs((tstfuzout -
testout)./testout))/length(testout);
end
%% results before and after training in first and second row
respectively
factors = [trnCVRMSE trnRMSEN trnfactor vlCVRMSE vlRMSEN vlfactor
tstCVRMSE tstRMSEN tstfactor;
    trnCVRMSE2 trnRMSEN2 trnfactor2 vlCVRMSE2 vlRMSEN2
vlfactor2 tstCVRMSE2 tstRMSEN2 tstfactor2];

```