



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΙΝΗΤΩΝ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

# Μελέτη Ασύρματης Διάδοσης σε Μοριακό Επίπεδο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπονές Γεώργιος

Επιβλέπων: Φίλιππος Κωνσταντίνος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΙΝΗΤΩΝ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

## Μελέτη Ασύρματης Διάδοσης σε Μοριακό Επίπεδο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπονές Γεώργιος

Επιβλέπων: Φίλιππος Κωνσταντίνος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2011

.....

Φίλιππος Κωνσταντίνου

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος

Λέκτορας ΕΜΠ

.....

Κωνσταντίνα Νικήτα

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....  
ΜΠΟΝΕΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

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

Copyright © Μπονές Γεώργιος, 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 εργασίας είναι η περιγραφή και ανάλυση ασυρμάτων τρόπων επικοινωνίας στο μοριακό επίπεδο με τη χρήση νανοαισθητήρων. Ξεκινώντας από μια ευρεία προσέγγιση της αρχιτεκτονικής των νανοαισθητήρων και ενός μεγάλου πλήθους εφαρμογών της νανοτεχνολογίας, η διπλωματική επικεντρώνεται σε μεθόδους επικοινωνίας μεταξύ κατανεμημένων νανομηχανών για δίκτυα μικρής, μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας.

### Λέξεις κλειδιά

Νάνο, νανοτεχνολογία, νανοδίκτυα, νανοαισθητήρες, ιόντα ασβεστίου, μοριακοί κινητήρες, φερομόνες, DNA, κύτταρα, υποδοχείς



## **Abstract**

The purpose of this diploma thesis is to describe and analyze the wireless communication techniques using nanosensors at the molecular scale. The dissertation is unwinded through a broad scope of the nanosensors architecture and a wide spectrum of nanoapplications, gradually focusing on communication methods between deployed nanomachines for networks of short, medium and long range.

### **Key words**

Nano, nanotechnology, nanonetworks, nanosensors, calcium ions, molecular motors, pheromones, DNA, cells, receptors

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που με την ψυχολογική τους υποστήριξη και βοήθεια συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας σε μία δύσκολη για μένα περίοδο.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Φίλιππο Κωνσταντίνο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με έναν τομέα που πραγματικά με αρέσει, καθώς τον κ. Αθανάσιο Δ. Παναγόπουλο και την κ. Κωνσταντίνα Νικήτα, των οποίων ο λόγος και η συμπεριφορά με ενέπνευσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Στρατούλα Κωνσταντίνου και Κωνσταντίνο Μπονέ, που με πάντα με στήριζαν σε ό,τι κι αν έκανα και που ξέρω ότι θα συνεχίζουν να με στηρίζουν.



# Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες .....	8
1 Εισαγωγή.....	14
Ασύρματοι νανοαισθητήρες: .....	16
Ανάπτυξη & αρχιτεκτονική.....	16
2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΑΝΟΣΥΣΚΕΥΩΝ.....	16
2.1.1 ΑΠΟ ΠΑΝΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ .....	17
2.1.2 ΑΠΟ ΚΑΤΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ .....	17
2.1.2.1 DNA scaffolding .....	18
2.1.3 ΒΙΟ-ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	19
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	20
2.2.1 ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	20
2.2.1.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	21
2.2.1.2 ΧΗΜΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	21
2.2.1.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ .....	21
2.2.2 ΜΟΝΑΔΑ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	25
2.2.2.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΑΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	25
2.2.2.2. ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	25
2.2.3 ΜΟΝΑΔΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	26
2.2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	28
2.2.5 ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	28
2.2.6 ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	30
Εφαρμογές των ασυρμάτων δικτύων νανοαισθητήρων .....	33
3.1 στη βιοϊατρική .....	33
3.1.1 ΦΑΡΜΑΚΑ.....	33
3.1.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΑΡΜΑΚΩΝ .....	34
3.1.3 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ .....	35
3.1.4 ΒΙΟΣΥΜΒΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΑ ΝΑΝΟΡΟΜΠΟΤ .....	36
3.1.5 ΒΙΟΪΒΡΙΔΙΚΑ ΜΟΣΧΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ .....	37
3.1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΣΤΩΝ.....	38
3.1.7 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ .....	38
3.2 βιομηχανία και καταναλωτικά αγαθά .....	39

3.2.1 Λειτουργικά υλικά και υφάσματα .....	39
3.2.2 Επιφάνειες αφής με υψηλή ευαισθησία.....	39
3.2.3 Απτική διασύνδεση .....	39
3.3 στρατιωτικές και αμυντικές εφαρμογές .....	40
3.3.1 ΠΥΡΗΝΙΚΑ, ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΥΝΑΣ .....	40
3.3.2 ΟΠΛΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ .....	40
3.4 περιβαλλοντικές εφαρμογές .....	41
3.5 στα τρόφιμα.....	42
3.5.1 ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ .....	42
3.5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	42
3.6 στη γεωργία .....	43
3.6.1 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	43
3.6.2 ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΟΧΕΤΕΥΣΗΣ .....	43
Επικοινωνία μεταξύ .....	44
των νανομηχανών.....	44
4.1 Επικοινωνία μικρής εμβέλειας με χρήση σηματοδοσίας ασβεστίου .....	47
4.1.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	51
4.1.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	51
4.1.3 ΔΙΑΔΟΣΗ .....	51
4.1.4 ΥΠΟΔΟΧΗ .....	52
4.1.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	52
4.2 Επικοινωνία μικρής εμβέλειας με χρήση μοριακών κινητήρων .....	53
4.2.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	55
4.2.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	56
4.2.3 ΔΙΑΔΟΣΗ .....	56
4.2.4 ΛΗΨΗ.....	57
4.2.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	57
4.3 Επικοινωνία μεσαίας εμβέλειας με χρήση βακτηρίων με μαστίγια.....	58
4.3.1 ΑΝΑΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ DNA.....	59
4.3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΝΑΝΟΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΠΑΚΕΤΑ DNA .....	61
4.3 επικοινωνια μεσαιασ εμβελειασ με τη χρηση βακτηριων με μαστιγια .....	66
4.3.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	67
4.3.1.1 ΜΕ ΠΛΑΣΜΙΔΙΑ.....	68
4.3.1.2 ΜΕ ΒΑΚΤΗΡΙΟΦΑΓΟΥΣ .....	70

4.3.1.3 ΜΕ ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑΚΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΑ (BACS) .....	70
4.3.2 ΔΙΑΔΟΣΗ .....	71
4.3.3 ΑΠΟΘΥΛΑΚΩΣΗ .....	71
4.3.4 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	71
4.4 Επικοινωνία μακράς εμβέλειας με χρήση φερομονών .....	72
4.4.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	75
4.4.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	76
4.4.3 ΔΙΑΔΟΣΗ .....	76
4.4.4 ΛΗΨΗ.....	76
4.4.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	76
4.5 Επικοινωνία των ασυρμάτων δικτύων νανοαισθητήρων με Η/Μ κύματα.....	77
4.5.1 Μοντέλα Διάδοσης.....	77
4.5.1.1 Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΤΩΝ ΤΕΡΑHERTZ .....	77
4.5.1.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ.....	78
4.5.1.3 ΘΟΡΥΒΟΣ.....	79
4.5.1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΥΛΟΥ .....	79
4.5.2 Χωρητικότητα Διαύλου .....	82
4.5.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΟΡΙΑΚΟΥ BIT.....	89
5 Ερευνητικές προκλήσεις στο πεδίο των νανοδικτύων .....	90
5.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΑΝΟΣΥΣΚΕΥΩΝ, ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	90
5.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ της ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	91
5.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ .....	92
5.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	93
5.5 ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΑΝΟΔΙΚΤΥΩΝ.....	94
5.6 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	95
Συμπεράσματα.....	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: .....	97
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ.....	97
7.1 ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ .....	97
7.2 ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ .....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: .....	101
ΓΡΑΦΕΝΙΟ .....	101
Ορολογία.....	104
Βιβλιογραφία .....	111



## Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2.1: τεχνικές κατασκευής και ενσωμάτωσης νανοαισθητήρων .....	17
Σχήμα 2.2: συνένωση νανοσωλήνων άνθρακος σε επιφάνεια σιλικόνης μέσω πλαισίων στήριξης DNA .....	18
Σχήμα 2.3: συνένωση νουκλεοτιδίων DNA και δύο συμπληρωματικών ακολουθιών .....	19
σχήμα 2.4: Ένας ολοκληρωμένος νανοαισθητήρας .....	20
Σχήμα 2.5: Είδη νανοαισθητήρων .....	23
Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση των βασικών αρχών των νανοαισθητήρων που βασίζονται σε CNT .....	24
Σχήμα 2.7: Σύστημα εκμετάλλευσης ενέργειας που βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο από ZnO.....	27
Σχήμα 2.8 Ατομική μνήμη που χρησιμοποιεί άτομα σιλικόνης πάνω σε χρυσές τροχιές για την αποθήκευση ψηφιακής πληροφορίας .....	29
Σχήμα 4.1: Μετάδοση σημάτων με ιόντα ασβεστίου μέσω (α) χασματοσυνδέσεων και (β) διάχυσης .....	50
Σχήμα 4.2: Βιολογία ενός μοριακού κινητήρα.....	53
Σχήμα 4.3: Τα στοιχεία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος με μοριακούς κινητήρες .....	57
Σχήμα 4.4: Αρχιτεκτονική νανοδικτύου .....	61
Σχήμα 4.5: Δομή ενός πακέτου DNA μικρής εμβέλειας .....	62
Σχήμα 4.6: Προσάρτηση του πακέτου μικρής εμβέλειας στο DNA chip .....	63
Σχήμα 4.7: Τα ένζυμα περιορισμού ενδονουκλεάσας.....	63
Σχήμα 4.8: Δομή των πολυπλεχθέντων πακέτων.....	64
Σχήμα 4.9: Διαδικασία της αποπολύπλεξης .....	64
Σχήμα 4.10: Δομή των αποπολυπλεχθέντων πακέτων της αποπολύπλεξης.....	65
Σχήμα 4.11: Απεικόνιση του Escherichia coli .....	66
Σχήμα 4.12: Κωδικοποίηση του πακέτου DNA με τη χρήση πλασμιδίων .....	68
Σχήμα 4.13: Επικοινωνία με χρήση φερομονών .....	73
Σχήμα 4.14: Φασματική πυκνότητα ισχύος για γκαουσιανό παλμό εύρους 0.1 ps και οι πρώτες 8 χρονικές παράγωγοι .....	81
Σχήμα 7.1: Δομή ενός προκαρυωτικού κυττάρου .....	98
Σχήμα 7.2: Δομή ενός ευκαρυωτικού κυττάρου .....	99
Σχήμα 8.1: CNT .....	102
Σχήμα 8.2: GNR.....	103

# 1

## Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία αποτελεί μία καινούρια σχετικά επιστήμη και ουσιαστικά συγκεράζει ένα ευρύ φάσμα επιστημών, της Μηχανικής, της Βιολογίας, της Φυσικής και της Χημείας. Περιλαμβάνει την παρακολούθηση, τη μέτρηση, τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο της ύλης στην νανοκλίμακα.

Βασίζεται στο γεγονός ότι σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 100 νανόμετρα προσδίδουν νέες ιδιότητες και συμπεριφορές στις δομές που παράγονται από αυτά. Το πρόθεμα νάνο σημαίνει ένα δισεκατομμυριοστό, δηλαδή μια ποσότητα τάξης μεγέθους  $10^{-9}$ . Προκειμένου να γίνει κατανοητό πόσο ασύλληπτα μικρή είναι αυτή η ποσότητα, αρκεί να σκεφτούμε πως ένα φύλλο χαρτί είναι περίπου 100.000 νανόμετρα παχύ, μία ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου 60.000 νανόμετρα κι ένα ερυθρό αιμοσφαίριο έχει πλάτος περίπου 7.000 νανόμετρα.

Αν και η λέξη νανοτεχνολογία είναι σχετικά νέα, λειτουργικές συσκευές και δομές αυτής της κλίμακας υπάρχουν στη Γη από τη δημιουργία της, καθώς κάθε βιολογική δομή είναι στην ουσία μία αυτόνομη νανοσυσκευή που επιτελεί ένα εύρος λειτουργιών.

Η νανοτεχνολογία επιτρέπει την κατασκευή και τη χρήση υλικών με ιδιότητες οι οποίες προσδίδονται σκοπίμως μέσω τεχνητών μεθόδων στο εργαστήριο και επιτρέπει τη δημιουργία δομών, άτομο προς άτομο, τόσο μικρών που είναι αόρατες στο γυμνό μάτι.

Η νανοτεχνολογία μπορεί να συμβάλλει σε σημαντικές αλλαγές πάνω σε ένα ευρύ και ποικίλο εύρος περιοχών. Μπορεί να βρει εφαρμογή σχεδόν σε κάθε είδος κατασκευαστικής διαδικασίας και προϊόντος, όπως είναι θεραπεία για πολλές μέχρι τώρα ανίατες ασθένειες ακόμα και για αυτές που δεν έχουν εκδηλώσει τα συμπτώματά τους ακόμα, καθαρισμός του περιβάλλοντος, βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του

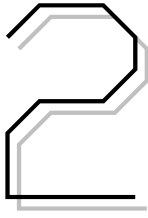
νερού, καλύτερα συστήματα καλλιέργειας της γης, τεράστια αύξηση της χωρητικότητας και της ταχύτητας των υπολογιστών, υφάσματα που καθαρίζουν μόνα τους και διαδραστικές τροφές.

Οι προοπτικές που ανοίγονται μπροστά μας είναι απύθμενες και για αυτόν τον λόγο απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός προκειμένου να μπορέσουμε να επεκτείνουμε τις δυνατότητες μιας μεμονωμένης νανοσυσκευής, ώστε μέσω της διασύνδεσης πολλών νανοδομών να επιτελέσουν κατανεμημένες και συλλογικές λειτουργίες.

Εκεί έρχονται τα νανοδίκτυα, δηλαδή η διασύνδεση πολλών αυτόνομων νανοσυσκευών ώστε να μπορέσουν απρόσκοπτα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και από κοινού να υλοποιήσουν πολύπλοκες εφαρμογές.

Οι παραδοσιακές τεχνολογίες επικοινωνίας δεν είναι κατάλληλες για δίκτυα τόσο μικρού μεγέθους εξαιτίας κυρίως του μικρού μεγέθους και της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης που χρειάζονται μεταγωγείς, πομποί, δέκτες και άλλα συστατικά στοιχεία των δικτύων.

Απαιτείται λοιπόν μια διαφορετική προσέγγιση, η οποία κατά κύριο λόγο ακολουθεί τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς που χρησιμοποιούν οι βιολογικοί οργανισμοί μεταξύ τους, προκειμένου να καταστεί δυνατό να μοντελοποιηθούν κανάλια επικοινωνίας για κάθε περίπτωση επικοινωνίας και σενάριο εφαρμογής.



## Ασύρματοι νανοαισθητήρες:

### Ανάπτυξη & αρχιτεκτονική

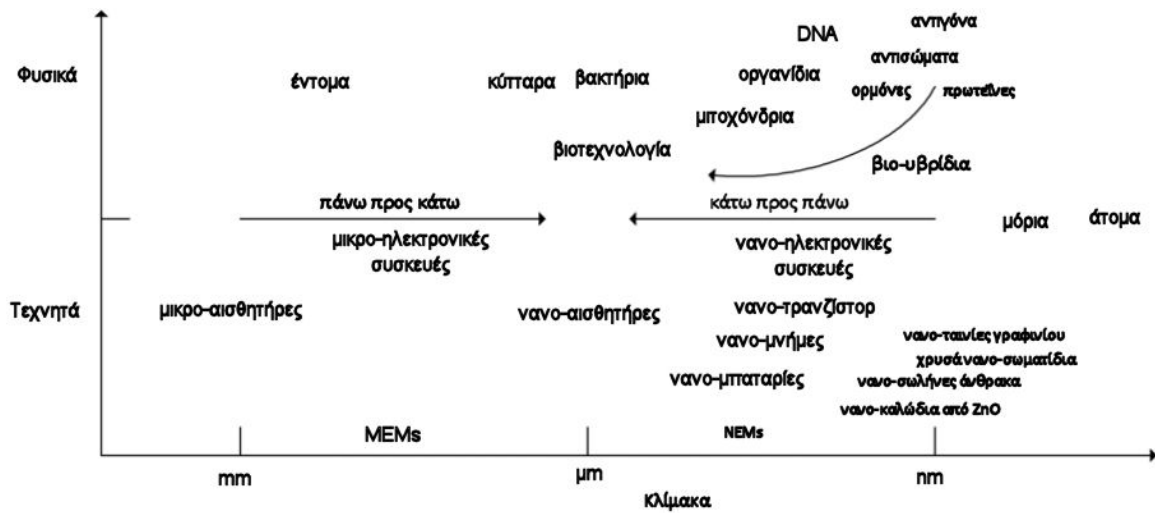
## 2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΑΝΟΣΥΣΚΕΥΩΝ

Οι νανομηχανές, είτε μιλάμε για αυτές που ήδη υπάρχουν στη φύση, είτε για αυτές που δημιουργούνται τεχνητά, είναι συσκευές οι οποίες αποτελούνται από εξαρτήματα με μέγεθος ανηγμένο στην νανοκλίμακα, και οι οποίες μπορούν να επιτελέσουν μια συγκεκριμένη διεργασία σε επίπεδο νάνο, όπως είναι να λειτουργήσουν ως αισθητήρες, να αποθηκεύσουν δεδομένα, να μπορούν να μετατοπιστούν, να εκτελέσουν απλούς υπολογισμούς και να επικοινωνήσουν με άλλες αντίστοιχες μηχανές.

Για την κατασκευή των νανομηχανών υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές και προσεγγίσεις προκειμένου να κατασκευάσουμε επιμέρους εξαρτήματα και να τα ενσωματώσουμε στους νανοαισθητήρες. Αυτές κατηγοριοποιούνται ακολούθως:

- (i) από πάνω προς τα κάτω,
- (ii) από κάτω προς τα πάνω και
- (iii) με μεθόδους βιο-υβριδισμού.





Σχήμα 2.1: τεχνικές κατασκευής και ενσωμάτωσης νανοαισθητήρων

### 2.1.1 ΑΠΟ ΠΑΝΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ

Στην περίπτωση αυτή, τα νανο-εξαρτήματα μπορούν να κατασκευαστούν με τη χρήση μεγαλύτερων, εξωτερικά ελεγχόμενων εργαλείων ώστε να υποβιβάζουν το μέγεθος ήδη υπαρχόντων συσκευών, κρατώντας όμως την αρχιτεκτονική των προγόνων τους.

Κάποιες διαδικασίες με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί αυτό είναι η εκτύπωση μικροεπαφών, η νανολιθογραφία αποτυπωμάτων, η νανολιθογραφία με πένα βύθισης και η νανολιθογραφία με χρήση ηλεκτρονίων. Προς το παρόν όμως, η ανάπτυξη, η κατασκευή και η συναρμολόγηση συσκευών κατά αυτόν τον τρόπο βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο.

### 2.1.2 ΑΠΟ ΚΑΤΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ

Στη περίπτωση της προσέγγισης από κάτω προς πάνω, χρησιμοποιούμε μια νανομετρική υποδομή, όπως είναι ένα μόριο, και μέσω μιας διαδικασίας σύνταξης ή ακόμα και αυτό-σύνταξης, δημιουργούμε έναν μεγαλύτερο μηχανισμό από τον ήδη υπάρχοντα.

Η μοριακή παραγωγή, δηλαδή η διαδικασία παραγωγής νανosuσκευών μόριο-μόριο αποτελεί τον απόλυτο μηχανισμό δημιουργίας υλικών μέσω μιας διαδικασίας εκθετικής σύνταξης ατόμων και μορίων που ελέγχονται με ακρίβεια.

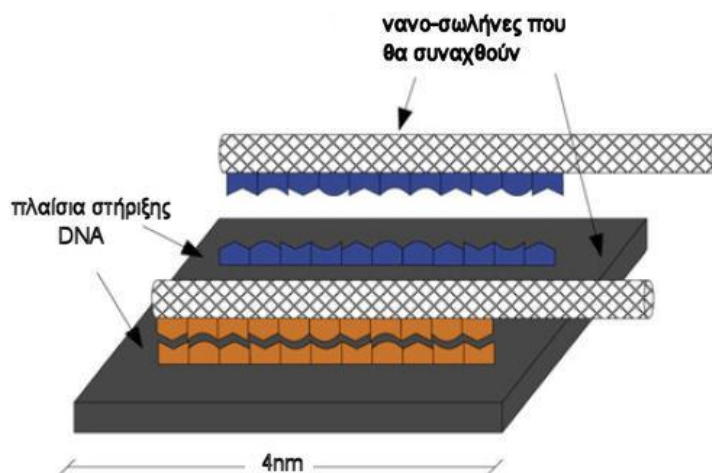
### 2.1.2.1 DNA SCAFFOLDING

Αναγνωρίζοντας τα πλεονεκτήματα του DNA έχει δοθεί ειδικό βάρος στη χρήση του DNA ως μοριακός δομικό λίθος για την κατασκευή νανοδομών και ηλεκτρονικών συσκευών. Η δομή του DNA έχει μελετηθεί εκτενέστατα, ενώ μοριακά είναι και σκληρή αλλά και ευέλικτη.

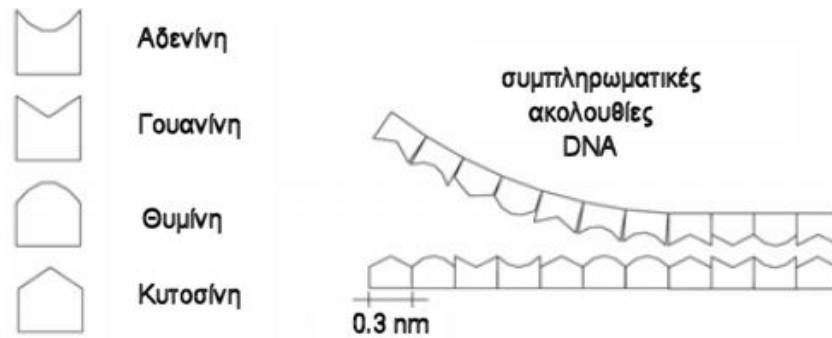
Η τεχνική του DNA origami, όπως ονομάζεται, στηρίζεται στο γεγονός ότι στη δυνατότητα που έχουν οι αντιτακτοί κλώνοι DNA να ενώνονται μεταξύ τους από μόνοι τους όταν συναντούν απέναντι τους τις συμπληρωματικές βάσεις. Τα ζευγάρια είναι πάντα προκαθορισμένα, με την γουανίνη να ενώνεται με την κυτοσίνη, και τη θυμίνη με την αδενίνη. Έτσι λοιπόν, δημιουργείται αρχικά το πολυγωνικό περίγραμμα της δομής, το οποίο και πλαισιώνεται από μονόκλωνο DNA. Στη συνέχεια ενσωματώνονται στη δομή μικρές ακολουθίες DNA, που λειτουργούν ως κόλλα μεταξύ των δύο κλώνων, προκειμένου να σταθεροποιηθεί η δομή.

Μέσω αυτών των πρωτεϊνικών πλαισίων στήριξης και τις αυτό-συντασσόμενες δομές DNA έχουν κατασκευαστεί με μεγάλη ακρίβεια νανοσωλήνες άνθρακα που περιβάλλουν καταστρεμμένους ιστούς, νανοκινητήρες που χρησιμοποιούν φως ως την πηγή κίνησής τους και εν γένει νανοσωματίδια.

Στο σχήμα 2.2 δύο νανοσωλήνες άνθρακος συνενώνονται με ακρίβεια σε μια επιφάνεια σιλικόνης μέσω πλαισίων στήριξης DNA. Κάθε νανοσωλήνας έχει έναν διαφορετικό κλώνο DNA συμπληρωματικό με αυτόν που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια σιλικόνης. Μιας και η κάθε ακολουθία νουκλεοτιδίων είναι συμπληρωματική ανά δύο, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας μοναδικός κλώνος που ταιριάζει στη δεδομένη ακολουθία DNA, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.2: συνένωση νανοσωλήνων άνθρακος σε επιφάνεια σιλικόνης μέσω πλαισίων στήριξης DNA



Σχήμα 2.3: συνένωση νουκλεοτιδίων DNA και δύο συμπληρωματικών ακολουθιών

Αρκετές βιολογικές δομές που συναντώνται σε ζωντανούς οργανισμούς μπορούν να θεωρηθούν ως νανοσυσκευές. Οι πιο πολλές από αυτές τις δομές βρίσκονται στο εσωτερικό κυττάρων και αποτελούνται από νανο-βιοαισθητήρες, βιολογικές δομές αποθήκευσης δεδομένων, και μονάδες ελέγχου ενώ ταυτόχρονα πολλές από αυτές τις δομές διασυνδέονται ώστε να σχηματίσουν μεγαλύτερες και πιο πολύπλοκες δομές και να επιτελέσουν εργασίες όπως είναι η κυτταρική διαίρεση.

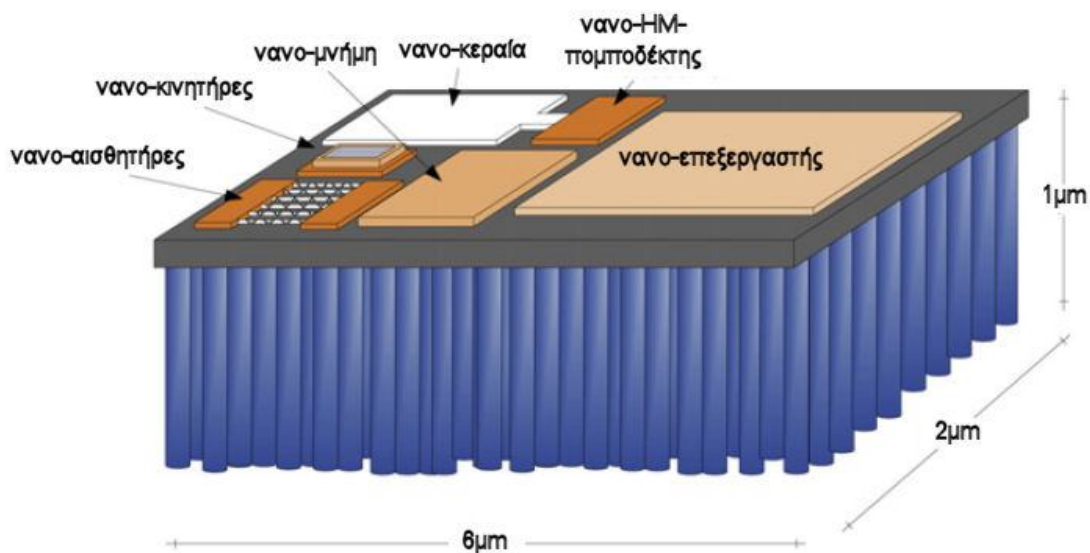
### 2.1.3 ΒΙΟ-ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η βιο-υβριδική προσέγγιση λαμβάνει υπόψη της τα παραπάνω ώστε να δημιουργήσει μοντέλα που να βασίζονται στα βιολογικά μοντέλα ή ακόμα για να ενσωματώσει τις βιολογικές δομές σε τεχνητές και να παράξει πολύπλοκα συστήματα όπως είναι τα νανορομπότ καθώς και να μπορέσει να αίρει προβλήματα ασυμβατότητας. Αρκετά χαρακτηριστικά που θέλουμε να έχουν οι νανοσυσκευές είναι ήδη παρόντα στο εσωτερικό των ζωντανών κυττάρων. Κάποια από αυτά είναι η δυνατότητα των κυττάρων να αναπαράγονται από μόνα τους και η διασύνδεσή τους προκειμένου να φέρουν εις πέρας πολύπλοκες λειτουργίες.

## 2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ένας νανοαισθητήρας είναι μια ολοκληρωμένη συσκευή με μέγεθος γύρω στα 10-100 $\mu\text{m}^2$  που μπορεί να επιτελεί απλές εργασίες, όπως το να εκτελεί απλούς υπολογισμούς ή να ενεργοποιεί τοπικά με τη δράση του άλλες διεργασίες.

Στο σχήμα 2.2.1 φαίνεται η εσωτερική αρχιτεκτονική μιας ολοκληρωμένης συσκευής νανοαισθητήρα. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους των συσκευών αυτών, οι νόμοι της φυσικής αλλά και οι υπάρχουσες τεχνολογίες κατασκευής δεν μπορούν να εφαρμοστούν με τους ίδιους τρόπους που εφαρμόζονται στους μικρο-αισθητήρες.



σχήμα 2.4: Ένας ολοκληρωμένος νανοαισθητήρας

Ακολουθούν διάφορες πιθανές μέθοδοι για την υλοποίηση κάθε επιμέρους δομικής μονάδας που συνθέτουν έναν νανοαισθητήρα.

### 2.2.1 ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ένας νανοαισθητήρας ανιχνεύει και λαμβάνει πληροφορίες για τα νανοςωματίδια και τις μεταφέρει σε άλλες μικροσκοπικές ή μακροσκοπικές συσκευές. Ανάλογα λοιπόν με το είδος των μεγεθών που μετράνε οι νανοαισθητήρες, κατηγοριοποιούνται ακολούθως:

### 2.2.1.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν μεγέθη όπως είναι η μάζα, πίεση, δύναμη ή μετατόπιση. Η βασική αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο γεγονός ότι οι ηλεκτρονικές ιδιότητες των GNRs και των CNTs αλλάζουν όταν λυγίζονται ή παραμορφώνονται. Για παράδειγμα ένας CNT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί ένα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field Effect Transistor – FET) σε νανομέγεθος, του οποίου το κατώφλι εξαρτάται από τις διαστάσεις, τη θερμοκρασία και το μέγεθος του σωλήνα. Μια τοπική παραμόρφωση του σωλήνα προκαλεί αλλαγή στην τιμή των βολτ του κατωφλίου. Έχοντας ως αρχή τη βασική αυτή ιδέα μπορούν να κατασκευαστούν διαφορετικά είδη νανοηλεκτρομηχανικών συστημάτων (Nano ElectroMechanic Systems - NEMs) με διαφορετικές εφαρμογές ανάλογα με τα μεγέθη που δέχονται ως είσοδο.

### 2.2.1.2 ΧΗΜΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν μεγέθη όπως είναι η συγκέντρωση ενός δεδομένου αερίου, την παρουσία ενός συγκεκριμένου τύπου μορίων ή τη μοριακή σύσταση μιας ουσίας. Στην περίπτωση αυτή η υλοποίηση των συγκεκριμένων αισθητήρων βασίζεται στο ότι οι ηλεκτρονικές ιδιότητες των CNTs και GNRs μεταβάλλονται όταν απορροφούν διαφορετικά είδη μορίων, γεγονός που αυξάνει ή μειώνει τοπικά τον αριθμό των ηλεκτρονίων που μπορούν να διαπεράσουν τη διχτυωτή δομή τους από άνθρακα. Παρόμοια με τους φυσικούς αισθητήρες, όταν νανοσωλήνες ή νανοράβδοι χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν μια διάταξη από τρανζίστορς, η παρουσία ενός συγκεκριμένου είδους μορίων αλλάζει το κατώφλι του τρανζίστορ.

### 2.2.1.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν βιομοριακές διαδικασίες, όπως είναι οι αλληλεπιδράσεις αντισωμάτων/αντιγόνων, του DNA, των ενζύμων ή οι διεργασίες μοριακής επικοινωνίας. Ένας βιολογικός νανοαισθητήρας συνήθως αποτελείται (i) από ένα βιολογικό σύστημα αναγνώρισης ή βιο-υποδοχέα, όπως είναι ένα αντίσωμα, ένα ένζυμο, μια πρωτεΐνη ή ένα τμήμα DNA και (ii) από έναν μηχανισμό μετατροπής, πχ έναν ηλεκτροχημικό ανιχνευτή ή έναν οπτικό μετατροπέα.

Υπάρχουν κυρίως δύο υποκατηγορίες βιολογικών αισθητήρων ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους: οι ηλεκτροχημικοί και οι φωτομετρικοί αισθητήρες.

Οι ηλεκτροχημικοί νανοαισθητήρες λειτουργούν παρόμοια με τους χημικούς νανοαισθητήρες, όμως στην περίπτωση αυτή οι αλλαγές στις ηλεκτρονικές ιδιότητες της νανοδιάταξης προκαλούνται είτε

(α) από μια πρωτεΐνη ή από οποιοδήποτε άλλη χημική ένωση που προσδένεται με τον νανοσωλήνα, είτε

(β) από ένα συγκεκριμένο αντιγόνο που προσδένεται σε ένα αντίσωμα που βρίσκεται πάνω στον νανοσωλήνα, είτε

(γ) από μια μονόκλωνη αλυσίδα DNA που ενώνεται με μία άλλη αλυσίδα DNA που είναι προσδεμένη στον νανοσωλήνα.

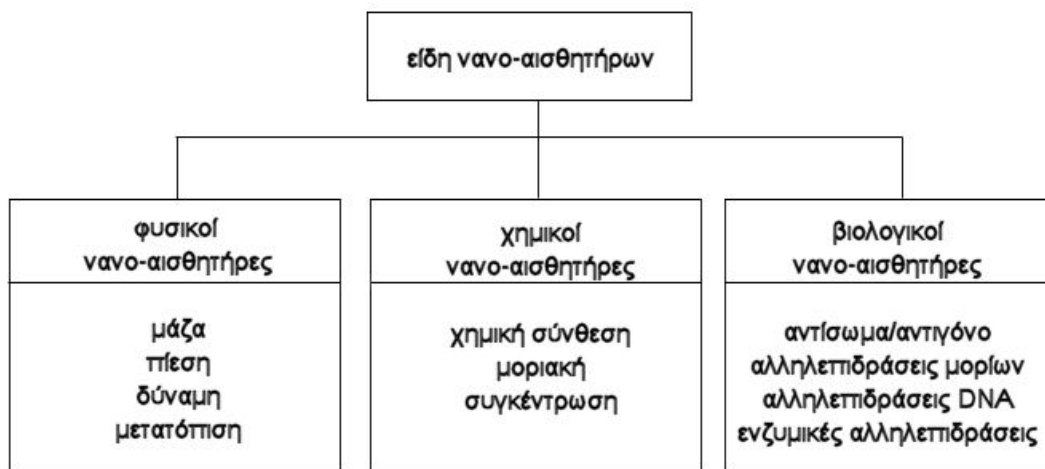
Βάσει αυτών, έχουν ήδη κατασκευαστεί επιτυχώς νανοαισθητήρες που ανιχνεύουν καρκίνο του πνεύμονα, κρίσεις άσθματος και διάφορα είδη ιών, όπως είναι ο ιός της γρίπης ή το παράσιτο που συνδέεται με τη μάλαια.

Η δεύτερη υποκατηγορία βιολογικών αισθητήρων βασίζεται στη χρήση καινούριων μεταλικών νανοσωματιδίων και τη μέσω οπτικών κυμάτων διέγερση των επιφανειακών πλασμονίων.

Τα πλασμόνια είναι επιφανειακά ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται παράλληλα στις διεπαφές μεταξύ των μεταλικών νανοσωματιδίων, τα οποία και αποτελούν τα όρια μεταξύ των οποίων διαδίδονται τα κύματα. Η συχνότητα συντονισμού των επιφανειακών πλασμονίων που προκύπτει από το φως που προσπίπτει πάνω τους αλλάζει όταν μόρια διαφορετικών υλικών (πολυμερή, πρωτεΐνες, DNA) απορροφούνται ενδιάμεσα και πάνω στα σωματίδια. Αυτή η τεχνική (Localized Surface Plasmon Resonance) αποτελεί την κύρια αρχή βάσει της οποίας λειτουργούν πολλοί βιολογικοί νανοαισθητήρες.

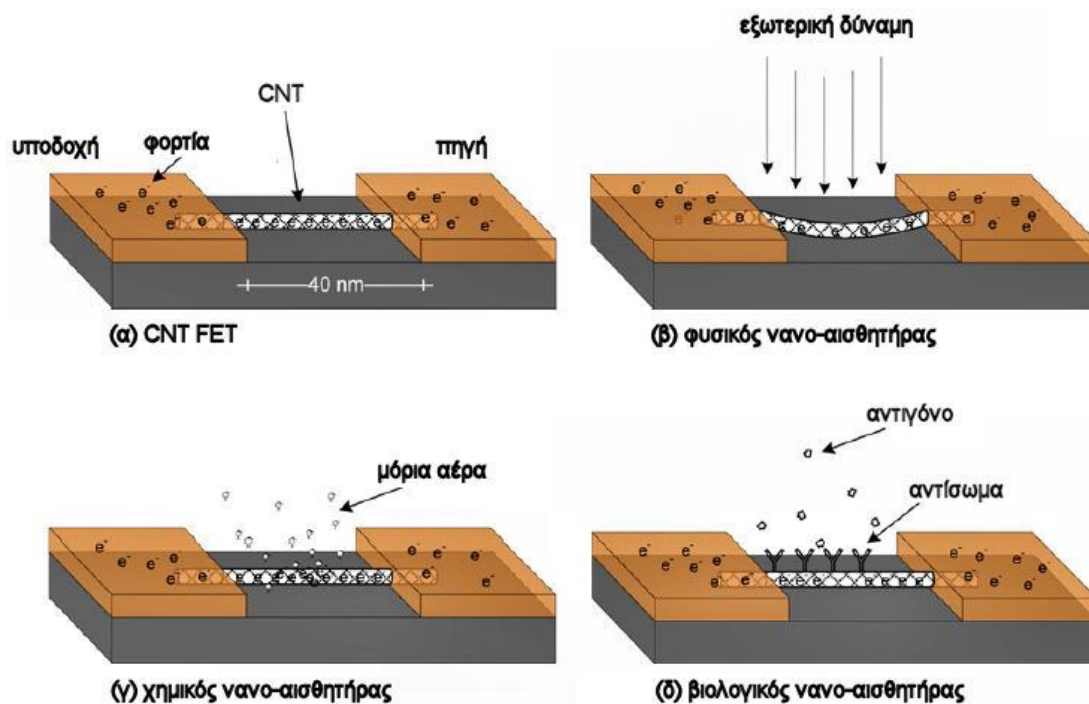
Ένας από τους κύριους περιορισμούς αυτής της μεθόδου είναι ότι απαιτείται μια εξωτερική πηγή φωτός και μια συσκευή η οποία να μπορεί να μετρά και να συγκρίνει διαφορετικές συχνότητες συντονισμού των σωματιδίων. Αυτό μπορεί όμως να επιλυθεί μέσω του συντονισμού και της επικοινωνίας νανοαισθητήρων, οι οποίοι θα μπορούσαν τοπικά να ακτινοβολούν τα ίδια σωματίδια με πολύ μικρότερη ισχύ και μετρούν την επανεκπεμπόμενη ενέργεια σε διαφορετικές συχνότητες. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας θα το επεξεργαστούν συσκευές διαχείρισης δεδομένων.

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των τριών ειδών νανοαισθητήρων.



Σχήμα 2.5: Είδη νανοαισθητήρων

Στο σχήμα 2.6(α) απεικονίζεται σε αδράνεια ένα FET που βασίζεται σε CNT, η δομή του οποίου βασίζεται σε νανοσωλήνες άνθρακα και αποτελείται κυρίως από έναν νανοσωλήνα που βρίσκεται πάνω σε δύο ηλεκτρόδια. Δίνοντας την κατάλληλη γεωμετρία στη δομή του CNT μπορούμε να του προσδώσουμε τις ιδιότητες ημιαγωγού, κι έτσι ηλεκτρόνια φεύγουν από την πηγή και φτάνουν στην υποδοχή μόνο αν εφαρμοστεί ενέργεια μεγαλύτερης τιμής από το κατώφλι για το οποίο άγει. Το κατώφλι αυτό μπορεί να μεταβληθεί είτε όταν ασκηθεί πίεση πάνω στο CNT όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6(β), είτε όταν η ποσότητα των ελευθέρων φορτίων του σωλήνα αυξηθεί ή μειωθεί μέσω της παρουσίας μορίων δοτών ή αποδοχέων συγκεκριμένων αερίων ή στοιχείων, σχήμα 2.6(γ), είτε όταν ο σωλήνας έχει κάποιον βιολογικό υποδοχέα, όπως ένα αντίσωμα, ο οποίος προσδέεται σε συγκεκριμένο αντιγόνο ασθένειας, αλλάζοντας τοπικά τον αριθμό του ελεύθερου φορτίου του σωλήνα, σχήμα 2.6(δ).



Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση των βασικών αρχών των νανοαισθητήρων που βασίζονται σε CNT

Υπάρχουν αρκετές δυσκολίες στο σχεδιασμό των νανοαισθητήρων. Αρχικά, ο χρόνος επαναφοράς των χημικών και βιολογικών νανοαισθητήρων θα πρέπει να μειωθεί. Η πλειονότητα των νανοαισθητήρων είναι επαναχρησιμοποιήσιμη, δηλαδή όταν το καταγραφέν φαινόμενο σταματήσει, οι αισθητήρες επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, χρόνος που αναφέρεται ως χρόνος επαναφοράς. Με την παρούσα τεχνολογία, ο χρόνος συλλογής δεδομένων των χημικών και βιολογικών αισθητήρων είναι κάτω του ενός λεπτού, ενώ ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση ανήκει στην τάξη της δεκάδας των λεπτών, χρόνος αρκετά μεγάλος για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως για την αποτροπή χημικών επιθέσεων.

Δεύτερον, η επιλεκτικότητα των χημικών νανοαισθητήρων πρέπει να αυξηθεί, γιατί είναι δυνατόν διαφορετικοί τύποι μορίων να προκαλέσουν την ίδια έξοδο στη μονάδα συλλογής δεδομένων. Αυτό επιλύεται με τη χρήση νανοράβδων, νανοσωλήνων και νανοσωματιδίων στα οποία έχουν ενσωματωθεί βιολογικές οντότητες που αλληλεπιδρούν μόνο με συγκεκριμένες άλλες οντότητες.



## 2.2.2 ΜΟΝΑΔΑ ΚΙΝΗΣΗΣ

Οι νανοαισθητήρες, πέρα από το να συλλέγουν δεδομένα, αλληλεπιδρούν με το κοντινό τους περιβάλλον. Ως τώρα έχουν υλοποιηθεί αρκετοί νανοκινητήρες, και κατηγοριοποιούνται όπως ακολουθεί:

### 2.2.2.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΑΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Η κατηγορία αυτή βασίζεται στις αρχές των νανοηλεκτρομηχανικών συστημάτων. Όπως ακριβώς μια υλική παραμόρφωση ενός νανοσωλήνα δημιουργεί μια αλλαγή στις ηλεκτρικές ιδιότητες του νανουλικού, έτσι και ένα ηλεκτρικό ρεύμα ή ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να κάμψει έναν νανοσωλήνα.

Βάσει αυτής της αρχής, έχουν προταθεί νανοψαλίδια, νανολεβίδες, νανοαντλίες και άλλα εργαλεία τα οποία μπορούν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν στον ιατρικό και χειρουργικό τομέα. Οι νανοκινητήρες αυτοί θα είναι τοποθετημένοι πάνω στον νανοαισθητήρα.

### 2.2.2.2. ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι κινητήρες αυτοί βασίζονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των νανοϋλικών και νανοσωματιδίων, των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και της θερμότητας. Για παράδειγμα νανομηχανές που παράγουν θερμότητα και βασίζονται σε μαγνητικά νανοσωματίδια μπορούν μέσω της θερμότητάς τους να βλάψουν ή και να καταστρέψουν καρκινικά κύτταρα. Μαγνητικά νανοσωματίδια και χρυσά νανοκελύφη μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την επιλεκτική μεταφορά φαρμάκων, όπου τα περιβλήματα μέσα στα οποία βρίσκονται τα φάρμακα, λιώνουν αφού τους εφαρμοστεί τοπικά θερμότητα. Δημιουργώντας συγγένεια μεταξύ των νανοσωματιδίων με βιολογικές οντότητες όπως είναι τα αντισώματα ή μονόκλωνες αλυσίδες DNA, μπορούμε να εξαναγκάσουμε τα σωματίδια αυτά να προσδεθούν επιλεκτικά με συγκεκριμένα κύτταρα. Μέχρι τώρα, τα σωματίδια διεγείρονται χρησιμοποιώντας εξωτερικές πηγές φωτός. Με τη χρήση νανοαισθητήρων και νανοκινητήρων μπορούν να ακτινοβολούν τοπικά μόνο, απαιτώντας πολύ μικρότερα ποσά ενέργειας και λιγότερο επεμβατικές μεθόδους, ενώ μειώνεται ο βαθμός επικινδυνότητας προς τον ασθενή, αφού μειώνεται ο αριθμός των υγιών κυττάρων που επίσης καταστρέφονται.

Σε σύγκριση με τους νανοαισθητήρες, οι νανοκινητήρες βρίσκονται σε πολύ πρώιμο στάδιο. Η κύρια ερευνητική δυσκολία, πέρα από τον σχεδιασμό και την κατασκευή της μονάδας, είναι το πώς θα επιτευχθεί η απαραίτητη ακρίβεια και ο συγκεκριμένος χειρισμός των κινητήρων, και ειδικά καθώς είναι ολοφάνερο ότι η πρωτεύουσα χρήση

των ναυοκινητήρων θα είναι στον τομέα της βιοϊατρικής και των χειρουργικών επεμβάσεων, σε εφαρμογές δηλαδή που η ακρίβεια είναι υψίστης σημασίας.

### 2.2.3 ΜΟΝΑΔΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

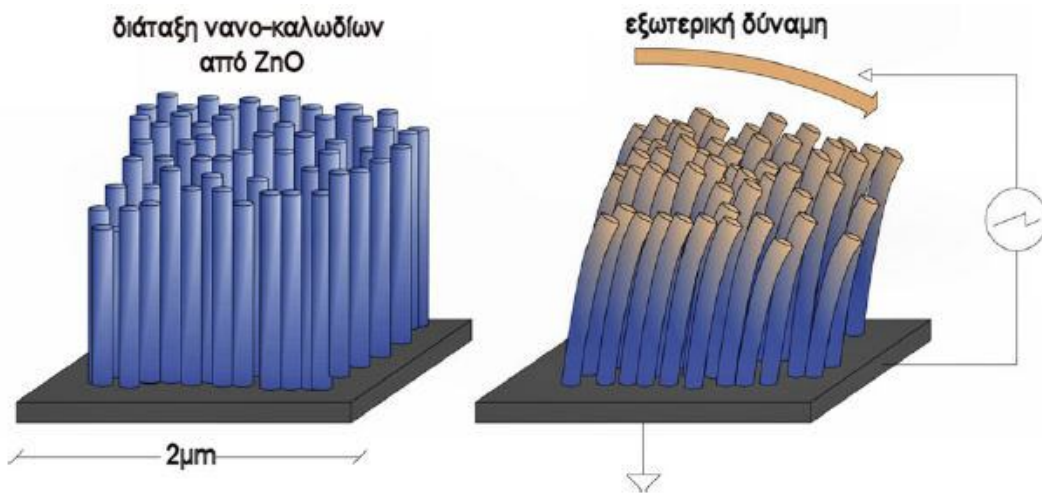
Ένας τομέας στον οποίο καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια είναι το να καταφέρουμε να μειώσουμε το μέγεθος των πηγών ενέργειας στην κλίμακα νάνο. Έχει προταθεί να χρησιμοποιηθούν νανούλικα ώστε να κατασκευαστούν νανομπαταρίες με υψηλή ενεργειακή απόδοση, καλό χρόνο ζωής και χαμηλό ρυθμό φόρτισης/αποφόρτισης. Προκειμένου όμως να υπερβούμε το ζήτημα της αναπόφευκτης αποφόρτισης, θα πρέπει να κατασκευαστούν νανοσυσκευές με εσωτερική πηγή ισχύος. Προκειμένου να γίνει αυτό, θα πρέπει οι ακόλουθες μορφές ενέργειας να μετατραπούν σε ηλεκτρική ενέργεια:

**ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** παράγεται από τη δυναμική και την κινητική ενέργεια, για παράδειγμα μέσω της κίνησης του ανθρώπινου χεριού, ή με τις συσπάσεις των μυών.

**ΔΟΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** δημιουργείται από ακουστικά κύματα ή γενικότερα από τις δονήσεις των ατόμων που συνιστούν ένα αντικείμενο.

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** παράγεται από τα υγρά του σώματος, ή από τη ροή του αίματος.

Η εν λόγω μετατροπή υλοποιείται μέσω του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου που συναντάται σε νανοκαλώδια από οξειδία του ψευδαργύρου (ZnO). Όταν τα νανοκαλώδια υπόκεινται σε μηχανική παραμόρφωση, όπως για παράδειγμα όταν λυγίζονται, εμφανίζεται διαφορά δυναμικού σε αυτά. Επιπρόσθετα, νανοσωλήνες μπορούν να σχεδιαστούν για να απορροφούν δονητική ενέργεια σε συγκεκριμένες συχνότητες. Μη γραμμικοί ταλαντωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να εκμεταλλευτούν τη δονητική ενέργεια ευρέως φάσματος ή ακόμα και μηχανικό ή θερμικό θόρυβο. Η εκλυόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τη συσκευή ή να χρησιμοποιηθεί για να φορτιστεί μια νανομπαταρία.



Σχήμα 2.7: Σύστημα εκμετάλλευσης ενέργειας που βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο από ZnO

Η εκμετάλλευση ενέργειας που βρίσκεται στο περιβάλλον είναι η καλύτερη λύση για την τροφοδότηση νανοαισθητήρων. Πέρα από τη μηχανική, δονητική και υδραυλική ενέργεια μπορούμε επίσης να εξάγουμε ενέργεια από ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο νανοεπίπεδο.

Για παράδειγμα, ένας ενισχυτής ηχείων βασισμένος σε διατάξεις NEMS μπορεί να μετατρέψει Η/Μ ακτινοβολία σε δονητική ενέργεια, η οποία μπορεί κατ' επέκταση να μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω νανοκαλωδίων ZnO. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν CNTs για να αναπτυχθούν φωτοβολταϊκά νανοκύτταρα, που θα μετατρέπουν φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρισμό.

Εναλλακτικά, μπορούν να παραχθούν συνθετικές χημικές μπαταρίες που στηρίζονται στη δομή του ATP νουκλεοτιδίου, την ενεργειακή πηγή των κυττάρων και των ζωντανών οργανισμών, η οποία μπορεί να εξαχθεί από το μέσο ή μέσω χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο νανοεπίπεδο. Ανεξάρτητα πάντως από τη λύση που θα υλοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να υπάρξει ένας συμβιβασμός μεταξύ το μέγεθος της μονάδας τροφοδότησης, της ολικής ενέργειας που αποθηκεύεται και τις ικανότητες του ολοκληρωμένου νανοαισθητήρα.

## 2.2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κατασκευή επεξεργαστών της κλίμακας νάνο βασίζεται στην ανάπτυξη μικροσκοπικών FET τρανζίστορ διαφορετικών ειδών με τη χρησιμοποίηση νανο-υλικών, όπως είναι οι CNTs και ειδικά οι GNRs. Για παράδειγμα, το μικρότερο τρανζίστορ που έχει κατασκευαστεί σε εργαστήριο βασίζεται σε μία λεπτή νανοράβδοι γραφενίου, με μήκος μικρότερο από 1nm σε κάθε διάσταση.

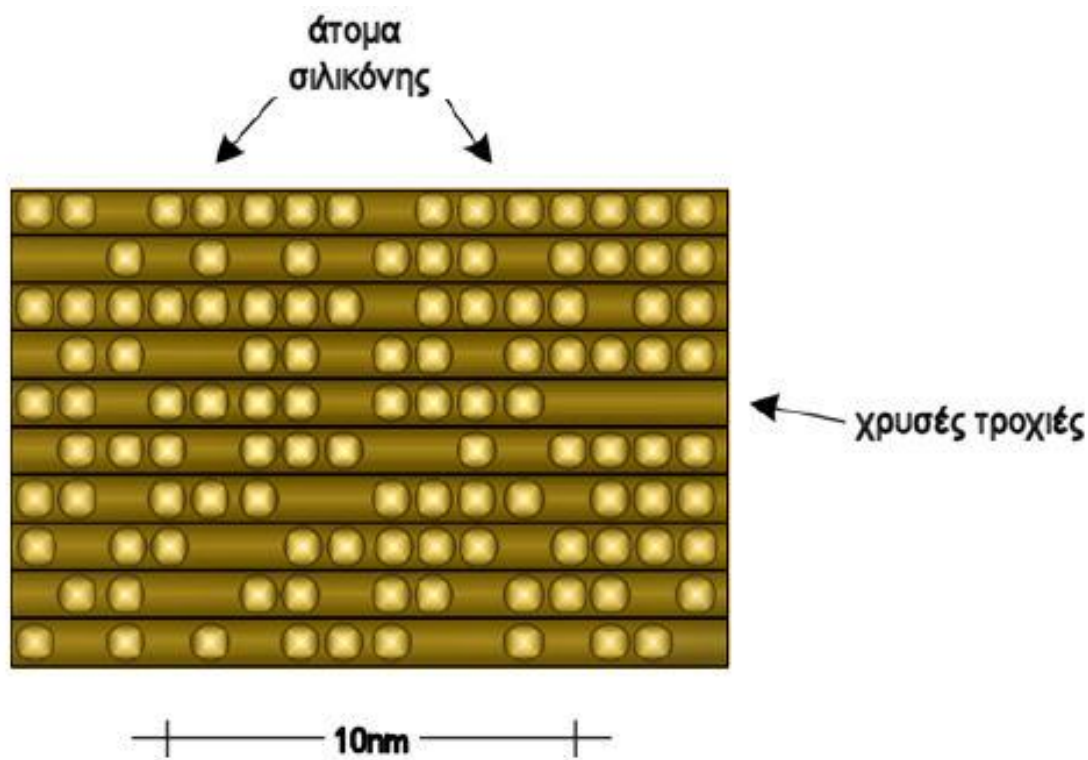
Τα τρανζίστορ που βασίζονται σε γραφένιο δεν είναι μόνο μικρότερα αλλά κατά πολύ γρηγορότερα σε σχέση με άλλα υλικά. Τα ηλεκτρόνια του γραφενίου κινούνται βαλλιστικά, με αποτέλεσμα να μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να διασκορπίζονται προς τα πίσω, κάτι το οποίο οδηγεί στην ανάπτυξη ταχύτερων συσκευών. Επιπλέον, η μείωση του μήκους του καναλιού συνεισφέρει σε ταχύτερη απόκριση του τρανζίστορ. Οι αναμενόμενες συχνότητες των τρανζίστορ-διακόπτες από γραφένιο φτάνουν μέχρι κάποιες εκατοντάδες Terahertz, αρκετά ανώτερες από οποιοδήποτε άλλο FET σιλικόνης που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα.

## 2.2.5 ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι νέες διαδικασίες κατασκευής, καθώς και τα νέα νανο-υλικά επιτρέπουν την κατασκευή νανο-μνημών που χρησιμοποιούν έναν αριθμό ατόμων ενός υλικού για να αποθηκεύσουν την πληροφορία ενός bit.

Ο Richard Feynman, το 1959, πρότεινε την κατασκευή μιας βασικής μονάδας μνήμης που να αποτελείται από 5x5 άτομα, δηλαδή 125 άτομο στο σύνολο, ώστε να αποτραπούν οι τυχούσες παρεμβολές μεταξύ αποθηκευμένων bits. Τα 125 άτομα ανά bit μπορούν να συγκριθούν με τα 32 άτομα που αποθηκεύουν την πληροφορία ενός bit στο DNA. Αν η πρόταση αυτή υλοποιείτο με μια δομή άνθρακα, τότε κρατώντας τη μεταξύ απόσταση των ατόμων στα 0.142 nm θα είχαμε από άποψη πληροφορίας παραπάνω από 1bit/nm<sup>3</sup> ή 1gigabit/μm<sup>3</sup>.

Πέρα από αυτό όμως, έχουν προταθεί και άλλες υλοποιήσεις από ατομικές μνήμες, όπως για παράδειγμα μία μνήμη που αποθηκεύει ένα bit μέσω της παρουσίας ή απουσίας ενός ατόμου σιλικόνης. Όπως γίνεται και με τις σπειροειδείς τροχιές στα CD-ROMs, η εν λόγω μνήμη βασίζεται σε μια επιφάνεια σιλικόνης που οριοθετείται από παράλληλες στρώσεις χρυσού. Η εγγραφή των δεδομένων γίνεται με την αφαίρεση των ατόμων σιλικόνης από τη χρυσή αυτή διάταξη, ενώ η ανάγνωση των δεδομένων βασίζεται σε ένα νανο-ρύγχος το οποίο θα μπορεί να ανιχνεύει την παρουσία ή την απουσία των ατόμων σιλικόνης. Προς το παρόν η συγκεκριμένη μνήμη είναι μόνο απλής εγγραφής και δεν επαναγράφεται.



Σχήμα 2.8 Ατομική μνήμη που χρησιμοποιεί άτομα σιλικόνης πάνω σε χρυσές τροχιές για την αποθήκευση ψηφιακής πληροφορίας

Η IBM έχει ήδη αναπτύξει την ιδέα των μαγνητικών ατομικών μνημών. Σε μια μαγνητική μνήμη, μαγνητικά άτομα (άτομα με μονήρη ηλεκτρόνια) τοποθετούνται πάνω σε μια επιφάνεια μέσω μαγνητικών δυνάμεων. Κάθε άτομο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκευτεί ένα bit πληροφορίας και όπως και προηγουμένως η πυκνότητα πληροφορίας που μπορεί να επιτευχθεί είναι κατά πολλές τάξεις μεγέθους υψηλότερη από αυτή που μπορούμε να έχουμε μέσω κλασικών μεθόδων.

Ωστόσο, ανακύπτουν αρκετές δυσκολίες στην υλοποίηση των ατομικών μνημών. Για την ώρα, οι ήδη υπάρχουσες ατομικές μνήμες απαιτούν πολύπλοκες και πολυέξοδες διαδικασίες για να εγγραφούν δεδομένα σε αυτές. Επιπλέον, θα πρέπει να βρεθούν τρόποι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να διαγράφονται και να επανεγράφονται εκ νέου καινούρια δεδομένα, ώστε να μπορούν να υλοποιηθούν προγραμματιζόμενοι νανοαισθητήρες. Τέλος, θα πρέπει να καταστεί δυνατή η μαζική παραγωγή τέτοιων νανομνημών, πέρα από τα όρια των εργαστηριακών μελετών.

## 2.2.6 ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Η επικοινωνία μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μεταξύ νανοαισθητήρων επιτυγχάνεται μέσω κεραιών της κλίμακας νάνο και των αντίστοιχων ηλεκτρομαγνητικών πομποδεκτών.

### ΝΑΝΟΚΕΡΑΙΕΣ

Το να υποβαθμίσουμε το μέγεθος ενός συμβατικού αισθητήρα σε κάποιες εκατοντάδες νανόμετρα απαιτεί τη χρησιμοποίηση εξαιρετικά υψηλών συχνοτήτων, κάτι το οποίο δεν άμεσα εφικτό. Με τη χρήση ωστόσο του γραφένιου η κατασκευή νανοκεραιών περνά σε άλλο επίπεδο και υπερνικά αυτή τη δυσκολία.

Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων σε CNTs και GNRs φτάνει μέχρι και εκατό φορές κάτω της ταχύτητας του φωτός στο κενό ανάλογα με τη γεωμετρία, τη θερμοκρασία και την ενέργεια Fermi, η οποία ταχύτητα είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τα ηλεκτρόνια σε έναν κανονικό αγωγό. Σαν αποτέλεσμα, η συχνότητα συντονισμού νανοκεραιών που βασίζονται σε γραφένιο μπορεί να είναι μέχρι και δύο τάξεις μεγέθους κάτω σε σχέση με άλλες κεραιές που έχουν κατασκευαστεί με άλλα υλικά.

Με τη χρήση του γραφένιου λοιπόν, μπορεί να κατασκευαστεί ένα νανο-δίπολο από έναν ή παραπάνω νανοσωλήνες άνθρακος, ενώ μέσω μιας νανοράβδου γραφένιο μπορεί να κατασκευαστεί μια κεκαλυμμένη κεραία. Η ποσοτική σύγκριση αυτών των κεραιών έδειξε ότι μια νανοκεραία από γραφένιο μήκους 1μm μπορεί αποδοτικά να εκπέμπει ΗΜ κύματα στο φάσμα των THz (0.1 -10 THz), μεταξύ των υπερύθρων και των μικροκυμάτων δηλαδή. Αν και η αυτή καθαυτή παραγωγή τόσο υψηλών συχνοτήτων, δηλαδή από 100 GHz μέχρι και 1-10 THz, είναι δύσκολη εξαιτίας έλλειψης καταλλήλων πηγών, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται μετασχηματισμός συχνότητας μπορούμε εμμέσως να τις παράγουμε.

Με την τεχνική αυτή μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε μικροκυματικές συχνότητες, τις οποίες μπορούμε εύκολα να παράγουμε, μέσω του γραφένιο. Τα κύματα σε συχνότητες THz έχουν χαμηλή ενέργεια φωτονίων, γύρω στο ένα εκατομμύριο φορές μικρότερη από αυτή των ακτινών X και δεν προκαλούν επιβλαβή φωτοϊονισμό στους βιολογικούς ιστούς, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα για την απεικόνιση καρκινικών όγκων σε πρώιμο στάδιο. Επίσης, μπορούν να διεισδύσουν σε πολλά μη πολωτικά διηλεκτρικά υλικά όπως είναι το πλαστικό, το ξύλο, το δέρμα, τα κεραμικά και το χαρτί με μεσαία απόσβεση.

Από την άλλη πλευρά, η εκπομπή φωτονίων από τις νανοδομές και η αλληλεπίδραση που έχουν με τα ηλεκτρόνια, καθώς τα συγκρούονται μαζί τους και τα διεγείρουν, έχει οδηγήσει στη μελέτη των GNRs και των CNTs ως οπτικοί πομποί και ανιχνευτές. Μια οπτική νανοκεραία είναι μια συσκευή που εκπέμπει ενέργεια στον ελεύθερο χώρο από μια περιορισμένη περιοχή μεγέθους της τάξεως του μήκους κύματος του φωτός.

## ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΕΣ

Οι ηλεκτρομαγνητικοί πομποδέκτες ενός νανοαισθητήρα θα έχουν ενσωματωμένα τα απαραίτητα ηλεκτρικά κυκλώματα για να εκτελούν επεξεργασία βασικής ζώνης, μετατροπή συχνότητας, φιλτράρισμα και ενίσχυση ισχύος των σημάτων που πρέπει να μεταδοθούν ή αυτών που έχουν ληφθεί μέσω των νανοκεραίων. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εφόσον οι νανοκεραίες θα λειτουργούν σε συχνότητες THz, θα πρέπει να αναπτυχθούν RF FET τρανζίστορ που θα μπορούν να λειτουργούν και σε υψηλές συχνότητες.

Έχουν κατασκευαστεί αρκετά τρανζίστορ FET βασισμένοι σε γραφένιο που λειτουργούν στις κάτω περιοχές των THz. Η IBM δημιούργησε έναν RF τρανζίστορ από γραφένιο που μπορεί να λειτουργήσει στα 100 GHz, ενώ κατάφερε να τον ενσωματώσει σε κύκλωμα.

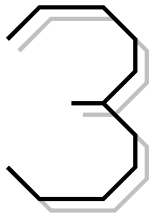
Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές δυσκολίες που πρέπει να λυθούν. Θα πρέπει να μοντελοποιηθεί ο ηλεκτρονικός θόρυβος στις ηλεκτρονικές συσκευές με γραφένιο, καθώς επηρεάζει το σηματοθορυβικό λόγο στον δέκτη και περιορίζει το εύρος λειτουργίας των νανosuσκευών. Η βαλλιστική κίνηση των ηλεκτρονίων για μεγάλα μήκη και μεν δημιουργεί θερμικό θόρυβο, ωστόσο κατά πολύ μικρότερο σε σχέση με άλλα υλικά. Για το λόγο αυτό όμως θα πρέπει να αναπτυχθούν πιο ακριβή μοντέλα θορύβου.

Εναλλακτικά, αντί για νανοκεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρομηχανικοί συντονιστές. Είναι δυνατό λοιπόν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα να ληφθεί και να αποδιαμορφωθεί μέσω νανωσωλήνων άνθρακος που συντονίζονται στη συχνότητα του κύματος. Όταν ένας CNT έχει συνδεδεμένο ένα από τα άκρα του σε μια πηγή ισχύος και το άλλο άκρο ελεύθερο, και ακτινοβοληθεί από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, τα ηλεκτρόνια στο ελεύθερο άκρο θα δονηθούν. Αν η συχνότητα του ΗΜ κύματος ταυτίζεται με τη φυσική συχνότητα του CNT, οι δονήσεις αυτές γίνονται ολοένα και πιο σημαντικές και ο νανωσωλήνας μπορεί να αποδιαμορφώσει το εισερχόμενο σήμα.

Ωστόσο, ενώ ένας μηχανικός συντονιστής μπορεί στον μακρόκοσμο και μικρόκοσμος να δεχθεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής ενέργειας, ένα ΗΜ κύμα που παράγεται

από μια νανοσυσκευή περιορισμένης ακόμα ενέργειας μπορεί να μην οδηγήσει στο συντονισμό του. Επιπλέον, ακόμα και στη λήψη του κύματος, ο CNT απαιτεί υψηλή DC τάση, ώστε να μην αλλάξει πολικότητα, και να απεικονιστεί η λογική του 1 και του 0, και να καταφέρει να συντονιστεί καθώς και να διαμορφώσει/αποδιαμορφώσει. Για την ώρα οι νανοπαταρίες δεν μπορούν να αποδώσουν τόσο υψηλές τάσεις. Επιπλέον, θα πρέπει να καθοριστεί ο θόρυβος κατά τη λήψη του σήματος και σε τι βαθμό επηρεάζει την αποδιαμόρφωση του σήματος. Πέρα από αυτό, θα πρέπει να βρεθούν τεχνικές ώστε να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε νανοσωλήνες διαφορετικού μήκος συνδυαστικά, ώστε το συζευγμένο σύστημα να μπορεί να συντονίζεται για πολλές συχνότητες, να αυξηθεί τοπικά το εύρος εφαρμογών και να μειωθεί η πολυπλοκότητα του συστήματος, κάτι το οποίο απαιτεί αναγνώριση των φαινομένων σύζευξης των νανοσωλήνων και πως αυτά επηρεάζουν την ολική απόδοση του συστήματος.





## Εφαρμογές των ασυρμάτων δικτύων νανοαισθητήρων

### 3.1 ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

Οι εφαρμογές των νανοδομών και των νανοδικτύων είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον τομέα της βιοϊατρικής, καθώς εξ ορισμού η κλίμακα νάνο είναι η φυσική κλίμακα όλων των θεμελιωδών ζωτικών διεργασιών και είναι το επίπεδο αυτό, στο οποίο στοχευμένα απευθύνεται πρωτίστως η νανοτεχνολογία.

Κατά την εφαρμογή οποιασδήποτε τεχνολογίας στο εσωτερικό ενός βιολογικού ιστού ανακύπτουν πολλά ζητήματα. Ένα από τα πιο βασικά είναι η λεγόμενη βιοσυμβατότητα. Αποτελεί κύριο μέλημα, καθώς το ανοσοποιητικό μας σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αναγνωρίζει και να αντιδρά σε κάθε ξένο σώμα που εισέρχεται μέσα μας. Η ανοσοδραστικότητα μιας ουσίας είναι το μέτρο της βιοσυμβατότητας της ουσίας.

Πρέπει να υπάρχει μεγάλη προσοχή προτού εισαχθεί οτιδήποτε σε κάποιον βιολογικό ιστό ώστε να μην επιδράσει αρνητικά, καθώς σε αντίθετη περίπτωση μπορεί όχι μόνο να αποτύχει η ιαματική προσπάθεια αλλά και να προκληθούν ετερογενή προβλήματα εξαιτίας κάποιας ασυμβατότητας. Βάσει αυτών, οι αναμενόμενοι τομείς εφαρμογής της νανοτεχνολογίας στη βιοϊατρική είναι οι ακόλουθοι:

#### 3.1.1 ΦΑΡΜΑΚΑ

Ως τώρα η ανάπτυξη φαρμάκων προέκυπτε κυρίως ως απόρροια εμπειρικής γνώσης ή συγκυριών και όχι ως προσεκτικός και συγκεκριμένος σχεδιασμός, για αυτό και οι παρενέργειες τους συχνά γίνονται αντιληπτές στις κλινικές δοκιμές ή πολύ μετά αφού προωθηθούν στην αγορά. Εκεί προσπαθούν να διαφοροποιηθούν τα νάνο-φάρμακα τα οποία θα παράγονται από συγκεκριμένους και κατανοητούς μηχανισμούς, μέσω

υπολογιστικών και εμπειρικών μεθόδων και οδηγώντας σε φάρμακα με λιγότερες συνέπειες και καλύτερη δράση.

Για παράδειγμα η κατάθλιψη, που πολύ συχνά οφείλεται στην υψηλή ή χαμηλή συγκέντρωση των μορίων των νευροδιαβιβαστών, μπορεί να καταπολεμηθεί ρυθμίζοντας τη συγκέντρωση αυτή και επαναφέροντάς την σε κανονικά επίπεδα αλλάζοντας τις ιδιότητες των μοριακών δεσμών τους. Αντίστοιχη προσέγγιση έχει ήδη εφαρμοστεί στην παθητική αντιμετώπιση του AIDS μέσω τέτοιων φαρμάκων.

### 3.1.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΑΡΜΑΚΩΝ

Είναι ύψιστης σημασίας τα μόρια των φαρμάκων να βρίσκονται στις περιοχές του σώματος που πρέπει και μόνο (πχ τα αντικαταθλιπτικά πρέπει να πηγαίνουν στον εγκέφαλο, τα αναλγητικά στις περιοχές που συγκεντρώνεται ο πόνος και τα αντικαρκινικά στους όγκους). Αυτή την ανάγκη εκφράζει ο όρος βιοδιαθεσιμότητα και αυτή στοχεύει να αυξήσει η νανοεπιστήμη. Η αύξηση όμως της βιοδιαθεσιμότητας δε σημαίνει αύξηση της ποσότητας των φαρμάκων που χρησιμοποιούνται, αλλά διαφορετικές προσεγγίσεις για την βέλτιστη απορρόφηση και δράση των δραστικών ουσιών.

Για παράδειγμα, μόρια μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε νάνο-κοιλότητες στο εσωτερικό πολυμερών. Στη συνέχεια το πολυμερές μπορεί να εισχωρήσει στο σώμα μέσω κάποιας κάψουλας, να διαλυθεί η δομή του και τελικά το φάρμακο να απελευθερωθεί, ώστε πχ χάπια που πρέπει να λαμβάνονται μία ή δύο φορές τη μέρα να συνεχίζουν την ομαλή μεταφορά τους σε μεγάλη χρονική περίοδο.

Πέρα από αυτό, είναι γνωστό πως πάνω από τα μισά φάρμακα δε διαλύονται σωστά στο νερό με αποτέλεσμα να μην είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά αν καταπωθούν. Έχει δειχθεί σε πειραματικό στάδιο πως η παραγωγή φαρμακευτικού προϊόντος σε νανο-κρυσταλλική μορφή μπορεί να το κάνει υδατοδιαλυτό ακόμα κι αν δεν είναι η δραστική ουσία αυξάνοντας έτσι τη βιοδιαθεσιμότητα του φαρμάκου.

Επίσης, υπάρχουν ασθένειες που εξαρτώνται από διεργασίες που γίνονται στο εσωτερικό του κυττάρου, όπου δεν μπορούν να φτάσουν τα κοινά φάρμακα, γιατί προστατεύεται από την πλασματική μεμβράνη. Η λειτουργία της μεμβράνης είναι να κρατά στο εξωτερικό της ιόντα, πρωτεΐνες και μόρια. Η μεμβράνη οποιουδήποτε ζωντανού οργανισμού και πολλών ιών αποτελείται από δυο στρώσεις μορίων λιπιδίων, οι οποίες δεν επιτρέπουν την είσοδο ιόντων και πολικών μορίων στο εσωτερικό του κυττάρου. Έτσι πολλά μόρια φαρμάκων δεν μπορούν να διαπεράσουν την πλασματική μεμβράνη λόγω πολικότητας.

Σε αυτή την περίπτωση το πολικό νανοφάρμακο μπορεί να ενθυλακωθεί σε ένα μη πολικό κάλυμμα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να περάσει ανενόχλητο από την κυτταρική μεμβράνη. Αυτό μπορεί να γίνει πχ μέσω μορίων χοληστερόλης, δηλαδή λιπαρών υδροφοβικών μορίων ή λιποσωμικών δομών, που ήδη χρησιμοποιούνται σε καρκινικές θεραπείες μεταφέροντας διαλυτές πρωτεΐνες όπως είναι οι ιντερφερόνες στα καρκινικά κύτταρα.

Για τη μεταφορά φαρμάκων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μαγνητικά νανοσωματίδια, τα οποία μπορούν να συνδεθούν μονομορφικά με το φάρμακο που πρέπει να εισαχθεί. Εξωτερικά μαγνητικά πεδία μπορούν να ελέγξουν τη θέση των νανοσωματιδίων κι επομένως τη βιοδιαθεσιμότητα του φαρμάκου.

Άλλη εφαρμογή είναι η τοποθέτηση μορίων σε κατάσταση ύπνου τα οποία θα ξυπνήσουν όταν λάβουν το κατάλληλο έναυσμα - σήμα. Ως παράδειγμα μπορούμε να έχουμε μια αντιόξινη ουσία ενθυλακωμένη στο εσωτερικό ενός πολυμερούς που διαλύεται μόνο σε όξινες συνθήκες και το αντιοξύ εκλύεται όταν το εξωτερικό κάλυμμα του πολυμερούς συναντήσει όξινες περιοχές κατά μήκος του πεπτικού σωλήνα.

Οι λεγόμενοι αναστολείς αυτοκτονίας έχουν σχεδιαστεί για να αναστέλλουν τη δράση συγκεκριμένων ενζύμων προκαλώντας τα ένζυμα να αυτοκτονήσουν και λειτουργούν με το να περιορίσουν την ενζυμική δραστηριότητα με αποτέλεσμα να μηδενίσουν τα συμπτώματα κάποιων ασθενειών. Ευρεία εφαρμογή συναντάται σε περιπτώσεις κατάθλιψης, επιληψίας, γάγγραινας καθώς και για την αγωγή κατά του HIV μέσω της αναστολής της HIV-1 αναστροφής τρανσκριπτάσης.

Η θεραπεία μέσω μορίων DNA εκμεταλλεύεται τη μοναδική ιδιότητα του DNA να προσδέεται με συγκεκριμένα συμπληρωματικά μόρια. Οι αισθητήρες DNA έχουν την ικανότητα να ανιχνεύσουν μια βιολογική οντότητα δημιουργώντας μία άλλη συμπληρωματική οντότητα για το αποτύπωμα της. Αυτό μπορεί να καταστήσει την ένωση αυτή μη αναστρέψιμη, με αποτέλεσμα να αποτραπεί η αναπαραγωγή των μορίων DNA που προκαλούν τις ασθένειες. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί δυναμικά για τη δημιουργία αντιϊικών φαρμάκων.

### 3.1.3 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

Οι τρέχουσες μέθοδοι διάγνωσης βασίζονται στην ανίχνευση των συμπτωμάτων μιας ασθένειας, αφού δηλαδή έχει ήδη προσβληθεί ο ασθενής. Η νανοτεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα ανάλυσης ολόκληρων γονιδιωμάτων σε λίγα λεπτά και βασιζόμενοι σε ακολουθίες DNA που αποκλίνουν από το κανονικό, οι γιατροί θα μπορούν να καθορίσουν την προδιάθεση ενός ατόμου να αναπτύξει καρκίνο ή κάποια άλλη ασθένεια.

Έχουν αναπτυχθεί chips τα οποία δέχονται αίμα ως δείγμα, το οποίο και ανιχνεύουν για γνωστές ακολουθίες DNA, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται υβριδισμός. Στη συνέχεια, τα μόρια DNA που υβριδοποιούνται με τις ακολουθίες που θέλουμε να συγκρίνουμε φωσφορίζουν, και ανιχνεύονται από ένα σύστημα το οποίο βρίσκεται ενσωματωμένο πάνω στο chip. Έτσι, εφόσον η μετάλλαξη σε μια ακολουθία DNA είναι γνωστή, μπορούμε να αποφανθούμε για το κατά πόσο προδιατεθειμένος είναι κάποιος σε μια ασθένεια, σύμφωνα με το αν θα υβριδοποιηθεί το αίμα του ασθενούς.

Το ρεύμα μέσα στο nanopip μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει διαφορετικούς τύπους κυττάρων από ένα δείγμα αίματος. Τα κύτταρα διαχωρίζονται, καταστρέφονται και οι πρωτεΐνες που μένουν πίσω τους χρησιμοποιούνται ως τροφή από το περιβάλλον, διαδικασίες που προωθούνται μόνο μέσω ενός chip. Μέσω της διαδικασίας αυτής είναι δυνατό να γίνεται στοχευμένη μεταφορά φαρμάκων σε βλαβερά κύτταρα αφήνοντας τα υγιή ανέπαφα.

Επίσης, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες ανίχνευσης πλήρως αγνώστου DNA με συστήματα «lab-on-a chip», όπου ο συνδυασμός πολυπληθών διαδικασιών ανάλυσης DNA συνενώνονται σε ένα μόνο chip που αποτελείται από γυαλί και υπόστρωμα σιλικόνης.

### 3.1.4 ΒΙΟΣΥΜΒΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΑ ΝΑΝΟΡΟΜΠΟΤ

Ο τομέας της χειρουργικής κινείται διαρκώς προς την κατεύθυνση μη επεμβατικών ή έστω ελάχιστα επεμβατικών μεθόδων. Ο κύριος λόγος πίσω από αυτό είναι η μείωση του χρόνου ίασης και επαναφοράς του ασθενούς. Η κατασκευή νανορομπότ αποτελεί μια νέα προσέγγιση προκειμένου να αντιμετωπιστούν με διαφορετικό τρόπο οι χειρουργικές επεμβάσεις.

Αυτά θα τοποθετούνται μέσω του αγγειακού συστήματος ή μέσω καθετήρων σε διάφορες κοιλότητες και περιοχές του ανθρωπίνου σώματος και θα είναι εκ των προτέρων προγραμματισμένα να δρουν βάσει συγκεκριμένων ερεθισμάτων ή θα καθοδηγούνται συντονισμένα από έναν χειρουργό την ώρα του χειρουργείου. Θα δρουν σαν ημιαυτόνομες χειρουργικές μονάδες στο σώμα και θα εκτελούν διάφορες λειτουργίες, συλλέγοντας πληροφορίες από την παθολογία του κάθε βιολογικού ιστού. Η διόρθωση των βλαβών θα γίνεται είτε από τον χειριστή του ρομπότ είτε από κάποιον υπολογιστή, μέσω κωδικοποιημένων υπερηχητικών σημάτων. Μπορεί ακόμα να είναι εφοδιασμένα με όργανα που θα μπορούν με ακρίβεια να χειρουργούν ενδοκυτταρικά, κάτι το οποίο δεν είναι δυνατό με άμεσο ανθρώπινο χειρισμό, με απώτερο σκοπό να εξοντώσουν απομονωμένα καρκινικά κύτταρα ή άλλες δυσπλασίες.

Μία από τις τελευταίες εξελίξεις προς τη δημιουργία νανορομπότ είναι η πρόσφατη κατασκευή ενός στυλό από νανοσωλήνα άνθρακα που μπορεί γράφοντας να «εκτυπώσει» πολύπλοκες τρισδιάστατες μικροσκοπικές δομές. Το μέγεθος του στυλό είναι μικρότερο από μια ανθρώπινη τρίχα, ενώ σαν μελάνι χρησιμοποιούνται μεταλλικά άτομα. Το σχήμα των νανοσωλήνων άνθρακα λειτουργεί ως στόμιο, μέσω του οποίου ένα προς ένα τα άτομα διοχετεύονται προς τη δημιουργία της κάθε δομής, χαράσσοντας έτσι το δρόμο προς την κατασκευή δομών οποιουδήποτε μεγέθους.

### 3.1.5 ΒΙΟΪΒΡΙΔΙΚΑ ΜΟΣΧΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ

Τα προσθετικά μέρη, αλλά και γενικότερα όλες οι βιοϊατρικές συσκευές που εισάγονται σε βιολογικούς ιστούς θα πρέπει να είναι βιοσυμβατές, ώστε να μην αποβληθούν ή προκαλέσουν προβλήματα στον ξενιστή και να μπορέσουν να δράσουν υποστηρικτικά ή να αντικαταστήσουν όργανα και καταστραμμένους ιστούς. Τα νανοδίκτυα προσφέρουν την κατάλληλη διεπαφή μεταξύ του εμφυτεύματος και του παρακείμενου βιολογικού περιβάλλοντος.

Όσον αφορά στα εμφυτεύματα, ευρεία εφαρμογή συναντάται στα εμφυτεύματα οστών, αφού τα ανθρώπινα οστά και οι πρωτεΐνες που βρίσκονται εξωκυτταρικά των οστών, αποτελούν νανο-οργανικές δομές από τη φύση τους και για αυτό και αλληλεπιδρούν επιτυχώς με άλλα νάνο-υλικά. Προκειμένου να αφομοιωθεί το πρόσθετο μέρος και τελικά να θεωρηθεί ενιαίο με τον βιολογικό ιστό θα πρέπει η επιφάνεια του να είναι τέτοια ώστε τα εξωκυτταρικά μόρια που εκκρίνονται από τον ιστό να μπορούν να προσδεθούν πάνω του.

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί επίσης στο σχεδιασμό των προσθετικών μέρων για να μην αναπτυχθούν ξαφνικές μολύνσεις από βακτηρίδια, γιατί με την πάροδο του χρόνου αλλάζει το φαινότυπό τους και μπορεί να αποκτήσει ανοχή στα αντιβιοτικά ή ακόμα και στην ίδια την προσοχή από το ανοσοποιητικό σύστημα. Επίσης, προσοχή χρειάζεται στην περίπτωση που τα εμφυτεύματα έχουν επιφάνειες που έρχονται σε επαφή (όπως είναι η αντικατάσταση αρθρώσεων και χόνδρων) και παράγουν νανοσωματίδια που μπορεί να προκαλέσουν φλεγμονές ή αποτελέσματα που ως τώρα είναι άγνωστα.

### 3.1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΣΤΩΝ

Βάσει για τη μηχανική ιστών αποτελεί η δημιουργία ικριωμάτων, τεχνικών δομών δηλαδή που χρησιμοποιούνται ως βάση για την ανάπτυξη και αναγέννηση ιστών, κόκκαλων και οργάνων.

Η εξωκυτταρική μήτρα είναι το εξωκυτταρικό τμήμα κάθε ζωικού ιστού που προσφέρει υποστηρικτικές λειτουργίες στα κύτταρα. Είναι μια σχετικά σταθερή δομή, αποτελούμενη από ίνες και πολυσακχαρίτες, που βρίσκεται κάτω από το επιθήλιο και περιτριγυρίζει συνδετικούς ιστούς. Έχει βρεθεί ότι προκαλεί την ανάπτυξη και ίαση των ιστών, με το να αποτρέπει το ανοσοποιητικό σύστημα από το να εκδηλώνει φλεγμονές ή να προκαλεί ουλές και να διευκολύνει τα γειτονικά κύτταρα στην αποκατάσταση του βιολογικού ιστού.

Έχει δοθεί λοιπόν ειδικό βάρος προς τη δημιουργία τεχνητών δομών από νανοΐνες που να μπορούν να μιμηθούν την εξωκυτταρική μήτρα και να δημιουργήσουν ικριώματα, υπόβαθρα δηλαδή που θα μιμούνται το κολλαγόνο και την ελαστίνη και θα παρέχουν καλύτερες συνθήκες για τη δημιουργία και ίαση των ιστών.

### 3.1.7 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ

Πολλές ασθένειες οφείλονται σε λανθασμένη διάταξη των πρωτεϊνών, πχ όταν δεν είναι σωστά διπλωμένες στη δομή που πρέπει, κι αποτελούν την πηγή αρκετών κληρονομικών ασθενειών. Μερικά παραδείγματα τέτοιων ασθενειών αποτελούν η νόσος του Alzheimer, του Parkinson, του Huntington, του Creutzfeldt-Jacob ή η δρεπανοκυτταρική αναιμία. Η σύνθεση τεχνητών πρωτεϊνών και ειδικά ο αναγνώριση του αλγορίθμου με τον οποίο διπλώνονται οι πρωτεΐνες είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, καθώς απαιτούνται αυτοελεγχόμενοι υπολογισμοί και μηχανισμοί, ενώ πρέπει να καταφέρουμε να συνθέσουμε γονίδια και τεχνητό DNA.

Προκειμένου να κατασκευαστούν τεχνητές πρωτεΐνες χρειαζόμαστε μηχανισμούς που είναι υπάρχοντες στο σώμα, όπως είναι τα ριβοσώματα που λειτουργία τους είναι η συναρμολόγηση των αμινοξέων για να σχηματίσουν ένα συγκεκριμένο μόριο πρωτεΐνης βασιζόμενα σε ακολουθίες ενός μορίου RNA. Από τα παραπάνω διαφαίνεται πως η τεχνητή σύνθεση πρωτεϊνών θα ανοίξει νέους δρόμους προς την ίαση ασθενειών που μέχρι τώρα φαίνονται τρομακτικές.

## 3.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΑ ΑΓΑΘΑ

Η διασύνδεση των μικροσκοπικών αυτών συσκευών μπορεί να εφαρμοστεί στη βιομηχανία και την παραγωγή καταναλωτικών αγαθών, ώστε να ενσωματωθούν σε ήδη υπάρχοντα προϊόντα προσδίδοντάς τους νέα λειτουργικότητα ή να συνδράμουν στην ανάπτυξη καινούριων.

### 3.2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΦΑΣΜΑΤΑ

Τα νανοδίκτυα μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα υλικά ώστε να τους προσφέρουν αναπτυγμένες λειτουργίες, όπως για παράδειγμα η υλοποίηση αντι-μικροβιακών υφασμάτων και απωθητικών ως προς του λεκέδες. Οι νανο-συσκευές αυτές αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα και ανάλογα προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους.

### 3.2.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΦΗΣ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Οι νανο-αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατανεμημένο τρόπο ώστε να αναπτυχθούν επιφάνειες αφής μεγάλης έκτασης με υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια. Για παράδειγμα, νανο-αισθητήρες αφής μπορούν να τοποθετούνται τυχαία πάνω σε επιφάνειες όπως είναι μια επιφάνεια από γυαλί ή ένα γραφείο. Πριν την ενεργοποίηση της λειτουργίας των νανο-αισθητήρων και την εφαρμογή τους, θα λαμβάνει χώρα μια διαδικασία βαθμονόμησης, ώστε να καθοριστούν τα όρια και η θέση των διαφόρων νανο-αισθητήρων μέσω κάποιας κεντρικής μονάδας. Επίσης, η όλη διάταξη μπορεί να απορροφά ενέργεια από την τριβή που θα παράγεται μέσω της κίνησης του χρήστη.

### 3.2.3 ΑΠΤΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ

Η απτική τεχνολογία αλληλεπιδρά με τον χρήστη μέσω κινήσεων, πιέσεων και δονήσεων που συνδέονται με την αίσθηση της αφής του χρήστη. Νανο-αισθητήρες και νανο-μοτέρ μπορούν να ενισχύσουν τον απομακρυσμένο έλεγχο και χειρισμό πολύπλοκων και μη συσκευών, ώστε να συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ασύρματου περιφερειακού περιβάλλοντος συσκευών όπως είναι κάποιο πληκτρολόγιο σε κινητό τηλέφωνων, σε φορητούς Η/Υ ή σε κονσόλες για videogames.

## 3.3 ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΜΥΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η χρήση των νανοδικτύων σε στρατιωτικές εφαρμογές αναμένεται να έχει εμβέλεια που να κυμαίνεται από πολύ μικρές αποστάσεις μέχρι πολύ μεγάλες, ανάλογα με τον κάθε τομέα εφαρμογής. Για παράδειγμα, η παρατήρηση των πεδίων μάχης και η ανάδραση επ' αυτών απαιτεί επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ για τα συστήματα ελέγχου της απόδοσης των στρατιωτών, εξ αντικειμένου θα λάβει χώρα σε πολύ πιο κοντινές αποστάσεις. Κάποιες στρατιωτικές εφαρμογές είναι οι εξής:

### 3.3.1 ΠΥΡΗΝΙΚΑ, ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΥΝΑΣ

Ο στόχος είναι η τοπολογία του νανοδικτύου να αναπτύσσεται δυναμικά στο πεδίο μάχης ή σε στοχευμένες περιοχές, προκειμένου να ανιχνεύσουν εχθρικούς, χημικούς και βιολογικούς πράκτορες και να συντονίσουν την άμυνα. Το σύστημα θα αποτελείται από νανοαισθητήρες και νανοκινητήρες, οι οποίοι θα μπορούν να ανιχνεύσουν και να ελέγξουν το εχθρικό μέτωπο. Η διαφορά χρήσης νανοαισθητήρων από τους χημικούς αισθητήρες, είναι ότι οι πρώτοι μπορούν να ανιχνεύσουν χημικές συγκεντρώσεις σε επίπεδο ενός μορίου. Δίκτυα ανίχνευσης ουσιών μπορούν επίσης να αναπτυχθούν σε ειδικά σημεία ώστε να ανιχνεύουν την παράνομη είσοδο χημικών, βιολογικών και ακτινολογικών υλικών.

### 3.3.2 ΟΠΛΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Ο τομέας αυτός δίνει παρόμοιες εφαρμογές όπως στον τομέα των καταναλωτικών αγαθών, αλλά συγκεκριμενοποιημένες για στρατιωτικές εφαρμογές. Παραδείγματα τέτοιων προϊόντων είναι αναπτυγμένα υλικά συγκάλυψης (καμουφλάζ), στρατιωτικές στολές που χρησιμοποιούν στην επιφάνειά τους νανοσωματίδια ώστε να τους αλλοιώσουν την υφή, να τους ενισχύουν την αντοχή, να τα κάνουν πιο σκληρά πιο μαλακά και να προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος.



### 3.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η νανοτεχνολογία ανοίγει νέους δρόμους στον καθαρισμό του περιβάλλοντος μέσω νανοσωματιδίων και συστημάτων φιλτραρίσματος τα οποία μπορούν να δεθούν και να αφαιρέσουν ή θέσουν σε αδράνεια βλαβερές ουσίες που υπάρχουν στη γη, τη θάλασσα και τον αέρα.

Η χρήση νανοσωματιδίων από διοξείδιο του τιτανίου μπορεί να οδηγήσει στην αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Λειτουργώντας ως καταλύτες αποσυνθέτουν μεγάλα ή και ενεργά οργανικά μόρια σε μικρότερα και ανενεργά. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του αζώτου και άλλες πτητικές οργανικές ουσίες που υπάρχουν στα καυσαέρια μπορούν να υποβαθμιστούν σε πιο αγαθές ουσίες όπως είναι το άζωτο, μικρά μόρια άνθρακος και νερό τα οποία είναι σαφέστερα πιο εύκολα απορροφήσιμα από το περιβάλλον. Το διοξείδιο του τιτανίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μειωθεί η μόλυνση που προκαλείται κατά την κατασκευή υλικών, πχ το οξείδιο του προπυλενίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνήθων υλικών όπως είναι πλαστικά, μπουγιές, απορρυπαντικά και υγρά φρένων.

Επίσης, νανοσωματίδια με οξείδια του σιδήρου μπορούν να καθαρίσουν οργανικά χημικά που μολύνουν τις θάλασσες και να ελέγξουν την ποιότητα του νερού. Τα νανοσωματίδια σιδήρου διαχέονται σε όλη τη μάζα του νερού και αποσυνθέτουν τον οργανικό διαλύτη, πχ υπάρχουν υπό ανάπτυξη συστήματα που με την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου μπορούν να απομακρύνουν σχεδόν όλα τα αλλότροπα του χημικού αρσενικού.

Τα φίλτρα μπορούν να ωφελήσουν αρκετά με διαφόρους τρόπους, μειώνοντας τους ρύπους που διοχετεύονται από τις καύσεις, τόσο από τα οχήματα όσο και από τα εργοστάσια, καθώς και τον καθαρισμό του πόσιμου νερού. Στα φίλτρα αυτά μπορούν να ενσωματωθούν πορώδη νανοϋλικά, όπως είναι το διοξείδιο του τιτανίου των οποίων το μέγεθος να μπορεί μπλοκάρει ακόμα και τα μικρότερα σωματίδια ιών.

## 3.5 ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

Το αντίκρισμα της νανοτεχνολογίας στις βιομηχανίες τροφίμων είναι μεγάλο και αυτό φαίνεται από την ολοένα αυξανόμενη προσπάθεια που γίνεται για την ανάπτυξη νέων τεχνικών που αφορούν σε «έξυπνες» συσκευασίες, συντηρητικά και φαγητά κατά παραγγελία.

### 3.5.1 ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η ανάπτυξη μεθόδων που θα παρατείνουν το χρόνο ζωής των τροφίμων ήταν πάντα ένα από τα πια επίμαχα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Τέτοια έξυπνα συστήματα θα μπορούν να επιδιορθώνουν μικρές σχισμές και οπές στις συσκευασίες, να ανταποκρίνονται σε περιβαλλοντικές συνθήκες (αλλαγές στη θερμοκρασία και στα επίπεδα υγρασίας) και να ενημερώνουν τον καταναλωτή αν το φαγητό είναι αποστειρωμένο. Αυτά μπορούν να επιτευχθούν μέσω της τροποποίησης της συμπεριφοράς των υλικών από τα οποία αποτελούνται οι συσκευασίες, της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων, της ικανότητας να αντιστέκονται σε αλλαγές θερμοκρασίας, της ανάπτυξης αντι-μικροβιακών και αντιμυκητιασικών επιφανειών και της προσαρμοστικότητας σε περιβαλλοντικές αλλαγές.

Στην παρούσα φάση παράγονται κουτιά αποθήκευσης φαγητών με νανοσωματίδια από ασήμι συνενωμένα με την πλαστική επίστρωση τους. Τα νανοσωματίδια αυτά σκοτώνουν τα βακτήρια που προέρχονται από οποιοδήποτε υλικό ήταν προηγουμένως αποθηκευμένο στα κουτιά, ελαχιστοποιώντας έτσι τυχόν προβλήματα υγείας που μπορούν να ανακύψουν από βλαβερούς μικροοργανισμούς.

Επίσης, οι ερευνητές χρησιμοποιούν νανοσωματίδια από οξείδια του ψευδάργυρου τα οποία τα ενσωματώνουν στις πλαστικές σακούλες ώστε να μπλοκάρουν τη UV ακτινοβολία και να παρέχουν αντιμικροβιακή προστασία, ενώ παράλληλα βελτιώνουν τη σταθερότητα και την αντοχή της πλαστικής μεμβράνης.

### 3.5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Επίσης προσπάθειες γίνονται και προς την κατεύθυνση διαδραστικών φαγητών, τα οποία θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες του σώματος και θα αποδίδουν τα θρεπτικά συστατικά πιο αποδοτικά, καθώς και σε φαγητά κατά παραγγελία με συστατικά τα οποία θα μεταφέρονται τους στα κύτταρα όταν τα χρειάζονται με την ενσωμάτωση νανο-κάψουλων. Οι κάψουλες αυτές θα περιέχουν γεύσεις, χρώματα ή διατροφικά συστατικά (πχ βιταμίνες) και θα παραμένουν ανενεργά στον οργανισμό μέχρι ο καταναλωτής να αποφασίσει πότε θα ενεργοποιηθούν.

## 3.6 ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

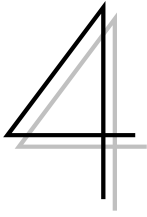
Η νανοτεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα να επαναστατήσει στον τομέα της γεωργίας με νέες μεθόδους για την μοριακή αντιμετώπιση και ταχεία ανίχνευση ασθενειών και την ενίσχυση των φυτών να απορροφούν τα θρεπτικά συστατικά. Έξυπνοι αισθητήρες και συστήματα διοχέτευσης θα βοηθήσουν την καταπολέμηση ιών και άλλων παθογόνων οργανισμών που βρίσκονται σε σοδειές.

### 3.6.1 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί υπολογιστές, παγκόσμια δορυφορικά συστήματα ανάγνωσης θέσης και απομακρυσμένες συσκευές για να μετρηθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και να καθοριστεί αν οι σοδειές αναπτύσσονται με τη μέγιστη αποδοτικότητα λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που παρέχουν κατανεμημένοι νανο-αισθητήρες για τις εδαφικές συνθήκες, την ανάπτυξη των φυτών, τη σπορά, τα λιπάσματα, τα χημικά και τη χρησιμοποίηση του νερού, ενώ με τον τρόπο αυτόν μειώνονται τα γεωργικά απόβλητα και η περιβαλλοντική μόλυνση.

### 3.6.2 ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

Τα συστήματα αυτά θα μπορούν να ανιχνεύουν προβλήματα στην υγεία των φυτών πολύ πριν γίνουν αντιληπτά στους παραγωγούς, και είτε θα δρουν επεμβατικά είτε θα ενημερώνουν τους αγρότες για το πρόβλημα. Επίσης, μείγματα από νανοσωματίδια, τα οποία θα έχουν νερό ή πετρέλαιο σαν βάση τους θα περιέχουν νανοσωματίδια από φυτοφάρμακα και θα ενσωματώνονται σε κρέμες, υγρά, τζελ κλπ για να επιδρούν προληπτικά, κατασταλτικά ή να διατηρούν τη συγκομιδή.



## Επικοινωνία μεταξύ των νανομηχανών

Προκειμένου να μπορέσει η νανοτεχνολογία να έχει εφαρμογή σε όλους αυτούς τους τομείς που αναμένουμε, θα πρέπει να εγκατασταθεί επικοινωνία μεταξύ των νανοσυσκευών ώστε να μπορούν να συνεργάζονται συλλογικά και καταναμημένα ώστε να επιτύχουν το σκοπό τους. Η κάθε νανοσυσκευή μπορεί να επιτελέσει πολύ απλές λειτουργίες από μόνη της οπότε η επικοινωνία μεταξύ πολλών συσκευών θα καθορίσει τελικά την πολυπλοκότητα των εργασιών που μπορούν να αναλάβουν.

Η επικοινωνία θα πρέπει να είναι αμφίδρομη και να εφαρμόζεται και στην περίπτωση που δύο ή παραπάνω νανοσυσκευές θα πρέπει να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, αλλά και όταν μια νανοσυσκευή θα πρέπει να επικοινωνήσει με ένα μεγαλύτερο σύστημα, όπως είναι ηλεκτρονικές μικροσυσκευές.

Βάσει των ήδη υπάρχουσών τεχνολογιών και εφαρμογών έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι που θεωρητικά θα μπορούσαν να διασυνδέσουν τις νανοσυσκευές ώστε να επικοινωνούν.

Πιο συγκεκριμένα έχει προταθεί επικοινωνία μέσω νανομηχανών, δηλαδή με επαφή μέσω μηχανημάτων μεταξύ πομπού και δέκτη, μέσω ακουστικών σημάτων, όπου το μεταδιδόμενο σήμα κωδικοποιείται μέσω ακουστικής ενέργειας – πχ μεταβολές πίεσης, μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που βασίζεται στη διαμόρφωση ΗΜ κυμάτων για να μεταδώσουν την πληροφορία και μέσω μορίων (μοριακή επικοινωνία).

Η επικοινωνία που βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελεί την πλέον κοινή πρακτική για τη διασύνδεση μικροηλεκτρικών συσκευών. Τα κύματα αυτά μπορούν και διαδίδονται με μικρές απώλειες κατά μήκος καλωδίων ή μέσω του αέρα. Ωστόσο, δοθέντος του μεγέθους των νανοσυσκευών η καλωδίωση μεγάλου αριθμού δεν είναι εφικτή. Εναλλακτικά μπορούν να αναζητηθούν ασύρματες λύσεις.

Για την εγκατάσταση αμφίδρομης επικοινωνίας θα πρέπει να ενσωματωθεί ένας μεταγωγέας ραδιοσυχνοτήτων. Η δυνατότητα να κατασκευαστούν κεραίες νανοεπιπέδου ώστε να γεννήσουν κύματα υψηλών συχνοτήτων υπάρχει, όχι όμως και η δυνατότητα να ενσωματωθούν εύκολα στους μεταγωγείς. Επιπλέον, ακόμα και να ήταν εφικτό, ενεργειακά θα ήταν ασύμφορο γιατί η ισχύς εξόδου ενός νανοπομπού δε θα μπορούσε να επαρκέσει για να εγκατασταθεί ένα αμφίδρομο κανάλι επικοινωνίας, αλλά μόνο για μονόδρομη μεταφορά πληροφορίας από μία μικροσυσκευή προς μία νανοσυσκευή.

Στην νανοκλίμακα οι ακουστικές επικοινωνίες βασίζονται κυρίως στη μετάδοση υπερηχητικών κυμάτων, δηλαδή ήχων που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από τον άνθρωπο αφού ξεπερνούν το κατώφλι των 20 kHz πάνω από το οποίο το ανθρώπινο αυτί δεν αντιλαμβάνεται τον ήχο. Η εφαρμογή των ακουστικών επικοινωνιών βασίζεται εξίσου στην ενσωμάτωση υπερηχητικών μεταγωγέων οι οποίοι θα πρέπει να είναι ικανοί να αντιλαμβάνονται τις γρήγορες εναλλαγές των πιέσεων που παράγουν τα υπερηχητικά κύματα και να εκπέμπουν αντιστοίχως ηχητικά κύματα. Και πάλι το μικροσκοπικό μέγεθος των νανοσυσκευών αποτελεί πρόβλημα για την υλοποίηση των μεταγωγέων.

Στην περίπτωση που η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω νανομηχανών, δηλαδή μέσω μηχανικών εξαρτημάτων η πληροφορία εξ ορισμού μεταδίδεται μέσω φυσικής σύνδεσης που θα πρέπει να υπάρχει μεταξύ των μηχανών. Αυτό είναι και το κύριο πρόβλημα στην προκειμένη περίπτωση. Επιπλέον θα πρέπει η σύζευξη να είναι ακριβής ώστε οι επιθυμητοί μεταγωγείς να είναι ευθυγραμμισμένοι σωστά. Αυτό το είδος επικοινωνίας δεν μπορεί να βρει εφαρμογή στις περιπτώσεις εκείνες που οι νανοσυσκευές είναι κατανεμημένες σε μεγάλη έκταση αλλά δεν έχουν άμεση επαφή μεταξύ τους. Πέρα από αυτό, χωρίς ακριβές σύστημα πλοήγησης η τοποθέτησή τους ώστε να επιτευχθεί ορθή επικοινωνία θα αποτελέσει τροχοπέδη.

Η επικοινωνία μέσω μορίων χρησιμοποιεί τη μετάδοση της πληροφορίας κωδικοποιημένη σε μόρια. Εφαρμόζει τους φυσικούς μηχανισμούς επικοινωνιών που ισχύουν στο εσωτερικό βιολογικών κυττάρων και έχουν ήδη φυσικά επιλεχθεί να λειτουργούν στο νανοεπίπεδο προκειμένου να προσφέρει τρόπους επικοινωνίας των νανοσυσκευών για αποστάσεις που κυμαίνονται από παρακείμενες νανοσυσκευές μέχρι δεκάδες μικρόμετρα. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους επικοινωνίας, η ενσωμάτωση μοριακών πομποδεκτών στις νανοσυσκευές είναι πιο εφικτή εξαιτίας του μεγέθους και του πεδίο ορισμού τους, δηλαδή το μοριακό. Αυτοί οι πομποδέκτες είναι εξ ορισμού νανοσυσκευές οι οποίες είναι σε θέση να αντιδράσουν με συγκεκριμένα μόρια και να απελευθερώσουν άλλα σαν απάντηση σε μια εσωτερική εντολή.

Η επικοινωνία μέσω μορίων μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητες μιας ναυοσυσκευής με το να διασυνδέσει περισσότερες από μία ώστε να ενεργήσουν συντονισμένα. Το πεδίο εργασίας της κάθε συσκευής είναι πολύ περιορισμένο, ωστόσο συλλογικά με τη διασύνδεσή τους μπορούν να επιτευχθούν πιο πολύπλοκα σενάρια εφαρμογών με την κατανεμημένη δράση των ναυοσυσκευών.

Στη γενική περίπτωση το τηλεπικοινωνιακό μοντέλο ανάμεσα σε ναυοσυσκευές αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

## ΜΟΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Η πληροφορία σε μοριακό επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ως μία βιολογική αντίδραση που συμβαίνει σε έναν δέκτη και που μπορεί να προκληθεί με την έκλυση μορίων. Θα πρέπει να έχει μια προκαθορισμένη εξωτερική δομή ώστε να μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα από το δέκτη. Επίσης, τα μόρια πληροφορίας πρέπει να είναι ανενεργά ώστε να μην μπορούν να αλληλεπιδράσουν με άλλα μόρια του περιβάλλοντος και τέλος να μπορούν να διασπαστούν εύκολα με την αποκωδικοποίηση του μηνύματος από το δέκτη.

## ΜΟΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ

Στα βιολογικά συστήματα, τα μόρια φτάνουν στον προορισμό τους είτε μέσω της διαδικασίας της διάχυσης είτε με τη βοήθεια άλλων φορέων. Τα μόρια που λειτουργούν ως μεταφορείς (μόρια όπως πρωτεΐνες ή ιόντα) είναι τα στοιχεία εκείνα του συστήματος που διευκολύνουν τη μεταφορά της πληροφορίας εκεί που πρέπει να μεταδοθεί.

## ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΕΣ

Ο πομπός είναι το στοιχείο του συστήματος που κωδικοποιεί ένα ερέθισμα σε μόρια πληροφορίας και που μπορεί είτε να τα αποθηκεύσει προσωρινά είτε να τα στέλνει στο περιβάλλον, το οποίο μπορεί να είναι ένα υδάτινο μέσο με διάφορα ιόντα και μόρια διαλυμένα στο διάλυμα. Τα μόρια αυτά υποβοηθούνται από τους μεταφορείς και φτάνουν τελικά στο δέκτη. Ο δέκτης με τη σειρά του ανιχνεύει τα μόρια αυτά και αποκωδικοποιεί την πληροφορία αυτή ώστε να επιτύχει την επιθυμητή βιολογική αντίδραση.

Ο πομπός και ο δέκτης έχουν τη μορφή ναυομηχανών, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα τροποποιημένο βιολογικό κύτταρο, ή βιολογικά μόρια που χρησιμοποιούν πεπτιδία ως μόρια μεταφορείς, ιόντα ή φωσφορικά άλατα όπως είναι η τριφωσφορική ινοσιτόλη IP<sub>3</sub>, ένα βιοϊατρικό εμφύτευμα ή ένα ναυορομπότ. Ο πομπός αποθηκεύει εσωτερικά τα μόρια μεταφορές και τα απελευθερώνει σύμφωνα με κάποιο γεγονός (πχ αλλαγή στη συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου εξωτερικού μοριακού σήματος).

## 4.1 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Η σηματοδοσία με βάση το ασβέστιο έχει ευρεία εφαρμογή στην επικοινωνία των μορίων γενικότερα καθώς χρησιμοποιείται για να μεταδοθεί πληροφορία τόσο ανάμεσα σε κύτταρα που παράκεινται φυσικώς αλλά και μεταξύ κυττάρων που δεν έχουν φυσική επαφή.

Στους πολυκυτταρικούς οργανισμούς τα ιόντα του ασβεστίου κυριαρχούν στην ενδοκυτταρική επικοινωνία λειτουργώντας ως δευτερογενείς αγγελιοφόροι προκειμένου να δρομολογήσουν διάφορες κυτταρικές δραστηριότητες (πχ μετάδοση νευρικών σημάτων κατά μήκος των νευρώνων, κυτταρική έκκριση, συστολή, γονιμότητα, πολλαπλασιασμός και θάνατος). Η γέννηση των  $Ca^{2+}$  σημάτων οφείλεται στην ηλεκτροχημική διαφορά των ιόντων του ασβεστίου κατά μήκος της πλασματικής μεμβράνης ή του ενδοπλασματικού δικτύου. Η πληροφορία κωδικοποιείται με ακρίβεια βάσει του πλάτους ή της συχνότητας των μεταβολών της συγκέντρωσης (αιχμές  $Ca^{2+}$  ή ταλαντώσεις).

Τα ιόντα ασβεστίου απελευθερώνονται από τις ενδοκυτταρικές αποθήκες όταν τριφωσφορικές ινοσιτόλες (InsP<sub>3</sub>) προσδένονται με τους υποδοχείς τους  $InsP_3R$  και τα ιόντα ασβεστίου με τη σειρά τους απελευθερώνουν άλλα ιόντα ασβεστίου από το μυϊκό σαρκοπλασματικό δίκτυο.

Ο υποδοχέας τριφωσφορικής ινοσιτόλης ( $InsP_3R$ ) είναι ένα γλυκοπρωτεϊνικό σύμπλεγμα μεμβράνης που λειτουργεί ως κανάλι ασβεστίου και ενεργοποιείται όταν η τριφωσφορική ινοσιτόλη (InsP<sub>3</sub> ή IP<sub>3</sub>) πέσει πάνω του και συνδεθεί. Είναι ευρέως καταναμημένο στους ιστούς αλλά κυριαρχεί στην παρεγκεφαλίδα, το τμήμα του εγκεφάλου που κατέχει σημαντικό ρόλο στην κίνηση. Οι πιο πολύ υποδοχείς βρίσκονται στο ενδοπλασματικό δίκτυο των κυττάρων.

Η τριφωσφορική ινοσιτόλη είναι ένας δευτερογενής αγγελιοφόρος, ο οποίος εντοπίζεται στο κυτταρόπλασμα και χρησιμοποιείται στη μεταγωγή σημάτων στα βιολογικά κύτταρα καθώς διαχέεται μέσα σε αυτά. Η IP<sub>3</sub> ενώνεται και ενεργοποιεί τον υποδοχέα  $InsP_3R$  στη μεμβράνη του ενδοπλασματικού δικτύου ανοίγοντας έτσι ένα κανάλι ασβεστίου κι έχοντας ως συνέπεια την απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου στο κυτταρόπλασμα.

Πέρα από την ενδοκυτταρική όμως επικοινωνία, οι ταλαντώσεις των ιόντων ασβεστίου συχνά εμφανίζονται ως επαναλαμβανόμενα διακυτταρικά  $Ca^{2+}$  κύματα τα οποία

συνήθως ξεκινούν από την ίδια περιοχή και ακολουθούν την ίδια διαδρομή κατά μήκος ενός ξεχωριστού κυττάρου.

Η αυξημένη συγκέντρωση των ιόντων του ασβεστίου στο κυτταρόπλασμα μεταφέρεται από κύτταρο σε κύτταρο ως «διακυτταρικό κύμα  $Ca^{2+}$ ». Τα κύματα αυτά μπορούν να ακολουθήσουν εσωτερικό ή εξωτερικό μονοπάτι.

Προκειμένου να μεταφερθούν οι πληροφορίες που φέρουν τα σήματα ασβεστίου από ένα κύτταρο σε άλλο, μπορούν να ακολουθηθούν δύο δρόμοι. Είτε εσωτερικά μέσω χασματοσυνδέσεων, είτε εξωτερικά μέσω της διαδικασίας της διάχυσης.

Οι χασματοσυνδέσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο και στους δύο τρόπους μετάδοσης των  $Ca^{2+}$  και αποτελούνται από εσωτερικές πρωτεΐνες που ονομάζονται κοννεξόνια που αποτελούνται από έξι διαμεμβρανικές πρωτεΐνες με τέσσερις δίοδους που ονομάζονται κοννεξίνια.

Υπάρχουν πάνω από 20 κοννεξίνια και οι διαφορετικοί τους συνδυασμοί δημιουργούν από ένα κανάλι με διαφορετικές ιδιότητες (πχ διαφορετική επιλεκτικότητα). Οι χασματοσυνδέσεις υπό φυσιολογικές συνθήκες επιτρέπουν τη διέλευση μικρών μορίων είτε μεταξύ κυττάρων είτε μεταξύ ενός κυττάρου και του εξωκυτταρικού περιβάλλοντος. Οι χασματοσυνδέσεις προσαρμόζονται και μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους ανάλογα με διάφορους εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, θερμοκρασία και επίπεδα pH του περιβάλλοντος.

Θέτοντας σε πράξη τις αρχές με τις οποίες οι βιολογικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν τα ιόντα ασβεστίου για επικοινωνία μπορούμε να αναπτύξουμε μοντέλα για την μικρής εμβέλειας επικοινωνία μεταξύ νανοσυσκευών.

Βάσει της σηματοδότησης ασβεστίου υλοποιείται η μετάδοση της πληροφορίας σε διαδοχικά βήματα του χημικού σήματος το οποίο καθοδηγείται από διαφορετικούς αγγελιοφόρους. Αυτή η διάταξη ορίζει το μονοπάτι που θα ακολουθήσει το χημικό σήμα και αποτελείται από κάποιον αγγελιοφόρο ο οποίος θα μεταφέρει την πληροφορία μέχρι κάποιο συγκεκριμένο βήμα όπου στη συνέχεια η πληροφορία θα μεταδοθεί σε άλλον αγγελιοφόρο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι η πληροφορία να φτάσει στον τελικό της προορισμό.

Η διαδικασία αυτή έχει δυο βασικά πλεονεκτήματα. Αφενός το σήμα μπορεί να ενισχυθεί σε διαφορετικά επίπεδα, συνήθως τη στιγμή που γίνεται το πέρασμα από τον έναν αγγελιοφόρο στον άλλον και αφετέρου μπορούν να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ



φάσμα αγγελιοφόρων για να επιτευχθούν διαφορετικοί τρόποι μεταγωγής και αποτελέσματα αποκωδικοποίησης.

Στην περίπτωση που τα κύτταρα μεταξύ των οποίων θέλουμε να εγκαταστήσουμε επικοινωνία είναι απομακρυσμένα, τότε το μόριο πληροφορίας διαχέεται στο μέσο και διασχίζει το μονοπάτι χημικού σήματος μέχρι να φτάσει στον προορισμό του. Αφού φτάσει στην τελική ναοσυσσκευή, το μόριο πληροφορίας, προσδένεται στον μοριακό υποδοχέα που βρίσκεται στην εξωτερική μεμβράνη του κυττάρου. Στη συνέχεια γεννάται ένα εσωτερικό κυτταρικό σήμα ασβεστίου το οποίο μπορεί να κωδικοποιηθεί από τις κυτταρικές συνιστώσες, βάσει πλάτους και συχνότητας των αλλαγών της συγκέντρωσης. Στην περίπτωση αυτή το πρόσδεμα μπορεί να θεωρηθεί ως πρωτογενής αγγελιοφόρος, ενώ τα εσωτερικά μόρια θεωρούνται δευτερογενείς αγγελιοφόροι του μονοπατιού. Οι πρωτογενείς αγγελιοφόροι μετατρέπονται σε δευτερογενείς από τους υποδοχείς στη μεμβράνη μέσω χημικών αντιδράσεων.

Εάν τα κύτταρα που μας ενδιαφέρουν είναι κοντά, τότε αυτά μπορούν να συνδεθούν μέσω χασματοσυνδέσεων. Στην περίπτωση αυτή το σήμα πληροφορίας ταξιδεύει μέσα στα κύτταρα χρησιμοποιώντας δευτερογενείς αγγελιοφόρους (όπως είναι η τριφωσφορική ινοσιτόλη) χωρίς τη χρήση πρωτογενών αγγελιοφόρων. Η διάχυση  $IP_3$  μέσω χασματοσυνδέσεων προκαλεί τη διάδοση ενός κύματος ιόντων ασβεστίου κατά μήκος των διασυνδεδεμένων κυττάρων.

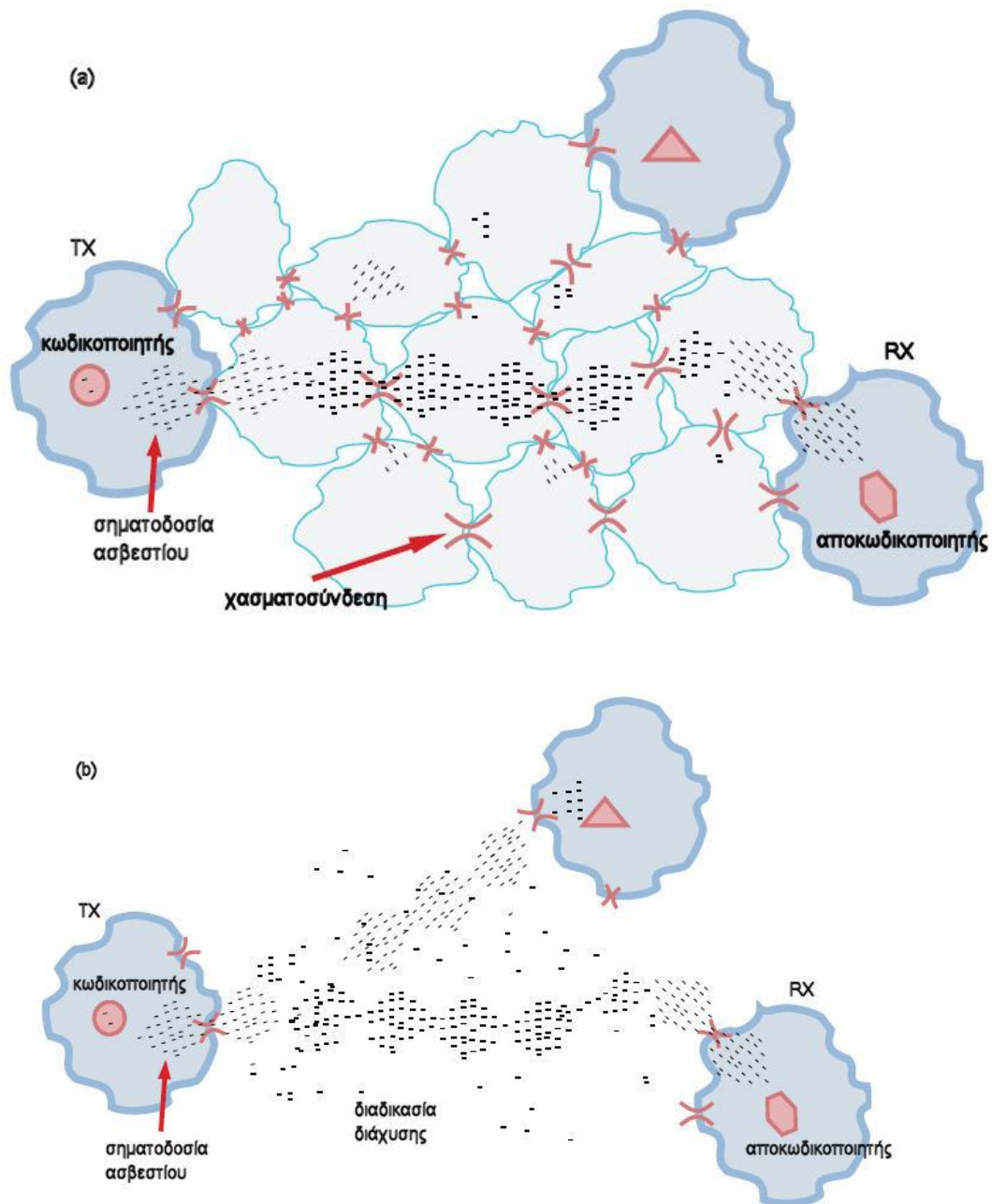
Βλέπουμε λοιπόν ότι δε χρειάζεται να έχουμε καθορίσει από πριν την τοπολογία του δικτύου και το broadcasting της πληροφορίας που θέλουμε σε όλα τα κύτταρα καθίσταται αρκετά εύκολο.

Ωστόσο, το περιβάλλον στο οποίο θα λάβει χώρα αυτός ο τρόπος επικοινωνίας αναμένεται θορυβώδες, αφού τα ιόντα του ασβεστίου μπορούν εύκολα να αναπτύξουν δεσμούς με άλλα φορτισμένα σωματίδια, ενώ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι βιολογικές διεργασίες όπως είναι η συστολή των μυών και η διάχυση των νευροδιαβιβαστών, διαδικασίες κατά τις οποίες ενεργούν ως δευτερογενείς αγγελιοφόροι τα ιόντα ασβεστίου.

Για την υλοποίηση του τηλεπικοινωνιακού συστήματος, θα πρέπει ο πομπός και ο δέκτης να συνδεδεμένοι μέσω ενός δικτύου που θα αποτελείται από διασυνδεδεμένους κόμβους, που διαδίδουν την πληροφορία μέσω ιόντων ασβεστίου. Εξαιτίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ναοσυσκευών, η διάδοση της πληροφορίας δεν επηρεάζεται από τη φυσική ταχύτητα του μέσου. Ωστόσο, το κανάλι αναμένεται να είναι θορυβώδες. Τα ιόντα ασβεστίου έλκονται από φορτισμένα σωματίδια και μπορούν να ενωθούν με αυτά, κάτι που μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια της πληροφορίας.

Σημαντικό μειονέκτημα επίσης είναι οι παρεμβολές που μπορεί να εμφανιστούν σε βιολογικές διαδικασίες όπως είναι οι μυϊκές συσπάσεις ή τα νευρικά σήματα.

Υπάρχουν δύο τρόποι εγκατάστασης του δικτύου, με άμεση επαφή, σχήμα 4.1(α), και με έμμεση, σχήμα 4.1(β). Στην πρώτη περίπτωση, ο πομπός και ο δέκτης είναι απομακρυσμένοι με ενδιάμεσους κόμβους που διαδίδουν το σήμα μέσω χασματοσυνδέσεων, ενώ στη δεύτερη το σήμα διαχέεται στο μέσο ελεύθερα.



Σχήμα 4.1: Μετάδοση σημάτων με ιόντα ασβεστίου μέσω (α) χασματοσυνδέσεων και (β) διάχυσης

Για κάθε περίπτωση, η τηλεπικοινωνιακή διαδικασία ακολουθεί τα εξής βήματα:

#### 4.1.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η λειτουργία αυτή αναφέρεται στο σχηματισμό των μορίων πληροφορίας. Στην περίπτωση που αναφερόμαστε σε γειτονικές νανοσυσκευές, όπου υπάρχει δηλαδή άμεση πρόσβαση στο κυτταρόλυμα (κυτταρόπλασμα χωρίς οργανίδια ή αδιάλυτες δομές), για παράδειγμα με χασματοσυνδέσεις, τότε ο πομπός κωδικοποιεί την πληροφορία χρησιμοποιώντας  $Ca^{2+}$ . Η πληροφορία κωδικοποιείται σε πλάτος και συχνότητα βάσει της συνάρτησης της συγκέντρωσης του σήματος  $Ca^{2+}$ , όπως είναι η διαμόρφωση πλάτους (AM) και διαμόρφωση συχνότητας (FM) αντίστοιχα.

Αν δεν έχουμε άμεση σύνδεση των νανοσυσκευών τότε ο πομπός θα κωδικοποιήσει την πληροφορία στο μόριο που θα χρησιμοποιηθεί ως πρωτογενής αγγελιοφόρος, δηλαδή το πρόσδεμα. Η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει όπως και πριν βάσει AM ή FM. Η κωδικοποίηση μπορεί να ξεκινήσει εξαιτίας ενός εξωτερικού ερεθίσματος, πχ κάποια διέγερση η οποία θα προκαλέσει την απελευθέρωση αγωνιστικών ουσιών οι οποίες θα διοχετευτούν στο περιβάλλον, θα δεθούν με υποδοχείς στις μεμβράνες των γειτονικών κυττάρων και τελικά θα απελευθερωθούν ιόντα ασβεστίου.

#### 4.1.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Στην περίπτωση αυτή οι νανοσυσκευές πομποί διεγείρουν τα γειτονικά κύτταρα και συνεπώς ξεκινά η διαδικασία έναρξης μετάδοσης του σήματος. Η σηματοδότηση οδηγεί στη διάδοση των κυμάτων ιόντων ασβεστίου. Εάν οι νανοσυσκευές έχουν άμεση διασύνδεση τότε τα μόρια τριφωσφορικής ινοσιτόλης ταξιδεύουν προς τα γειτονικά κύτταρα μέσω των χασματοσυνδέσεων ή άλλων διόδων παράγοντας έτσι ιόντα ασβεστίου. Ταυτόχρονα παρακείμενες νανοσυσκευές θα παράξουν περισσότερα ιόντα ασβεστίου στην παρουσία  $IP_3$ . Εάν οι νανοσυσκευές δε βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία, τότε οι πομποί μπορεί να ξεκινήσουν τη μετάδοση του σήματος με την απελευθέρωση ουσιών στο περιβάλλον, ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και μέθοδοι όπως είναι η κυτταρική διχοτόμηση ή ο σχηματισμός πόρων

#### 4.1.3 ΔΙΑΔΟΣΗ

Όταν οι νανοσυσκευές χρησιμοποιούν άμεση σύνδεση τότε η τριφωσφορική ινοσιτόλη που μεταδίδεται στα γειτονικά κύτταρα ή νανοσυσκευές επάγουν την πρόσθετη απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου από τις ενδοκυτταρικές αποθήκες. Η διάχυση των  $IP_3$  ουσιών συνεχίζει στις γειτονικές νανοσυσκευές επιφέροντας περαιτέρω απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου σε αυτές. Αυτή η αλυσιδωτή αντίδραση προκαλεί μια αύξηση στη συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου και σαν αποτέλεσμα το  $Ca^{2+}$  κύμα διαδίδεται κατά

μήκος των κόμβων του δικτύου που στήθηκε από τα μόρια τριφωσφορικής ινοσιτόλης. Η διάδοση αυτή μπορεί να ελεγχθεί μεταβάλλοντας την επιτρεπτότητα των χασματοσυνδέσεων ή των κυτταρικών πυλών.

Αν οι ναοσυσκευές δε συνδέονται άμεσα τότε η διάδοση των πρωτογενών αγγελιοφόρων που περιέχουν την πληροφορία μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας μοντέλα διάχυσης. Όταν οι πρωτογενείς αγγελιοφόροι προσδένονται στους υποδοχείς των ναοσυσκευών-αποδεκτών μεταφράζονται σε εσωτερικά σήματα ιόντων ασβεστίου. Η περίπτωση μη άμεσης διασύνδεσης είναι πολύ πιο ευαίσθητη στις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως είναι η θερμοκρασία, ο θόρυβος, η ροή, ο μοριακός άνεμος (η ροή φορτισμένων σωματιδίων), από την άμεση επαφή και οι παράγοντες αυτοί πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να γίνει βέβαιο ότι τα μόρια πληροφορίας θα φτάσουν στον παραλήπτη που πρέπει.

#### 4.1.4 ΥΠΟΔΟΧΗ

Στην περίπτωση που υλοποιείται το μοντέλο της άμεσης σύνδεσης τότε ο παραλήπτης-ναοσυσκευή εγκαθιστά χασματοσύνδεση με τα γειτονικά κύτταρα και αντιλαμβάνεται τη συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου από το εξωτερικό αυτών των κυττάρων. Μόλις ληφθεί το μήνυμα, τότε ο πομπός μπορεί να σταματήσει τη διάδοση των τριφωσφορικών ινοσιτολών κλείνοντας τις χασματοσυνδέσεις ή τις πύλες που συνδέονται με άλλες ναοσυσκευές.

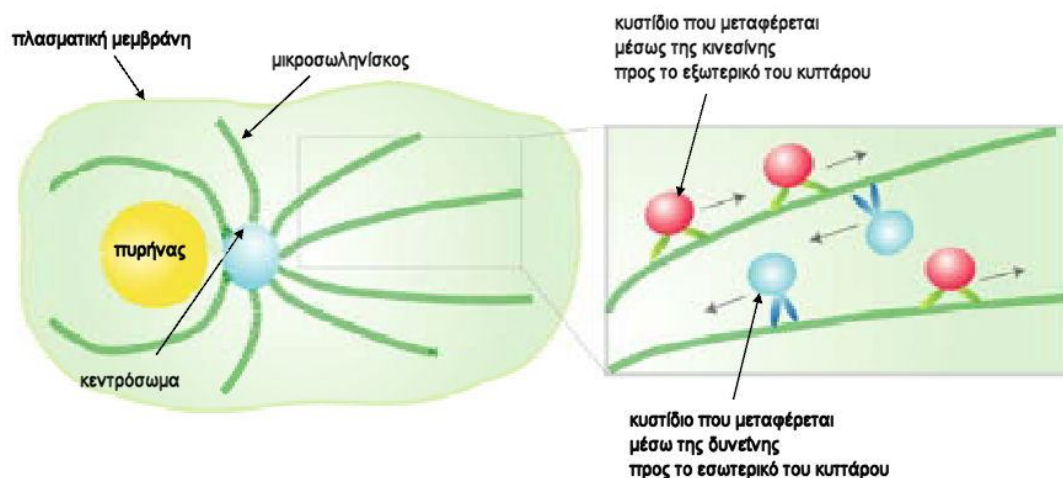
Στην μη έμμεση σύνδεση ο υποδοχέας έχει τον κύριο ρόλο γιατί πρέπει να μεταφράσει το αρχικό μήνυμα, δηλαδή τα μόρια πληροφορίας σε εσωτερικά σήματα  $Ca^{2+}$ . Μια ναοσυσκευή μπορεί να είναι εφοδιασμένη με αρκετούς υποδοχείς, ικανοί να ανιχνεύουν διαφορετικά μόρια πληροφορίας, κάτι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εγκατασταθούν αρκετά παράλληλα τηλεπικοινωνιακά κανάλια ανάμεσα σε διαφορετικές ναοσυσκευές-πομποί.

#### 4.1.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η ναοσυσκευή-αποδέκτης αντιδρά στην εσωτερική συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου. Η συγκέντρωση εξαρτάται από την εισροή των  $IP_3$  και  $Ca^{2+}$  που φτάνουν στον παραλήπτη ή στις συνδέσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των μορίων πληροφορίας και των υποδοχέων στις ενδιάμεσες ναοσυσκευές. Η βασική διαφορά μεταξύ του τελικού παραλήπτη και των ενδιάμεσων ναοσυσκευών ή κυττάρων που συμμετέχουν στη διάδοση του σήματος είναι ότι ο τελικός αποδέκτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει το μήνυμα, ενώ οι άλλες ναοσυσκευές απλά λαμβάνουν το σήμα και το προωθούν.

## 4.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΡΙΑΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι μοριακοί κινητήρες είναι βιολογικές μηχανές που είναι απαραίτητες για τη μετακίνηση ζωντανών οργανισμών και βρίσκονται στα ευκαρυωτικά κύτταρα ζωντανών οργανισμών. Ένας μοριακός κινητήρας μπορεί να οριστεί ως μια βιολογική μηχανή υψηλής ενεργειακής απόδοσης που καταναλώνει ενέργεια μιας μορφής και τη μετατρέπει σε κίνηση ή σε μηχανικό έργο.



Σχήμα 4.2: Βιολογία ενός μοριακού κινητήρα

Ο στόχος των μοριακών κινητήρων μέσα στα κύτταρα είναι να μεταφέρουν ουσιώδη σωματίδια μεταξύ οργανιδίων σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής των κυττάρων. Κάποια παραδείγματα από τους βιολογικούς οργανισμούς είναι το μόριο ATP που μεταφέρει χημική ενέργεια μέσα στα κύτταρα για μεταβολικές διεργασίες, η κινεσίνη που είναι υπεύθυνη για τη σύσπαση των μυών, η δυνείνη για τη μεταφορά φορτίων στον πυρήνα.

Οι μοριακοί κινητήρες ταξιδεύουν κατά μήκων μοριακών «σιδηροδρομικών γραμμών» που ονομάζονται μικροσωληνίσκοι. Αυτοί οι μικροσωληνίσκοι είναι ευρέως αναπτυγμένοι έτσι ώστε να ορίζουν ένα πλήρες σιδηροδρομικό δίκτυο για ενδοκυτταρική μεταφορά ουσιών. Οι μικροσωληνίσκοι αυτοί ξεκινούν από το κεντρόσωμα του κυττάρου συνεχίζουν προς το εξωτερικό της μεμβράνης και διαμορφώνουν μια τοπολογία που θυμίζει αυτή του αστέρα. Μια τοπολογία τέτοιου είδους επιτρέπει τη μετάδοση της πληροφορίας από ένα σημείο προς άλλα

απομακρυσμένα (broadcasting από μία πηγή) ή τη συγκέντρωση μορίων σε μια περιοχή στο εσωτερικό του κυττάρου, προκειμένου πχ για ανάλυση δεδομένων από μια νανοσυσκευή.

Υπάρχουν συγκεκριμένοι μοριακοί κινητήρες ικανοί να μεταφέρουν άλλα μόρια μαζί τους κατά μήκος των μικροσωληνίσκων. Ανάλογα με το φορτίο που κουβαλούν μπορούν να κινηθούν με ταχύτητα μέχρι και 400nm/μέρα. Η δυνατότητα αυτή καθιστά τους μοριακούς κινητήρες έναν εφικτό τρόπο μεταφοράς πακέτων πληροφορίας, δηλαδή μόρια, από τον πομπό στον δέκτη. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένας βίο-υβριδικός τρόπος διασύνδεσης για να αποκαταστήσουν τα ζητήματα συμβατότητας μεταξύ τεχνητών νανοσυσκευών και βιολογικών δομών.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου με μικροσωληνίσκους, προκειμένου να υποστηριχτεί η μετακίνηση των μοριακών κινητήρων, είναι βασική για αυτό το είδος επικοινωνίας και μπορεί να καθοριστεί με κάποιον από τους παρακάτω τρόπους.

Στην πρώτη περίπτωση, θα ακολουθηθούν οι φυσικοί μηχανισμοί που εφαρμόζονται στα κύτταρα, όπου δηλαδή οι μικροσωληνίσκοι συντάσσονται αυτόματα μέσω των μορίων. Στη δεύτερη περίπτωση, αναπτύσσονται τροχιές μοριακών κινητήρων μέσω της λιθογραφικής εκτύπωσης, όπου ουσιαστικά ορίζεται μια διαφανής διασύνδεση μεταξύ των νανοσυσκευών πάνω στην οποία θα μεταφέρεται η πληροφορία. Αυτές οι τροχιές, που ουσιαστικά αποτελούνται από μοριακούς κινητήρες προσκολλημένους σε μια επιφάνεια, μπορούν να μετακινούν τις δομές από ένα σημείο σε άλλο, με τη διαφορά ότι η πληροφορία δεν βρίσκεται στον μοριακό κινητήρα αλλά σε κάποια δομή με παραπλήσια χαρακτηριστικά, όπως είναι τα κυστίδια.

Για την υλοποίηση του πρώτου μηχανισμού ο πομπός θα πρέπει να έχει την ικανότητα να επιλέγει τον κατάλληλο μικροσωληνίσκο ώστε να εγκαθιδρύσει τη ζεύξη με τον δέκτη. Για τη δεύτερη περίπτωση, ο πομπός θα πρέπει να απελευθερώσει αρκετά μόρια που θα περιέχουν τα ίδια δεδομένα, τα οποία θα προσδεθούν στους μοριακούς κινητήρες και θα ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές ώστε να φτάσουν στους διαφορετικούς προορισμούς. Η διάδοση των μοριακών κινητήρων κατά μήκος ενός μικροσωληνίσκου είναι μονής κατεύθυνσης. Για να επιτευχθεί επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί μοριακοί κινητήρες ή ένα ζευγάρι αντίθετων μικροσωληνίσκων μεταξύ δύο νανοσυσκευών.

Η επικοινωνία μέσω μοριακών κινητήρων λαμβάνει χώρα σε υγρό μέσο, και περιλαμβάνει τα απαραίτητα συστατικά στις κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, το pH και το ιξώδες του μέσου. Εξαιτίας της οργανικής και φυσικής φύσης των εμπλεκόμενων νανομηχανών και πακέτων

πληροφορίας, το δίκτυο είναι πολύ ευαίσθητο σε αυτές τις συνθήκες και η τηλεπικοινωνιακή διαδικασία μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από ξαφνικές αλλαγές στο περιβάλλον.

Η τοπολογία του δικτύου θυμίζει αρκετά τη ζεύξη σημείου-προς-σημείο και περιλαμβάνει έναν μόνο πομπό κι έναν μόνο δέκτη. Στην πλευρά του πομπού, τα μέρη πληροφορίας φορτώνονται στους μοριακούς κινητήρες και τα μεταφέρουν πάνω στους μικροσωληνίσκους. Το πακέτο μπορεί επίσης να ενθυλακωθεί σε κυστίδια. Το κυστίδιο είναι μία κοιλότητα αέρα ή υγρού που μπορεί να αποθηκεύσει ή να χωνέψει μοριακά προϊόντα. Η διαδικασία αυτή αφενός αυξάνει τη συμβατότητα μεταξύ των μορίων πληροφορίας και του μοριακού κινητήρα, επιτρέποντας έτσι τη χρήση ποικίλων τύπων μορίων σαν πακέτα πληροφορίας. Αφετέρου, η ενθυλάκωση προστατεύει τα μέρη πληροφορίας από ανταγωνιστικές ουσίες στο μέσο.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου θα πρέπει να έχει προεγκατασταθεί της έναρξης της τηλεπικοινωνιακής διαδικασίας. Αρκετοί μικροσωληνίσκοι μπορούν να έχουν παραταχθεί ώστε να διασυνδέσουν έναν κόμβο, πχ μια νανοσυσκευή, με πολλούς άλλους. Ανάλογα με την υποδομή του δικτύου θα μπορεί να χρησιμοποιήσει μηχανισμούς unicasting ή multicasting.

Η διαδικασία μετάδοσης της πληροφορίας μεταξύ πομπού και δέκτη ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

#### 4.2.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Είναι η διαδικασία κατά την οποία ο πομπός μεταφράζει την πληροφορία σε μέρη μεταφορείς έτσι ώστε ο δέκτης να μπορέσει να την εντοπίσει και να τη συλλάβει. Η πληροφορία μπορεί να κωδικοποιηθεί σε συγκεκριμένο είδος μορίου, σε κάποια συνιστώσα του μορίου (πχ. υποακολουθία μιας DNA ακολουθίας) ή σε κάποια χαρακτηριστικά μορίων. Επίσης μπορεί να κωδικοποιηθεί και στο περιβάλλον με την έννοια ότι ο πομπός μπορεί να διοχετεύσει κάποια μέρη που να μπορούν να αλλάξουν κάποια γνωρίσματα του περιβάλλοντος και ο δέκτης να μπορεί να ανιχνεύει τις αλλαγές αυτές και ανάλογα να τις κωδικοποιήσει βάσει των μεταβολών τους στο περιβάλλον.

## 4.2.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Είναι η διαδικασία με την οποία ο πομπός μεταβιβάζει τα μόρια πληροφορίας στο περιβάλλον. Η διεργασία αυτή βασίζεται στη σύνδεση προσδέματος-υποδοχέα.

Ένα πρόσδεμα είναι ένα μόριο, συνήθως μια πρωτεΐνη που ενώνεται με ένα μεγαλύτερο μόριο πρωτεΐνης που ορίζεται ως υποδοχέας. Υπό στενότερη έννοια είναι ένα μόριο που όταν ενωθεί σε μια περιοχή της στοχευμένης πρωτεΐνης γεννά κάποιο σήμα. Η αλληλεπίδραση του προσδέματος με την περιοχή ένωσής του χαρακτηρίζεται από τη συγγένεια μεταξύ τους, δηλαδή την τάση ανόμοιων στοιχείων να σχηματίζουν χημικές ενώσεις βάσει των ηλεκτρονιακών ιδιοτήτων του. Η δύναμη με την οποία γίνεται η σύνδεση αναφέρεται ως συγγένεια.

Όσο μεγαλύτερη η συγγένεια τόσο μεγαλύτερη η διάρκεια της σύνδεσης. Η σύνδεση αυτή συνήθως μπορεί να ανατραπεί. Ο πομπός πρέπει να διασφαλίσει την υψηλή συγγένεια μεταξύ των μορίων που φέρουν την πληροφορία και τους μοριακούς κινητήρες. Αν η συγγένεια υπάρχει τότε το μόριο που φέρει την πληροφορία μπορεί να ενωθεί με τους μοριακούς κινητήρες προκειμένου να ξεκινήσει η διάδοση της πληροφορίας.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές ενθυλάκωσης για να διαβεβαιωθεί η συγγένεια μεταξύ του μορίου πληροφορίας και των μοριακών κινητήρων. Οι κύστεις είναι βιολογικές κάψουλες υψηλής συγγένειας και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μια διεπαφή ώστε να προκύψει συμβατή ένωση μεταξύ των μορίων πληροφοριών και των μοριακών κινητήρων.

## 4.2.3 ΔΙΑΔΟΣΗ

Είναι η διαδικασία κατά την οποία τα μόρια πληροφορίας μετακινούνται στο μέσο ώστε να φτάσουν στον παραλήπτη. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορεί να πραγματοποιηθεί η κίνηση των μορίων στο περιβάλλον. Μπορεί να γίνει μέσω της στοχαστικής ανέλιξης του Brownian όπου τα μόρια κινούνται αυθαίρετα και παθητικά, χωρίς δηλαδή να αντλούν ενεργητικά ενέργεια κάποιου είδους. Επίσης μπορούν να διαδοθούν μέσω των χασματοσυνδέσεων, περιορίζοντας δηλαδή τον όγκο στον οποίο μπορούν να κινηθούν. Ακόμα μπορούμε να περιορίσουμε την κίνησή τους μέσω μοριακών σιδηροδρομικών γραμμών ή μικρό-σωληναρίων που διασυνδέουν τις ναυοσυσσκευές.

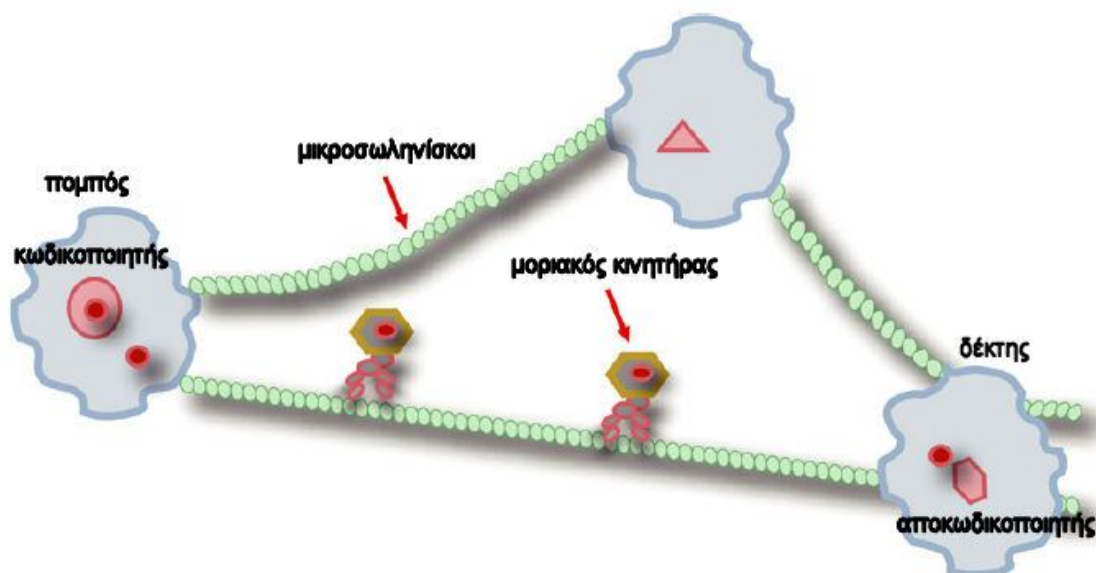


#### 4.2.4 ΛΗΨΗ

Είναι η διαδικασία κατά την οποία η δέκτης λαμβάνει την πληροφορία που στέλνει ο δέκτης, σε όποια μορφή κι αν είναι. Στην πλευρά του παραλήπτη μπορεί να υπάρχουν πρωτεϊνικοί υποδοχείς ευαίσθητοι σε συγκεκριμένες ουσίες ώστε να μπορέσουν να ανακτήσει τα μόρια πληροφορίας. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στη συγγένεια που υπάρχει μεταξύ των υποδοχέων και των ενθυλακωμένων μορίων. Ο δέκτης θα πρέπει να έχει την ικανότητα να μπορεί να αποσπά διαφορετικής πληροφορίας μόρια από τους μικροσωληνίσκους. Η εξαγωγή μιας ενθυλακωμένης πληροφορίας μπορεί να γίνει με την ένωση της κύστης με την κυτταρική μεμβράνη, όπου μέσω της εξωκύττωσης τελικά απελευθερώνεται η πληροφορία. Επίσης ο δέκτης μπορεί να περιέχει χασματοσυνδέσεις οι οποίες να επιτρέπουν στα μόρια να ρέουν μέσα στο κύτταρο χωρίς τη χρήση υποδοχέων.

#### 4.2.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Είναι η διαδικασία με την οποία αφού ο δέκτης λάβει τις απαραίτητες πληροφορίες, μεταφράζει τα ληφθέντα μόρια σε κάποια συγκεκριμένη ενέργεια η οποία είναι εξαρτώμενη από το είδος της πληροφορίας που λαμβάνει και το είδος της εφαρμογής που ζητείται. Μια ναοσυσσκευή μπορεί να διαθέτει αρκετούς υποδοχείς όπου ο καθένας θα μπορεί να αντιδρά σε διαφορετικό είδος πληροφορίας και να αντιδρά διαφορετικά. Άλλη επιλογή είναι η αποκωδικοποίηση να γίνεται στο εσωτερικό των ναοσυσσκευών, που στην περίπτωση αυτή θα πρέπει τα διαφορετικά μηνύματα να έχουν κοινή διεπαφή.



Σχήμα 4.3: Τα στοιχεία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος με μοριακούς κινητήρες

## 4.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΣΑΙΑΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΜΑΣΤΙΓΙΑ

Οι μοριακοί κινητήρες ωστόσο δεν αποτελούν έναν αποδοτικό τρόπο μεταφοράς της πληροφορίας όταν η απόσταση ξεπερνά τα κάποια μικρόμετρα. Αρχικά, η ταχύτητα των μοριακών κινητήρων καθώς κινούνται κατά μήκος των κυτταροσκελετικών γραμμών ανήκει στην τάξη των 500nm/sec. Αφετέρου, τείνουν να αποκολλούνται από τους μικροσωληνίσκους και να διαχέονται όταν έχουν διανύσει αποστάσεις της τάξης του 1μm.

Επιπλέον, εφόσον οι μοριακοί κινητήρες κινούνται κατά μήκος των κυτταροσκελετικών γραμμών απαιτείται η προγενέστερη ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής τους δικτύου. Οι μικροσωληνίσκοι αυτοί στην ουσία δρουν σαν ένα απλό καλώδιο μιας κατεύθυνσης, με την έννοια ότι κάθε μοριακός κινητήρας μπορεί να πάει μόνο στο ένα τέρμα του κάθε μικροσωληνίσκου. Όταν όμως απαιτείται αμφίδρομη επικοινωνία θα πρέπει είτε να προσθέσουμε κι άλλον έναν μικροσωληνίσκο σε κάθε ζεύξη σημείου προς σημείο, αυξάνοντας όμως έτσι την πολυπλοκότητα του δικτύου, είτε να περιμένουμε μέχρι η επικοινωνία στην άλλη κατεύθυνση να λάβει τέλος. Και στις δύο περιπτώσεις όμως θα υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις στη μετάδοση των δεδομένων.

Όσον αφορά στην μοριακή επικοινωνία, ο χρόνος που χρειάζεται έναν σωματίδιο να διαχυθεί σε μια συγκεκριμένη απόσταση αυξάνεται τετραγωνικά με την απόσταση, και άρα ή καθυστέρηση στην μετάδοση αυξάνεται τετραγωνικά επίσης με την απόσταση.

Εφόσον, οι υπάρχουσες μέθοδοι μοριακής επικοινωνίας στο κοντινό πεδίο δεν είναι αποδοτικές για αποστάσεις μεγαλύτερες από κάποια μm, απαιτούνται νέες μέθοδοι για αποστάσεις μεσαίας κλίμακας, δηλαδή από κάποια μm μέχρι mm. Οι μέθοδοι που ακολουθούν βασίζονται στην κωδικοποίηση της πληροφορίας σε DNA, ένα DNA πακέτο και στη μεταφορά του στον κατάλληλο υποδοχέα.

Βασικό πεδίο γνώσεων για την υλοποίηση των μεθόδων που θα αναλυθούν παρακάτω είναι το ανασυνδυασμένο DNA.

### 4.3.1 ΑΝΑΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ DNA

Το ανασυνδυασμένο DNA είναι ένα μόριο DNA, τεχνητά κατασκευασμένο, το οποίο περιέχει συνδυασμένα γονίδια από δύο ή περισσότερους βιολογικούς οργανισμούς προκειμένου να συγκεραστεί γενετικό υλικό πολλαπλών πηγών, δημιουργώντας ακολουθίες που διαφορετικά δε θα μπορούσαν να απαντηθούν με φυσικό τρόπο.

Το DNA είναι ένα νουκλεϊκό οξύ που περιέχει τις γενετικές πληροφορίες που καθορίζουν τη βιολογική ανάπτυξη όλων των κυτταρικών μορφών ζωής και των περισσότερων ιών.

Το μόριο του DNA αποτελείται από δύο πολυμερή νουκλεοτίδια, όπου το κάθε νουκλεοτίδιο συνδέεται με το άλλο δημιουργώντας ένα ζευγάρι βάσης (base pair - bp), σε μορφή δύο αντιπακτών κλώνων που σχηματίζουν δεξιόστροφη διπλή έλικα.

Συνήθως το DNA έχει δίκλωνη μορφή, με τους κλώνους να συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου. Κάθε νουκλεοτίδιο αποτελείται από μία εκ τεσσάρων δυνατών αζωτούχων βάσεων: αδενίνη (A), γουανίνη (G), κυτοσίνη (C) ή θυμίνη (T). Τα ζευγάρια βάσεων είναι προκαθορισμένα: η αδενίνη συνδέεται με τη θυμίνη, και η γουανίνη με την κυτοσίνη. Κάθε bp μπορεί να κωδικοποιήσει 2 bits, εφόσον υπάρχουν 4 πιθανές επιλογές για τη βάση ενός εκ των νουκλεοτιδίων του ζευγαριού και η άλλη βάση υπολογίζεται συμπληρωματικά από την πρώτη.

Ο ανασυνδυασμός του DNA, και κατ' επέκταση η δημιουργία των DNA πακέτων, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι τα νουκλεϊκά οξέα δημιουργούν δίκλιωνα μόρια, όπου οι δυο συμπληρωματικές αντιπαράλληλες αλυσίδες κρατούνται στοιχισμένες μέσω δεσμών υδρογόνου μεταξύ των αντίστοιχων βάσεων της κάθε αλυσίδας.

Τα ένζυμα περιορισμού (ενδονουκλεάσες) που κόβουν το δίκλινο DNA σε συγκεκριμένες αλληλουχίες, αποτελούν ιδανικά εκμαγεία για την κλωνοποίηση και χαρτογράφηση του DNA, αφού κάθε τοποθεσία αναγνωριζόμενης αλληλουχίας από τις ενδονουκλεάσεις (θέση περιορισμού) επέχει θέση ορόσημου πάνω στο DNA. Το βασικό ζήτημα που ανακύπτει είναι η κατάλληλη επιλογή του κλώνου μέσα από τις χιλιάδες κλώνων, που να πληροί τις προϋποθέσεις προκειμένου να αποτελέσει φορέας κλωνοποίησης.

Οι φορείς κλωνοποίησης που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να έχουν απαραίτητα τα παρακάτω χαρακτηριστικά προκειμένου να επιλεγούν:

- 1) Ικανότητα για αυτόνομη αντιγραφή του DNA,
- 2) Ευκολία ανίχνευσής τους (αν φέρουν κάποιο γόνο μάρτυρα, όπως π.χ. ανθεκτικότητα σε κάποιο αντιβιοτικό), και
- 3) Δυνατότητα εύκολης κατασκευής του ανασυνδυασμένου μορίου.

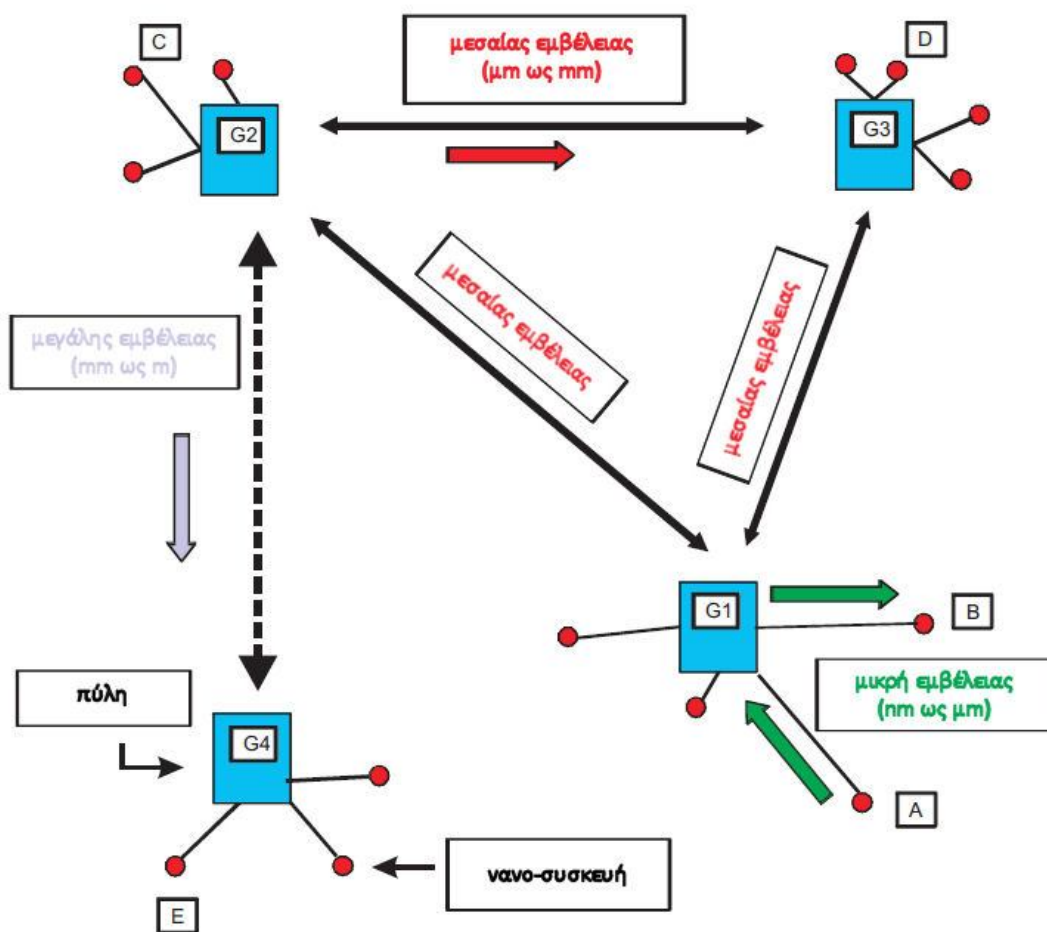
Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες φορέων είναι οι ακόλουθες:

**Πλασμίδια:** τα πλασμίδια είναι μικρές κυκλικές ακολουθίες DNA, με μήκος μεταξύ 5000 και 400000 ζευγαριών βάσης, έχουν την ικανότητα να πολλαπλασιάζονται σε πολλά (μέχρι 50) αντίγραφα ανά κύτταρο και περιέχουν σημαντικές γενετικές πληροφορίες για την ανάπτυξη του κυττάρου. Η πληροφορία αυτή είναι συνήθως ένα γονίδιο ανθεκτικότητας που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη έτσι ώστε το βακτήριο να είναι ανθεκτικό απέναντι σε ένα τουλάχιστον αντιβιοτικό (αμπικιλίνη, τετρακυκλίνη, καναμυκίνη και χλωραμφαινικόλη είναι τα πιο κοινά αντιβιοτικά), πράγμα που είναι απαραίτητο για τη φαινοτυπική διακύμανση των μετασχηματισμένων βακτηρίων-ξενιστών.

**Φάγοι:** οι βακτηριοφάγοι είναι είδη ιών, που είναι κατά πολύ μικρότεροι από τα βακτήρια (το μέγεθος των βακτηριοφάγων είναι μεταξύ 20nm και 200nm) και μπορούν να μολύνουν τα βακτήρια με το γενετικό τους υλικό. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι βακτηριοφάγοι φορείς είναι ο λ και ο M13. Και οι δυο πολλαπλασιάζουν το DNA τους σε υψηλά επίπεδα κατά τη μόλυνση του ξενιστή-βακτηρίου και παράγουν ιοειδή, τα οποία ελευθερώνονται στο θρεπτικό μέσο, κάνοντας έτσι τη συλλογή τους για την παρασκευή DNA ιδιαίτερα εύκολη. Η ικανότητά του να δέχεται μεγάλα ενθέματα τον κάνει ιδανικό για την κατασκευή γονιδιωματικών βιβλιοθηκών.

**Βακτηριδιακά Τεχνητά Χρωμοσώματα:** είναι τεχνητά κατασκευασμένα πλασμίδια σχεδιασμένα να κλωνοποιούν μακριές αλληλουχίες τμημάτων DNA.

### 4.3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΝΑΝΟΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΠΑΚΕΤΑ DNA



Σχήμα 4.4: Αρχιτεκτονική νανοδικτύου

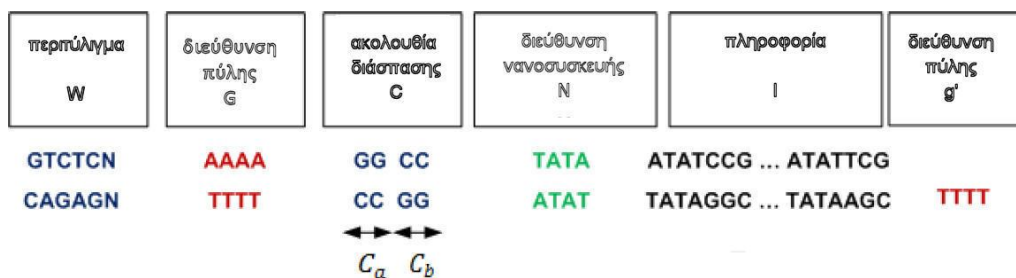
Η δομή της αρχιτεκτονικής ενός νανοδικτύου το οποίο υλοποιείται από πακέτα DNA φαίνεται στο σχήμα 4.4. Αποτελείται από κόμβους και φορείς, με τους κόμβους να επικοινωνούν ανταλλάσσοντας μόρια DNA, ενώ οι φορείς που λαμβάνουν αυτά τα μόρια DNA και κωδικοποιούν το μήνυμα από τον πομπό, κινούνται προς τον δέκτη και μεταφέρουν τα μόρια DNA. Οι κόμβοι και οι φορείς ενυπάρχουν σε ένα υγρό μέσο με άφθονες θρεπτικές ουσίες για αυτούς.

Η επικοινωνία μεταξύ των νανοσυσκευών πρέπει να γίνεται απρόσκοπτα ανεξάρτητα από την απόσταση μεταξύ τους. Όλες οι νανομηχανές αναπαρίστανται με μαύρες τελείες και είναι διασυνδεδεμένες μέσω ζεύξεων σημείου-προς-σημείο συγκεκριμένες πύλες, οι οποίες αναπαρίστανται ως τετράγωνα.

Σε αυτή τη ζεύξη, η επικοινωνία δεν πραγματοποιείται μέσω του δυαδικού αλφαβήτου όπως γίνεται στους υπολογιστές, αλλά μέσω ενός τεταρτοταγούς αλφαβήτου που

αποτελείται από τα νουκλεοτίδια του DNA , δηλαδή Αδενίνη (A), Θυμίνη (T), Κυτοσίνη(C) και Γουανίνη (G) που αποτελούν και τις βάσεις. Η πληροφορία που επιθυμεί να στείλει ο νανοπομπός εκφράζεται σαν ένα σύνολο ζευγαριών DNA, δηλαδή η πληροφορία στέλνεται ως ένα πακέτο DNA.

Αυτό το μεσαίας εμβέλειας πακέτο αποτελείται από διάφορες οντότητες που επιτρέπει στον κόμβο της πύλης να πολυπλέξει αρκετά DNA πακέτα μικρής εμβέλειας ώστε να τα συμπιέξει σε ένα DNA πακέτο μεσαίας εμβέλειας. Το DNA πακέτο μικρής εμβέλειας φαίνεται στο σχήμα 4.5.

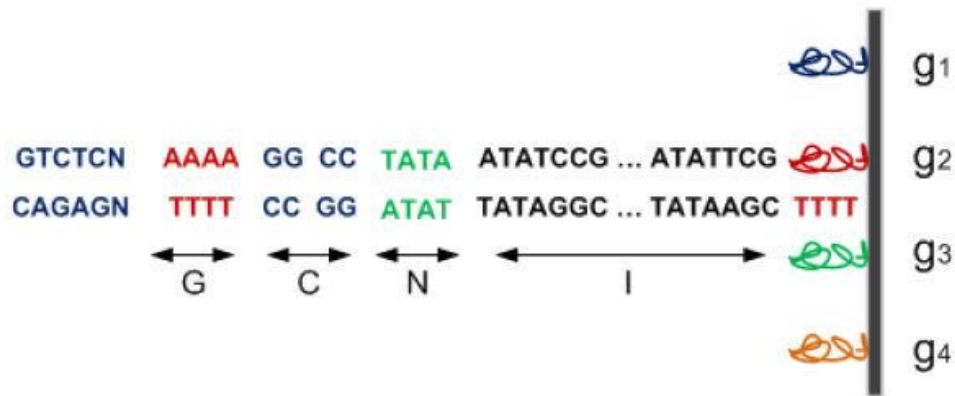


Σχήμα 4.5: Δομή ενός πακέτου DNA μικρής εμβέλειας

Κάθε οντότητα στα πακέτα χαρακτηρίζεται από ένα σύμβολο, για παράδειγμα το I υποδηλώνει την πληροφορία, όπου ο κεφαλαίος χαρακτήρας αντιπροσωπεύει τις δίκλωνες DNA ακολουθίες ενώ ο πεζός χαρακτήρας αντιπροσωπεύει τις μονόκλωνες. Επίσης, έστω ότι το g' ορίζεται ως ο συμπληρωματικός κλώνος του g.

Το πρώτο μπλοκ είναι το περιτύλιγμα γιατί κρύβει τη διεύθυνση της πύλης, που αποτελεί το δεύτερο μπλοκ προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παρεμβολές. Το τρίτο μπλοκ είναι η διαχωρισμένη ακολουθία που απαιτείται για την απόπλεξη της πληροφορίας. Τα μπλοκ που ακολουθούν είναι η διεύθυνση του νανο-δέκτη και της πληροφορίας. Τέλος, υπάρχει μια μονόκλωνη ακολουθία που κωδικοποιεί τη συζευγμένη διεύθυνση πύλης. Όλη η ακολουθία DNA εισέρχεται σε ένα κυστίδιο και μεταφέρεται στην πύλη του πομπού.

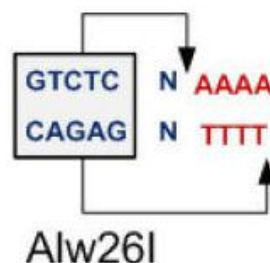
Μόλις η πληροφορία φτάσει στην πύλη του πομπού, αυτός θα καθορίσει τη θέση της πύλης του δέκτη. Στην περίπτωση που ο δέκτης είναι άμεσα συνδεδεμένος με την πύλη τότε το πακέτο θα ακολουθήσει τη ζεύξη σημείου-προς-σημείο. Σε διαφορετική περίπτωση, η πύλη θα πολυπλέξει την πληροφορία και θα τη στείλει στην πύλη του δέκτη.



Σχήμα 4.6: Προσάρτηση του πακέτου μικρής εμβέλειας στο DNA chip

Οι πύλες (G1,G2,G3 και G4) στο σχήμα 4.6 έχουν ένα DNA chip ή έναν μικρο-πίνακα που είναι μια στερεή επιφάνεια, για παράδειγμα σιλικόνη ή μέταλλο, που περιέχουν διατεταγμένους ιχνηθέτες DNA, δηλαδή ένα τμήμα DNA που χρησιμοποιείται για να βρει μια συγκεκριμένη ακολουθία νουκλεοτιδίων. Υπάρχουν τόσοι ιχνηθέτες όσες είναι και οι πύλες στο δίκτυο και κάθε ιχνηθέτης είναι μια μονόκλωνη ακολουθία που κωδικοποιεί τη διεύθυνση μιας συγκεκριμένης πύλης  $g_i$ .

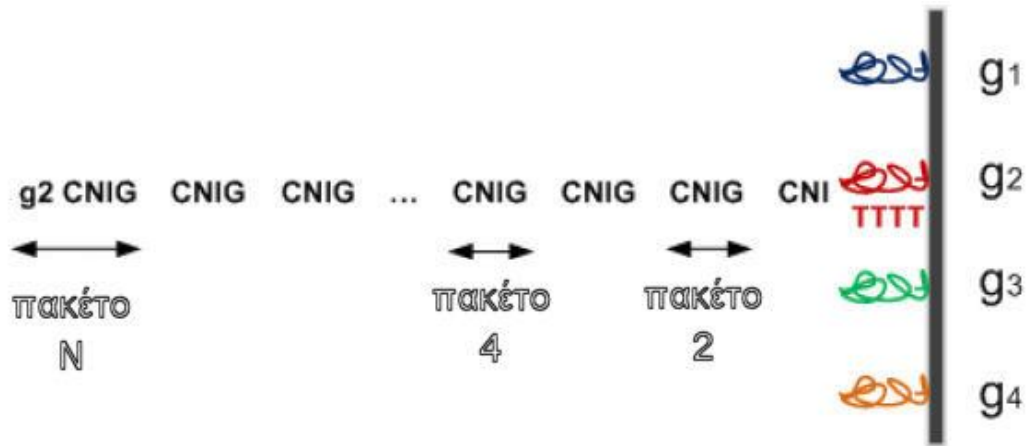
Το τελευταίο block του πακέτου DNA μικρής εμβέλειας,  $g'$ , είναι συζευγμένο με τον ιχνηθέτη έτσι ώστε το πακέτο να μπορεί προσδένεται στον συγκεκριμένο ιχνηθέτη του DNA chip και οι δυο κλώνοι μαζί να συνενώνονται με τη βοήθεια των DNA λιγάσεων, ένζυμα που έχουν την ικανότητα να συνδέουν κλώνους που έχουν σημεία ασυνέχειας σε μονόκλωνα μόρια DNA. Τότε ένα συγκεκριμένο ένζυμο περιορισμού χρησιμοποιείται για να ξετυλίξει τη διεύθυνση πύλης του πακέτου. Θα χρησιμοποιήσουμε ένα ένζυμο το οποίο να ανταποκρίνεται στο τεταρτοταγές αλφάβητο των πυλών (όπως είναι το ένζυμο Alw26I), όμως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα ένζυμα τα οποία θα ανταποκρίνονται σε άλλα μεγέθη διευθύνσεων.



Σχήμα 4.7: Τα ένζυμα περιορισμού ενδονουκλεάσας

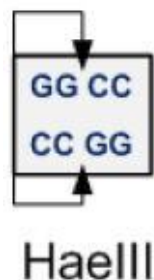
Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7 αυτό το ένζυμο αναγνωρίζει την ακολουθία στο κουτί και κόβει την ακολουθία του DNA όπως δείχνει το βέλος. Σαν αποτέλεσμα, το DNA chip

περιέχει ξανά τον αρχικό ιχνηθέτη στο οποίο κάποιο άλλο πακέτο που έχει την ίδια διεύθυνση πύλης να μπορεί να προσδεθεί. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με την πολυπλεξία αρκετών πακέτων μικρής εμβέλειας, μέχρι να συμπληρωθεί το επιθυμητό μήκος του πακέτου μεσαίας εμβέλειας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8: Δομή των πολυπλεχθέντων πακέτων

Το τελικό πακέτο μεταφέρεται στην πύλη του πομπού όπου εκεί αποπολυπλέκεται. Η διαδικασία της αποπολύπλεξης, που φαίνεται στο σχήμα 4.9, πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ενζύμου HaeIII που αναγνωρίζει την κομμένη ακολουθία C και την κόβει στη μέση.



Σχήμα 4.9: Διαδικασία της αποπολύπλεξης

Χρησιμοποιώντας αυτό το ένζυμο η πύλη μπορεί να ανακτήσει τα διαφορετικά πακέτα DNA μικρής εμβέλειας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.10. Τότε, τα πακέτα αυτά δρομολογούνται στις κατάλληλες ναομηχανές/δέκτες και στη συνέχεια μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα πρωτόκολλα και τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων.



$$\begin{array}{ll}
\text{πακέτο } n: & C_b N_n I_n G C_a \\
\text{πακέτο } n-1: & C_b N_{n-1} I_{n-1} G C_a \\
& \dots \\
\text{πακέτο } 2: & C_b N_2 I_2 G C_a \\
\text{πακέτο } 1: & C_b N_1 I_1 g'
\end{array}$$

Σχήμα 4.10: Δομή των αποπολυπλεχθέντων πακέτων της αποπολύπλεξης

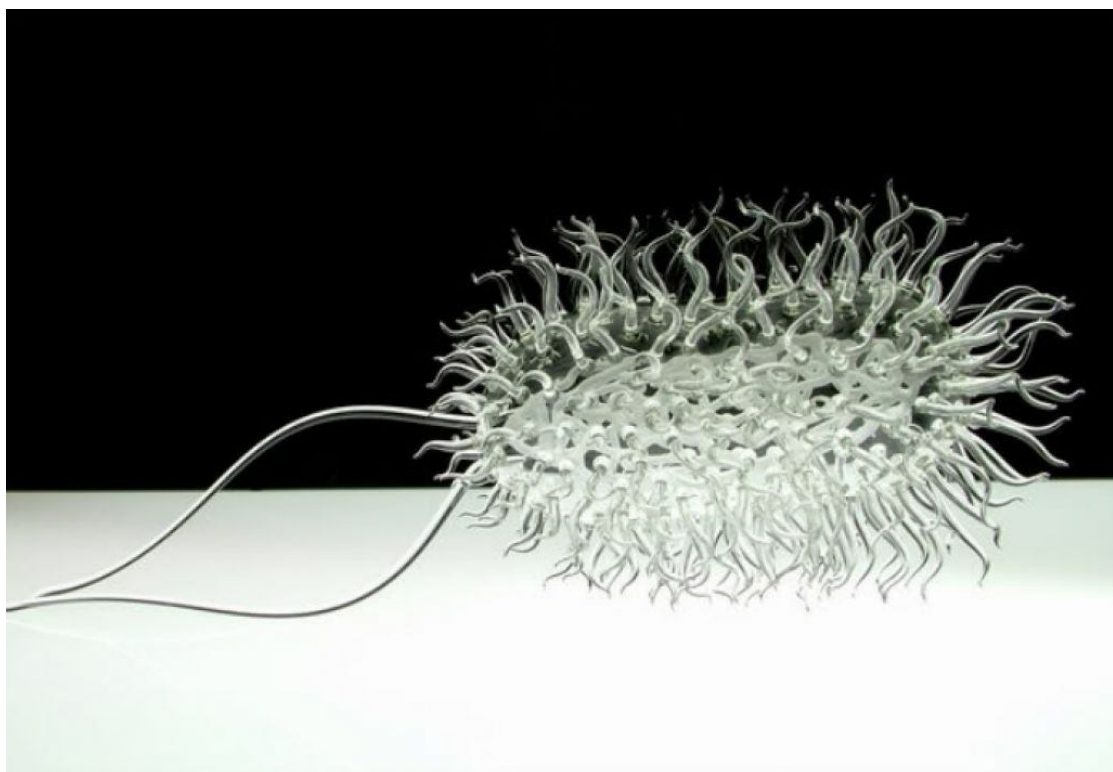
Επιπρόσθετα, θα υπάρχουν κάποιες πύλες που θα μπορούν να μεταδώσουν και να ανταλλάξουν πληροφορίες με τη χρήση τεχνικών για επικοινωνία σε μεγάλη εμβέλεια, για παράδειγμα οι πύλες G2 και G4 στο σχήμα 4.1..Συνεπώς, όταν απαιτείται επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας η πύλη του πομπού δρομολογεί την πληροφορία στον πιο κοντινό κόμβο που έχει την ικανότητα να την αποπέμψει περαιτέρω.

Οι πύλες συνιστούν βασικές οντότητες στην προταθείσα αρχιτεκτονική. Οι κόμβοι αυτοί θα αποτελούνται από διαφορετικές δομές που είναι ήδη υπάρχουσες στη φύση κι επίσης από μια υπολογιστική μονάδα που επιτρέπει στην πύλη να συμπεριφέρεται σαν ένα υπολογιστής ή αυτόματο DNA. Οι υπολογιστές DNA είναι αυτόνομες και προγραμματιζόμενες συσκευές στις οποίες οι είσοδοι, οι έξοδοι, το λογισμικό και το υλικό αποτελούνται από βιολογικά μόρια.

Προς την κατεύθυνση αυτή αναπτύσσεται παρακάτω το πώς η χρήση βακτηρίων με μαστίγια μπορεί να βοηθήσει στην επικοινωνίας μεσαίας εμβέλειας.

## 4.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΣΑΙΑΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΜΑΣΤΙΓΙΑ

Τα βακτήρια υπάρχουν για δισεκατομμύρια χρόνια και έχουν αναπτύξει μεθόδους και τεχνικές κατάλληλες που τους επιτρέπουν να μετατρέπουν αποδοτικά τη χημική τους ενέργεια σε κίνηση. Από τα πιο σημαντικά κι ευρέως μελετημένα βακτήρια είναι το προκαρυωτικό κολοβακτηρίδιο *Escherichia coli* (*E. coli*). Κατέχει σημαντική θέση στην μοντέρνα γενετική μηχανική και βιομηχανική μικροβιολογία μιας και αποτελεί έναν ποικιλόμορφο ξενιστή που κατά πολύ μεγάλο μέρος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ανασυνδυασμένου DNA.



Σχήμα 4.11: Απεικόνιση του *Escherichia coli*

Το *E. coli* είναι περίπου 2μm μακρύ και 1μm σε διάμετρο και συνήθως είναι ένα ανενεργό βακτήριο που ζει στο εσωτερικό του ανθρώπινου εντερικού σωλήνα. Έχει γύρω στα 4 με 10 μαστίγια, τα οποία κινούνται μέσω περιστροφικών κινητήρων, βρίσκονται πάνω στην κυτταρική μεμβράνη και πυροδοτούνται από χημικές ουσίες. Τα μαστίγια βοηθούν το βακτήριο να κινείται χωρίς εξωτερική ώθηση ή βοήθεια σε υγρό μέσο. Πέρα από τα μαστίγια, το *E. coli* έχει αρκετά προσαρτήματα, τις βλεφαρίδες, καταναμημένα γύρω από την εξωτερική του μεμβράνη που του επιτρέπουν να συνδέεται

με άλλα κύτταρα κατά τέτοιον τρόπο ώστε να ανταλλάσει γενετικό υλικό, μέσω μιας κυτταρικής διαδικασίας που ονομάζεται κυτταρική σύζευξη.

Τα βακτήρια ορίζουν έναν ομοιόμορφο πληθυσμό που εκτείνεται σε όλο το μέσο επικοινωνίας. Ο πληθυσμός τους διατηρεί ομοιόμορφη πυκνότητα, ωστόσο κάποιες μεταλλάξεις μπορούν να λάβουν χώρα, με την έννοια ότι τα βακτήρια ως φορείς θα αποκλίνουν από την αναμενόμενη συμπεριφορά τους. Οι μεταλλάξεις είναι μεν σπάνιες, αλλά σε έναν μεγάλο πληθυσμό θα συμβούν, γεγονός το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την ανάπτυξη του δικτύου.

Τα βακτήρια, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται χημειοτακτισμός, χρησιμοποιούν τους χημικούς αισθητήρες τους τη συγκέντρωση συγκεκριμένων σωματιδίων και κολυμπούν προς υψηλές συγκεντρώσεις από ευεργετικά σωματίδια, τα οποία ονομάζονται προσελκυστικά.

Το *E. coli* μπορεί και αναγνωρίζει 12 προσελκυστικά χρησιμοποιώντας διαφορετικούς χημικούς αισθητήρες που προκαλούν διαφορετικές χημειοτακτικές αποκρίσεις. Αυτό σημαίνει ότι τα βακτήρια μπορούν να κατευθυνθούν προς συγκεκριμένους κόμβους που αναδίδουν ένα συγκεκριμένο προσελκυστικό. Επειδή διαφορετικά προσελκυστικά μπορεί να προκαλέσουν μια χημειοτακτική απόκριση διαφορετικού μεγέθους από διαφορετικά βακτήρια, θα πρέπει επιλεκτικά να επιλέξουμε συγκεκριμένα γένη βακτηρίων.

Το νουκλεοειδές του περιέχει μόνο ένα κυκλικό μόριο DNA και στο κυτταρόπλασμα του υπάρχουν κάποιες μικρότερες DNA ακολουθίες κατανεμημένες σε κυκλική μορφή. Αυτές οι κυκλικές ακολουθίες του DNA είναι τα λεγόμενα πλασμίδια που θα χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση της πληροφορίας που θέλουμε να μεταδοθεί στο εσωτερικό του βακτηρίου.

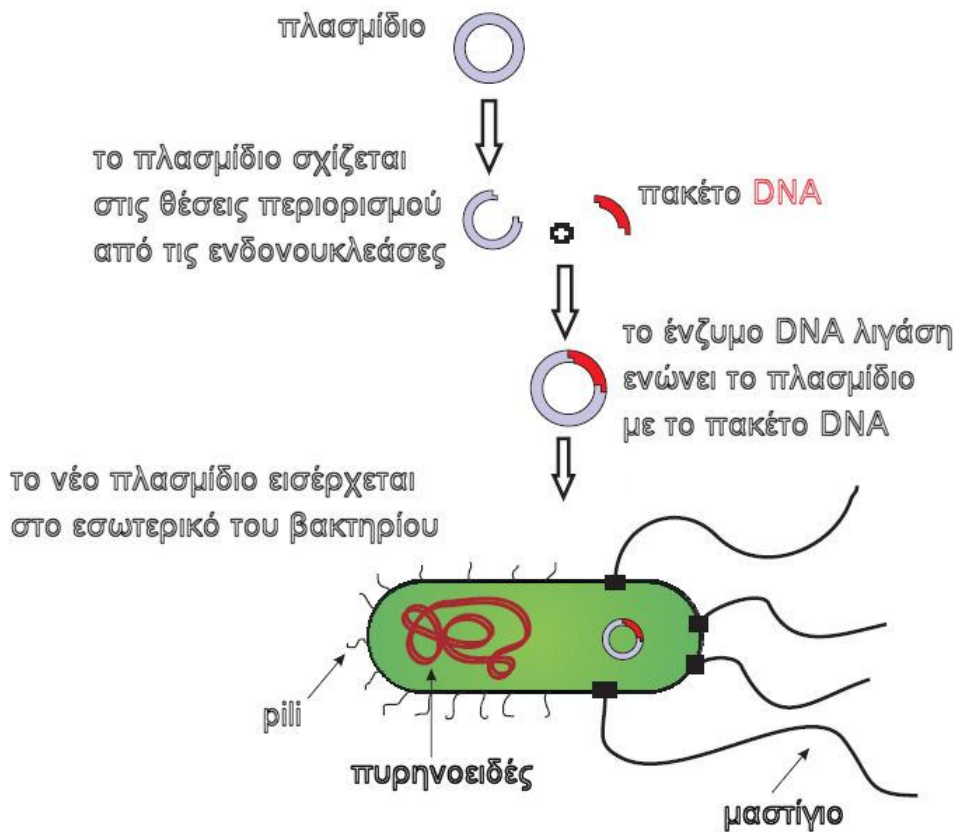
Ο σκοπός της επιλογής του *E. coli* ως φορέας είναι να μεταφέρει μηνύματα DNA στους κατάλληλους αποδέκτες. Αφενός θα πρέπει να επιλεγεί ένας κατάλληλος τύπος βακτηρίου που να ελκύεται από τις οντότητες που θέλουμε, και αφετέρου το μήνυμα DNA θα πρέπει να εισαχθεί μέσα στο κυτταρόπλασμα. Τότε, το βακτήριο απελευθερώνεται στο περιβάλλον, θα ακολουθήσει τα ένστικτά του και θα κινηθεί προς τον κατάλληλο υποδοχέα, ο οποίος θα απελευθερώνει διαρκώς σωματίδια στο περιβάλλον, τα οποία θα ελκύουν το βακτήριο.

### 4.3.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Κατά την κωδικοποίηση το πακέτα DNA που μεταφέρει την πληροφορία εισέρχεται μέσα στο κυτταρόπλασμα του βακτηρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω διαφορετικών

γενετικών μηχανισμών, όπως είναι τα πλασμίδια, οι βακτηριοφάγοι ή τα βακτηριδιακά συνθετικά χρωμοσώματα (Bacterial Artificial Chromosomes – BAC).

#### 4.3.1.1 ΜΕ ΠΛΑΣΜΙΔΙΑ



Σχήμα 4.12: Κωδικοποίηση του πακέτου DNA με τη χρήση πλασμιδίων

Η κωδικοποίηση του πακέτου DNA ακολουθεί τα εξής βήματα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.12. Αρχικά, το πλασμίδιο τμηματίζεται στις θέσεις περιορισμού από τις ενδονουκλεάσες. Στη συνέχεια, προστίθεται στην ακολουθία το πακέτο DNA που περιέχει την επιθυμητή πληροφορία και συνδέεται με το πλασμίδιο με τη βοήθεια του ενζύμου DNA λιγάση. Τελικά, το πλασμίδιο εισέρχεται στο κυτταρόπλασμα του βακτηρίου χρησιμοποιώντας έναν από τους ακόλουθους μετασχηματισμούς:

❖ κατά τον ηλεκτρομετασχηματισμό εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα πάνω στην επιφάνεια του κυττάρου το οποίο δημιουργεί στιγμιαίους πόρους στη μεμβράνη του κυττάρου μέσω της παροδικής αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και επιτρεπτότητας της πλασματικής μεμβράνης.

❖ κατά τον μετασχηματισμό πλασμιδίων, εφαρμόζεται χλωριούχο ασβέστιο (CaCl<sub>2</sub>) ή άλλα άλατα από κατιόντα μετάλλων στα κύτταρα του βακτηρίου ώστε να μπορέσει να περάσει το εξωγενές DNA στο εσωτερικό του κυττάρου.

Τα πλασμίδια έχουν την ικανότητα να αυτο-αντιγράφονται και να μεταφέρονται μόνα τους σε νέα βακτήρια. Τα πλασμίδια μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 1.6 mbp (mega base pairs) σε μήκος και χωρίζονται σε τρία μέρη, την περιοχή μεταφοράς, την περιοχή δρομολόγησης και την περιοχή μηνύματος. Οι περιοχές μεταφοράς και δρομολόγησης συνιστούν το ενεργό τμήμα του πλασμιδίου, δηλαδή το μέρος όπου εκφράζεται ως βιολογικές οδηγίες.

(1) Η περιοχή μεταφοράς: έχει μήκος 33kbp (kilo base pairs) και περιέχει τα γονίδια και τις δομές που είναι αναγκαίες για την αντιγραφή τους και τη μετάδοση του πλασμιδίου.

(2) Η περιοχή δρομολόγησης: περιέχει το σύνολο των γονιδίων που εκφράζουν τις διαφορές στη συμπεριφορά μεταξύ των άδειων βακτηρίων, δηλαδή χωρίς να έχουν δεδομένα να μεταφέρουν, και των βακτηρίων που φέρουν το μήνυμα DNA. Τα γονίδια αυτά κωδικοποιούν νέες πρωτεΐνες ή αναστέλλουν γονίδια στο DNA του βακτηρίου για τους ακόλουθους λόγους:

❖ Απενεργοποίηση του χημειοτακτισμού προς τους πομπούς.

❖ Ενεργοποίηση του χημειοτακτισμού προς τους δέκτες, χρησιμοποιώντας μια ειδική πρωτεΐνη που θέτει σε λειτουργία το φαινόμενο του χημειοτακτισμού προς έναν συγκεκριμένο δέκτη. Η πρωτεΐνη αυτή αποτελεί τη φυσική διεύθυνση του μηνύματος.

❖ Αναστέλλουν την αναπαραγωγή του βακτηρίου, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο εκθετικός πολλαπλασιασμός του μηνύματος, προκειμένου να μην υπερφορτωθεί ο δέκτης.

❖ Ενεργοποιούν τον προγραμματιζόμενο τερματισμό, για να μην μεταδοθούν μηνύματα τα οποία θα μπορούσαν να έχουν συσσωρευτεί κάνοντας τα βακτήρια να «αυτοκτονήσουν» κάποιο συγκεκριμένο χρόνο μετά τη λήψη των πλασμιδίων.

Το μέγεθος της περιοχής δρομολόγησης αναμένεται να είναι της τάξης μεγέθους της περιοχής μεταφοράς, για παράδειγμα δεκάδες kbp.

(3) Η περιοχή του μηνύματος: περιέχει τη διεύθυνση δικτύου του προορισμού και το κυρίως σώμα μηνύματος, που καταλαμβάνει το περισσότερο μήκος του πλασμιδίου.

Η κωδικοποίηση όμως μιας αυθαίρετης ακολουθίας DNA στο πλασμίδιο, καθώς αφού εισαχθεί στο βακτήριο, μπορεί να οδηγήσει στη σύνθεση πρωτεϊνών που τυχόν να παρεμβάλλουν με τη μεταφορά του μηνύματος. Για να το αποφύγουμε, απενεργοποιούμε την έκφραση του μηνύματος κωδικοποιώντας σε ανενεργό DNA, με πιθανό όμως κόστος τη μείωση των διαθέσιμων bits ανά ζευγάρι βάσης.

Ένας τρόπος για να ανασταλθεί η έκφραση του DNA είναι να αποφύγουμε τις ακολουθίες εκείνες του DNA που διευκολύνουν τη μεταγραφή ενός συγκεκριμένου γονιδίου.

#### 4.3.1.2 ΜΕ ΒΑΚΤΗΡΙΟΦΑΓΟΥΣ

Οι φάγοι είναι μια ειδική κατηγορία ιών που μπορούν να μολύνουν τα βακτήρια με το γενετικό τους υλικό και να βοηθήσουν προκειμένου να κωδικοποιηθεί η μοριακή πληροφορία στο εσωτερικό του βακτηρίου. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί βακτηριοφάγοι λ και μπορούν να χωριστούν μέσω των ενδονουκλεάσεων σε τρία τμήματα όπου δύο εκ των τμημάτων περιέχουν το βασικό γονίδιο των φάγων, ενώ το άλλο μπορεί να αντικατασταθεί με το DNA που φέρει την πληροφορία.

#### 4.3.1.3 ΜΕ ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑΚΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΑ (BACS)

Η διαδικασία είναι ίδια με αυτή των πλασμιδίων, ωστόσο επειδή τα BACs αποτελούνται από μεγάλες ακολουθίες DNA θα πρέπει το βακτήριο να αλλοιωθεί γενετικά ώστε να επιτραπεί η είσοδός τους μέσα στη μεμβράνη.

Σε κάθε περίπτωση, για την υλοποίηση του δικτύου θα πρέπει να δημιουργηθούν βιβλιοθήκες του *E. coli* όπου το κάθε βακτήριο θα έχει διαφορετική προκαθορισμένη κωδικοποιημένη πληροφορία, διαφορετικά δηλαδή πακέτα DNA. Τα βακτήρια θα είναι αποθηκευμένα σε κάθε πύλη, σαν ένα είδος αποθήκης, και κάθε βακτήριο θα είναι ανθεκτικό σε ένα συγκεκριμένο αντιβιοτικό έτσι ώστε να γίνει η σωστή επιλογή του βακτηρίου.

Εφαρμόζοντας το αντιβιοτικό σε ένα μικρό τμήμα των βακτηρίων, τότε η πύλη θα επιλέξει και θα απελευθερώσει το επιθυμητό βακτήριο το οποίο περιέχει την επιθυμητή πληροφορία κωδικοποιημένη σε DNA στο μέσο όπου απαιτείται. Το αντιβιοτικό παρέχει μια επιλεκτική πίεση, το οποίο σημαίνει ότι τα βακτήρια με τα πλασμίδια θα αρχίσουν να αναπτύσσονται στην περιοχή όπου έχει επιδράσει το αντιβιοτικό. Νέα βακτήρια θα αρχίσουν να δημιουργούνται συνέχεια, δηλαδή τα πλασμίδια θα αναπαράγονται διαρκώς και συνεπώς οι αποθήκες πρακτικά δεν μπορούν να αδειάσουν.

### 4.3.2 ΔΙΑΔΟΣΗ

Κατά τη διάδοση, ο φορέας, δηλαδή το βακτήριο, κολυμπά ξεκινώντας από την πύλη του πομπού προς αυτή του δέκτη χρησιμοποιώντας τη διαδικασία του χημειοτακτισμού.

Χρησιμοποιώντας τους χημικούς υποδοχείς που έχει πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης ο φορέας ανιχνεύει τα επίπεδα συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών (ζάχαρη, αμινοξέα, διπεπτίδια) του περιβάλλοντος αρκετές φορές και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μπορεί να αποφασίσει αν η συγκέντρωση αυξάνεται ή μειώνεται. Αν η συγκέντρωση αυξάνεται ο χρόνος διάδοσης είναι μεγαλύτερος, δίνοντας το περιθώριο στα κύτταρα να εντοπίσουν τα μέρη όπου το περιβάλλον είναι καλύτερο.

Η χρονική καθυστέρηση περιορίζεται από τον προγραμματισμένο θάνατο του πλασμιδίου TTL (Time-To-Live). Όταν κάποιο μήνυμα δε ληφθεί μετά από κάποιον συγκεκριμένο χρόνο, τότε μπορεί να θεωρηθεί απολεσθέν, καθώς το βακτήριο που το ενέχει θα πεθάνει. Η μεμβράνη του φορέα σπάει και χάνεται στο μέσο, ενώ το εναπομείναν πλασμίδιο κείται ανενεργό στο περιβάλλον μέχρι κάποιος άλλος φορέας να το ενσωματώσει μέσα του μέσω κάποιου μετασχηματισμού.

### 4.3.3 ΑΠΟΘΥΛΑΚΩΣΗ

Οι φορείς ακολουθώντας τα προσελκυστικά φτάνουν στην εκάστοτε πύλη και της μεταφέρουν τα πλασμίδια, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται βακτηριακή σύζευξη. Προκειμένου λοιπόν να γίνει η ανταλλαγή του γενετικού υλικού μεταξύ φορέα και πύλης απαιτείται απευθείας επαφή, η οποία πραγματοποιείται μέσω των εξωτερικών προσαρτήσεων που έχουν και ονομάζονται βλεφαρίδες. Αυτή η επαφή κάνει και τις δύο μεμβράνες να συνενώνονται, σε ένα είδος γέφυρας όπου το βακτήριο-δότης μεταφέρει το πλασμίδιο.

### 4.3.4 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Μόλις το μήνυμα αποθυλακωθεί, η πύλη ελέγχει τη διεύθυνση δικτύου προορισμού. Αν ταιριάζει με την τοπική διεύθυνση δικτύου, τότε αποκωδικοποιείται. Σε αντίθετη περίπτωση η διεύθυνση προορισμού του μηνύματος αντικαθίσταται από τη διεύθυνση του τοπικού πίνακα δρομολόγησης και το πλασμίδιο ξαναστέλνεται.

Κατά την αποκωδικοποίηση το πακέτο DNA πρέπει να εξαχθεί από το πλασμίδιο μέσω των περιοριστικών ενδονουκλεάσεων που σχίζουν το πλασμίδιο στις θέσεις περιορισμού. Οι υπολογιστές DNA μπορούν να διαχωρίσουν διαφορετικές ακολουθίες DNA βάση του μήκους τους και επιτρέπει στην πύλη να ανακτήσει το DNA πακέτο και στη συνέχεια να το επεξεργαστεί κατάλληλα.

## 4.4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΑΚΡΑΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΕΡΟΜΟΝΩΝ

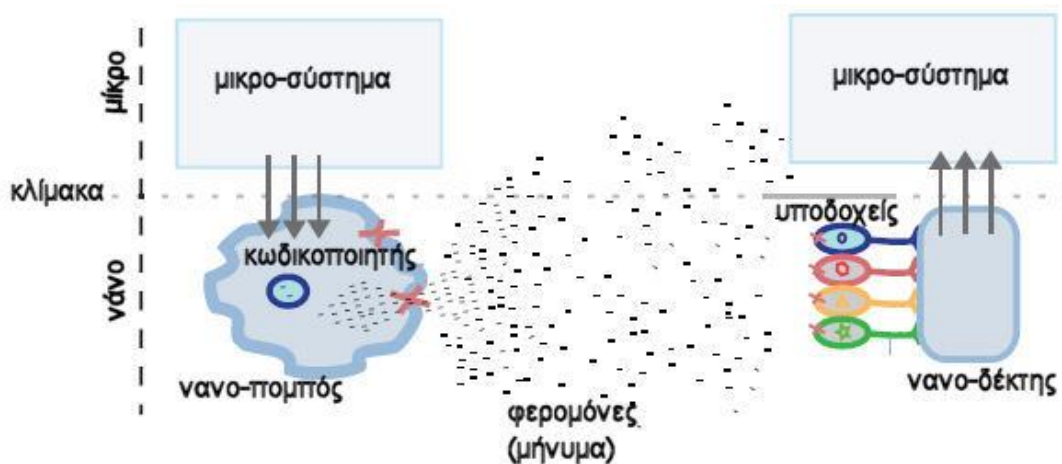
Η επικοινωνία σε μεγάλο εύρος αναφέρεται σε διαδικασίες όπου η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη εκτείνεται από χιλιοστά μετρη μέχρι χιλιόμετρα. Η υλοποίηση αυτού του τρόπου επικοινωνίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές όπου η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ναυσοσκευών σε μεγάλες αποστάσεις είναι απαραίτητη, όπως πχ σε στρατιωτικές εφαρμογές ή στον περιβαλλοντικό έλεγχο, και εμπνέεται από υπάρχουσα βιολογικά συστήματα.

Οι φερομόνες είναι μόρια χημικής σύστασης που περιέχουν πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να αποκωδικοποιηθούν μόνο από συγκεκριμένους αποδέκτες και επιφέρουν συγκεκριμένη αντίδραση σε αυτούς. Συναντάται στη φύση για την ανταλλαγή μηνυμάτων μόνο μεταξύ μελών του ίδιου είδους. Η χρήση φερομόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χτιστούν πολύπλοκα δίκτυα που περιλαμβάνει χρήστες που αλληλεπιδρούν μεταξύ επιπέδου μικρο και μακρο.

Η πληροφορία είναι κωδικοποιημένη σε μόρια και γίνεται αποδεκτή από οντότητες που βρίσκονται στον μακρόκοσμο, πχ θηλαστικά, έντομα και στο φυσικό κόσμο χρησιμοποιούνται ως μηνύματα για αναπαραγωγή, συναγερμό σε περίπτωση κινδύνου, για να προσελκύσουν το ταίρι τους, για να προσανατολιστούν κ.ά. . Εφόσον τα μηνύματα αποτελούνται από μόρια, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός συνδυασμών για να μεταδοθούν τα δεδομένα. Επιπλέον, τα μηνύματα μπορούν να αποτελούνται από διαφορετικά είδη μορίων δίνοντας έτσι παραπάνω συνδυασμούς για να κωδικοποιηθεί η πληροφορία.

Η λήψη των μεταφερόμενων μορίων γίνεται μέσω μοριακών υποδοχέων που βρίσκονται πάνω στον δέκτη, και το φαινόμενο πραγματοποιείται βάση της σύνδεσης προσδέματος-υποδοχέα. Το πρόσδεμα συνδέεται με τον υποδοχέα, το ρόλο του οποίου διαδραματίζει μία κεραία ή ένας μεταγωγέας που μετατρέπει την ενέργεια που περιέχεται στο μήνυμα σε μια δράση στον δέκτη. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 4.13.





Σχήμα 4.13: Επικοινωνία με χρήση φερομονών

Η επικοινωνία μέσω φερομονών βασίζεται στην απελευθέρωση μορίων που μπορούν να εντοπιστούν από έναν αποδέκτη. Το κανάλι επικοινωνίας δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν ντετερμινιστικό ούτε σαν φυσική σύνδεση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, για αυτό και η διάχυση, η ροή και η συγκέντρωση του μέσου κατέχει σημαντικό κομμάτι στην όλη διαδικασία. Άπαξ και τα μόρια απελευθερωθούν στο μέσο μπορούν να επηρεαστούν από αρκετούς παράγοντες, όπως είναι η διασπορά, η θερμοκρασία, η ροή του μέσου αλλά και από άλλες ανταγωνιστικές ουσίες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν σαν πηγές θορύβου και επηρεάζουν την αξιοπιστία της μετάδοσης.

Κάθε είδος φερομόνης είναι χαρακτηριστικό ενός συγκεκριμένου είδους και μονομορφικά συνδεδεμένη με ένα συγκεκριμένο μήνυμα. Έτσι καθίσταται δυνατό να υπάρχουν κανάλια επικοινωνίας που να μην επηρεάζονται από παρεμβολές μεταξύ τους.

Η ποικιλία αυτή μπορεί να υλοποιηθεί για την επικοινωνία μεταξύ των νανοσυσκευών. Από τη μία, μέσω της διαβίβασης και λήψης διαφορετικών φερομονών μπορούμε να δημιουργήσουμε κανάλια όπου το κάθε ένα χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο φερομονών, ώστε να μην παρεμβάλλει ο ένας με τον άλλον. Από την άλλη, η χρήση διαφορετικών τύπων φερομονών μπορεί να λάβει χώρα σε ένα μόνο κανάλι, όπου κάθε τύπος ανατίθεται σε μία λογική ακολουθία ή σε συγκεκριμένο μήνυμα, αυξάνοντας έτσι την πληροφορία που ενέχεται στα αποπεμφθέντα μόρια φερομονών.

Προκειμένου για τη δημιουργία διαφορετικών μη-παρεμβαλλομένων καναλιών, η πληροφορία θα πρέπει να κωδικοποιηθεί είτε σε πλάτος είτε σε συχνότητα, μεταβάλλοντας τη συγκέντρωση της συγκεκριμένης φερομόνης στο μέσο και η

νανοσυσκευή λήψης θα πρέπει να έχει κάποιον υποδοχέα ικανό να αναγνωρίσει τον συγκεκριμένο τύπο φερομόνης.

Στην περίπτωση που αυξάνουμε τον αριθμό των διαφορετικών μορίων (δηλαδή τη χωρητικότητα του καναλιού που μπορούν να μεταβιβαστούν σε ένα κανάλι προκειμένου να αυξήσουμε το μέγεθος του αλφάβητου, το είδος των σταθθέντων μορίων έχει μεγαλύτερη σημασία από τη διαμόρφωση. Για την υλοποίηση αυτού του σεναρίου ο πομπός θα πρέπει να μπορεί να απελευθερώνει διαφορετικές φερομόνες, ενώ ο δέκτης πρέπει να έχει προσαρτημένους αρκετούς υποδοχείς ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει όλους τους πιθανούς τύπους φερομονών.

Έτσι η απόδοση της πληροφορίας αυξάνεται, αφού η πληροφορία που συνδέεται με κάθε ληφθέν μόριο αυξάνεται επίσης. Αν θεωρήσουμε λοιπόν ότι για κάθε φερομόνη έχουμε δύο καταστάσεις, μία στην περίπτωση που έχει απελευθερωθεί και μία στην περίπτωση που δεν έχει απελευθερωθεί, τότε ο αριθμός των μηνυμάτων που μπορεί να μεταδοθεί είναι  $2^n$ , όπου  $n$  είναι ο αριθμός των διαφορετικών τύπων φερομονών. Εφόσον, ο δέκτης είναι εξοπλισμένος με έναν συγκεκριμένο ανιχνευτή για κάθε τύπο φερομόνης, τα επιμέρους στοιχεία του μηνύματος (διαφορετικοί τύποι φερομονών) είναι ορθογωνικά και δεν επιδρά το ένα με το άλλο.

Ένας συνδυασμός των δύο διαφορετικών μεθόδων είναι επίσης εφικτός, καθώς υλοποιεί και βελτιστοποιεί απόλυτα την ποικιλομορφία που προσφέρουν οι φερομόνες. Έστω λοιπόν, ένα συγκεκριμένο υποσύνολο φερομονών,  $S_1$ , το οποίο αποδίδεται στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι μεταξύ του πομπού και του δέκτη και ένα άλλο υποσύνολο  $S_2$ , (όπου  $S_1 \cap S_2 = \emptyset$ ) το οποίο αποδίδεται σε ένα άλλο κανάλι το οποίο πιθανώς να αφορά δύο διαφορετικές νανο-συσκευές. Συνεπώς, ο πομπός και ο δέκτης μπορούν να κωδικοποιούν την πληροφορία σε παραπάνω από ένα είδος φερομονών, αλλά χωρίς να παρεμβάλλονται στην επικοινωνία άλλων νανοσυσκευών.

Για την κωδικοποίηση των φερομονών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένζυμα υποβάθμισης τα οποία θα μειώνουν τη ζωή των φερομονών, εξασθενώντας έτσι το σήμα φερομόνης ως συνάρτηση του χρόνου. Μεταβάλλοντας το χρόνο ζωής των φερομονών θα προσφέρει παραπάνω βαθμούς ελευθερίας στο ασύρματο μοριακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

Με τη χρήση αυτών των ενζύμων, εμφανίζονται μηχανισμοί προτεραιότητας. Για παράδειγμα, έστω δύο νανο-συσκευές  $A$ ,  $B$  που θέλουν και οι δυο να εκπέμψουν προς έναν υποδοχέα  $R$ . Κάθε μία από αυτές χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο φερομονών και προσπαθούν να μεταδώσουν ένα κομμάτι πληροφορίας στον ίδιο υποδοχέα  $R$ . Αν και οι δυο εφαρμόσουν διαφορετικά ένζυμα στα μόρια που θέλουν να στείλουν, τότε ο

υποδοχέας δέχεται δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις των δύο τύπων φερομονών, ανάλογα με το αν το ένζυμο υποβάθμισης δρα γρηγορότερα ή όχι.

Αν λόγω χάρη, η ναοσυσσκευή A εφαρμόσει ένα ένζυμο υποβάθμισης  $d_1$  mol/s στα μόρια που μεταδίδει και η ναοσυσσκευή B χρησιμοποιήσει ένα ένζυμο υποβάθμισης  $d_2$  mol/s, όπου  $d_2 > d_1$  τότε η συγκέντρωση των μορίων της A στον R θα είναι υψηλότερη από αυτή της B. Τότε ο δέκτης μπορεί να αποδώσει διαφορετική προτεραιότητα ανάλογα με τις τιμές συγκεντρώσεως του κάθε τύπου φερομόνης. Ανάλογα με το επιλεχθέν πρωτόκολλο, ο υποδοχέας μπορεί να επιλέξει να επεξεργαστεί το πιο αδύναμο σήμα ή το σήμα με την υψηλή συγκέντρωση. Επίσης, είναι δυνατό να τεθεί ένα κατώφλι κάτω του οποίου οποιοδήποτε σήμα ληφθεί, να απορριφθεί.

Άλλη μία χρήση για τα ένζυμα υποβιβασμού είναι η υλοποίηση ενός μηχανισμού παρόμοιου με αυτού του TTL (time-to-live) που χρησιμοποιείται ήδη στις συμβατικές επικοινωνίες. Το TTL διαβεβαιώνει ότι το ένα συγκεκριμένο πακέτο θα φτάσει στον προορισμό του πριν την εκπνοή ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος. Στην περίπτωση ενός δικτύου με φερομόνες, η εφαρμογή των ενζύμων θα υποβάθμιζε τη συγκέντρωση σε ένα ρυθμό που θα εξαρτάται από το συγκεκριμένο ένζυμο. Καθώς ο ναο-πομπός αποπέμπει τις φερομόνες ισοτροπικά, το χαρακτηριστικό TTL θα μπορούσε να εφαρμοστεί για να αποτραπούν διάφορα προβλήματα δικτύου, για παράδειγμα να ελέγξει τις αναμεταδόσεις των μηνυμάτων, αποφεύγοντας έτσι την πλημμύρα του δικτύου, ή ακόμα να ελέγξει τον αριθμό των ενδιάμεσων αλμάτων μέχρι τον τελικό προορισμό.

Επίσης, η χρήση των ενζύμων υποβάθμισης μπορεί να μας δώσει μια εκτίμηση για την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Μία ναοσυσσκευή θα εφαρμόσει το ένζυμο στις φερομόνες που στέλνει ώστε να φτάσει στον επιθυμητό προορισμό με συγκέντρωση μικρότερη από αυτές που θα έχουν οι κοντινότεροι προς αυτήν ναο-πομποί. Γνωρίζοντας το είδος του ενζύμου που εφαρμόστηκε καθώς και τη μοριακή συγκέντρωση της ναοσυσσκευής μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση που θέλουμε.

Ακολουθούν τα βασικά στάδια επικοινωνίας με φερομόνες.

#### 4.4.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την επιλογή συγκεκριμένων φερομόνων ή καταλλήλων μορίων για να μεταδώσουν την πληροφορία και να προκαλέσουν την επιθυμητή αντίδραση στον αποδέκτη. Το μήνυμα που απελευθερώνεται δεν είναι ένα μια απλή οντότητα αλλά μια σύνθετη μοριακή δομή που αποτελείται από διαφορετικά χημικά στοιχεία.

#### 4.4.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την απελευθέρωση των επιλεγμένων φερομόνων στο μέσο. Εφόσον οι φερομόνες μπορούν να απελευθερωθούν στο μέσο μέσω φυσιολογικών ρευστών, τότε τα μοριακά μηνύματα μπορεί να είναι υγρά ή αέρια. Η μετάδοση της πληροφορίας θα πρέπει να εκούσια, αλλιώς δε θεωρείται μήνυμα πληροφορίας. (Για παράδειγμα οι οσμές μπορεί να περιέχουν πληροφορία και να πυροδοτούν συγκεκριμένη συμπεριφορά στους δέκτες αλλά συνήθως μεταδίδονται ακούσια και για αυτό δεν μπορούν να θεωρηθούν παράδειγμα νανο-τηλεπικοινωνιακής κίνησης).

#### 4.4.3 ΔΙΑΔΟΣΗ

Η διάδοση των φερομόνων από τον πομπό μέχρι το δέκτη μπορεί να μοντελοποιηθεί βάσει διαδικασιών διάχυσης, όπου κάθε μόρια υπόκειται στην κίνηση Brown. Η διάχυση των μορίων είναι πολύ ευαίσθητη σε περιβαλλοντικές συνθήκες (όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση, το ιξώδες) ενώ ανταγωνιστικά μόρια που βρίσκονται στο μέσο μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τα μόρια πληροφορίας πριν φτάσουν στον προορισμό τους.

#### 4.4.4 ΛΗΨΗ

Αφού το μήνυμα φτάσει στον παραλήπτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποδοχείς πρωτεΐνης προκειμένου να εξαχθούν τα μόρια πληροφορίας από τους μεταφορείς. Οι υποδοχείς αυτοί βρίσκονται στη φυσική επιφάνεια του δέκτη και έχουν υψηλή μοριακή συγγένεια με τα μηνύματα φερομόνης ώστε να δεθούν με αυτά. Με τη μέτρηση

#### 4.4.5 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στην ερμηνεία της πληροφορίας που μεταδίδεται ή της αντίδρασης που προκαλείται από το ληφθέν μήνυμα.

## 4.5 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΝΑΝΟΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕ Η/Μ ΚΥΜΑΤΑ

### 4.5.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Πέρα από τη χρήση βιολογικών μηχανισμών για την μεταξύ επικοινωνία των νανοσυσκευών, η υπάρχουσα δυνατότητα που έχουμε να κατασκευάσουμε ηλεκτρομαγνητικούς πομποδέκτες ακούσια μας οδηγεί στην περαιτέρω αξιοποίηση φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Υπάρχουν ωστόσο αρκετά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν προκειμένου να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε νανοσυσκευές Η/Μ ακτινοβολίας ως πομπούς και δέκτες στην πράξη, μερικά από τα οποία είναι η ενεργειακή κατανάλωση, η πολυπλοκότητα και το μέγεθος τους.

Από εργαστηριακές μελέτες φαίνεται πως η χρήση γραφενίου δίνει αισιόδοξα αποτελέσματα, ενώ προσφάτως ενσωματώθηκε και σε ολοκληρωμένο κύκλωμα. Προκειμένου να αναγνωρίσουμε το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που θα χρησιμοποιηθεί από τα νανο-δίκτυα πρέπει πρώτα να αναγνωριστούν οι ιδιότητες ακτινοβολίας του γραφενίου.

Θα πρέπει δηλαδή να ερμηνευτεί αν η ακτινοβολία του ταυτίζεται με συντονισμένα κύματα υψηλής συχνότητας που εκπέμπονται από νανο-κεραίες, ή φωτόνια χαμηλής ενέργειας που ακτινοβολούνται από οπτικούς νανο-πομπούς. Παρά τις διαφορές των δύο προσεγγίσεων, και οι δύο μέθοδοι προτείνουν τη ζώνη συχνοτήτων των THz (0.1-10 THz) για τη χρήση νανο-ηλεκτρομαγνητικών πομποδεκτών.

#### 4.5.1.1 Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΤΩΝ TERAHERTZ

Το φάσμα των THz αποτελεί το τμήμα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μετά τις υπέρυθρες και πριν τα μικροκύματα και καταλαμβάνει την περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 100GHz και 10THz. Η εκμετάλλευσή αυτών των συχνοτήτων είναι προς το παρόν δύσκολη, ωστόσο οι συχνότητες αυτές παρέχουν νέες δυνατότητες για την επικοινωνία μεταξύ των νανοσυσκευών.

#### 4.5.1.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Η ολική απώλεια διαδρομής,  $A$ , για ένα THz οδεύον κύμα ορίζεται ως το άθροισμα των απωλειών ελεύθερου χώρου του κύματος  $A_{\text{spread}}$  και των απωλειών λόγω μοριακής απορρόφησης  $A_{\text{abs}}$ :

$$A(f,d) = A_{\text{spread}}(f,d) + A_{\text{abs}}(f,d) \quad (1)$$

όπου με το  $f$  ορίζουμε τη συχνότητα του κύματος και με το  $d$  το συνολικό μήκος που διανύει. Οι απώλειες ελεύθερου χώρου ορίζουν την εξασθένηση καθώς το κύμα διαδίδεται στο μέσον και ορίζεται ως

$$A_{\text{spread}}(f,d) = \left(\frac{4\pi fd}{c}\right)^2 \quad (2)$$

με  $f$  και  $d$  όπως πριν και το  $c$  την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Η μοριακή απορρόφηση αναφέρεται στην εξασθένηση του κύματος που θα υποστεί ένα διαδιδόμενο κύμα εξαιτίας της μετατροπής ενός μέρους της ενέργειάς του σε εσωτερική κινητική ενέργεια των διεγερμένων μορίων στο μέσον. Αρκετά μόρια διεγείρονται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ορισμένες συχνότητες στο φάσμα των THz και μετατρέπουν μέρος της ακτινοβολίας τους σε εσωτερικές δονήσεις. Η απώλεια μοριακή απορρόφησης  $A_{\text{abs}}$  ορίζεται ακολούθως

$$A_{\text{abs}}(f,d) = \frac{1}{\tau(f,d)} \quad (3)$$

με  $f$  και  $d$  όπως πριν και το  $\tau$  την διαπερατότητα του μέσου. Η παράμετρος αυτή μετράει το κλάσμα της ξαφνικής ακτινοβολίας που μπορεί να διαπεράσει το μέσον και υπολογίζεται βάση του νόμου Beer-Lambert ως εξής

$$\tau(f,d) = e^{-k(f)d} \quad (4)$$

με  $k$  τη σταθερά απορρόφησης του μέσου, η οποία εξαρτάται από τη σύνθεση του μέσου, το πώς τα μόρια εμπλέκονται το ένα με το άλλο καθώς εμπίπτει πάνω τους το κύμα στη διαδρομή του και ορίζεται ακολούθως

$$k(f) = \sum_{i,g} k^{i,g}(f) \quad (5)$$

όπου  $k^{i,g}$  είναι η ατομική σταθερά απορρόφησης για κάθε μόριο  $i$  που διαφέρει με ένα άλλο μόνο στην ισοτοπική τους σύνθεση ενός αερίου  $g$ . Η σταθερά απορρόφησης για μια μοριακή πυκνότητα κατ' όγκο  $Q_{i,g}$  σε μόρια/m<sup>3</sup> με πίεση  $p$  και θερμοκρασία  $T$  γράφεται ως εξής

$$k_{i,g}(f) = \frac{p}{p_0} \frac{T_{\text{stp}}}{T} Q_{i,g}(f) \quad (6)$$

όπου  $p_0$  και  $T_{stp}$  είναι οι καθορισμένες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης, ενώ το  $\sigma^{i8}$  είναι ένα μέγεθος που μετράει την πιθανότητα να λάβει χώρα το φαινόμενο της απορρόφησης για κάθε μόριο  $i$  του αερίου  $g$  σε  $m^2/\mu\text{όριο}$ . Η ολική απορρόφηση λοιπόν εξαρτάται από τον ολικό αριθμό των μορίων του αερίου που συναντά το κύμα στο δρόμο του.

#### 4.5.1.3 ΘΟΡΥΒΟΣ

Ο περιβάλλον θόρυβος στις υψηλές συχνότητες που μελετάμε οφείλεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό στον μοριακό θόρυβο. Η απορρόφηση ενέργειας από τα μόρια του μέσου δεν προκαλεί μόνο το σήμα να αποσβέννυται, αλλά επίσης εισάγει και θόρυβο στο σύστημά μας. Η παράμετρος που μετρά το φαινόμενο αυτό ορίζει την ικανότητα της επιφάνειας να εκπέμπει ενέργεια από ακτινοβολία,  $\epsilon$ , και ορίζεται ακολούθως

$$\epsilon(f,d)=1-\tau(f,d) \quad (7)$$

Η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου εξαιτίας της μοριακής απορρόφησης  $T_{mol}$  σε Κέλβιν που θα ανιχνεύσει μια πολυκατευθυντική κεραία από το μέσο δίνεται ακολούθως

$$T_{mol}(f,d)=T_0\epsilon(f,d) \quad (8)$$

όπου  $T_0$  είναι η θερμοκρασία αναφοράς. Αυτό το είδος θορύβου θα υφίστανται γύρω από τις συχνότητες όπου η μοριακή απορρόφηση είναι αρκετά υψηλή.

Για να υπολογίσουμε την ισοδύναμη ισχύ θορύβου στον υποδοχέα, είναι απαραίτητο να καθορίσουμε το εύρος ζώνης μετάδοσης, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από την απόσταση μετάδοσης και τη σύνθεση του μέσου. Για δεδομένο εύρος ζώνης, η συνολική ισχύς θορύβου  $P_n$  υπολογίζεται ως εξής

$$P_n(f,d)=k_B B(T_{mol}(f,d)+T_{other}(f)) \quad (9)$$

όπου  $k_B$  είναι η σταθερά Boltzmann, το  $B$  το εύρος ζώνης του συστήματος, το  $T_{mol}$  αναφέρεται στη θερμοκρασία μοριακού θορύβου και το  $T_{other}$  είναι ένας συμπληρωματικός όρος που αντιπροσωπεύει την οποιαδήποτε άλλη πηγή θορύβου παρούσα στο μέσο, όπως είναι ο ηλεκτρονικός θόρυβος του δέκτη.

#### 4.5.1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΥΛΟΥ

Ο διάυλος των THz είναι αρκετά επιλεκτικός ως προς τη συχνότητα κι έτσι εισάγει αρκετές αλλοιώσεις. Επίσης, ο μοριακός θόρυβος δεν είναι λευκός. Συνεπώς, η χωρητικότητα του καναλιού μπορεί να υπολογιστεί αν χωρίσουμε το ολικό εύρος ζώνης σε πολλές στενές υπο-ζώνες και να αθροίσουμε τις επιμέρους χωρητικότητες. Η  $i$ -οστή

υπο-ζώνη είναι κεντραρισμένη γύρω από μια συχνότητα  $f_i$ ,  $i=1,2,\dots$  και έχει εύρος  $\Delta f$ . Αν το εύρος της υπο-ζώνης είναι αρκετά μικρό, τότε το κανάλι μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη επιλεκτικό ως προς τη συχνότητα και η φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου μπορεί να θεωρηθεί τοπικά επίπεδη (λευκός θόρυβος). Η ολική πυκνότητα ισχύος σε bits/sec δίνεται ως εξής

$$C(d)=\sum_i \Delta f \log_2[1+S(f_i)A^{-1}(f_i,d)/N(f_i,d)] \quad (10)$$

όπου  $d$  είναι το ολικό μήκος διαδρομής,  $S$  η μεταδιδόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος,  $A$  η απώλεια του καναλιού και  $N$  η φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου.

Η ολική απώλεια και ο θόρυβος του συστήματος καθορίζονται από τη συχνότητα του συστήματος, την απόσταση μετάδοσης και τη μοριακή σύνθεση του καναλιού, όπου μπορούμε να υιοθετήσουμε διαφορετικές κατανομές για την φασματική πυκνότητα ισχύος του διαδιδόμενου σήματος. Για παράδειγμα, στην απλούστερη περίπτωση που έχουμε επίπεδη φασματική πυκνότητα

$$S_{\text{flat}}(f)=S_0 \text{ για } f \in B, \text{ ενώ διαφορετικά } S_{\text{flat}}(f)=0 \quad (11)$$

Εναλλακτικά, η φασματική πυκνότητα ισχύος του διαδιδόμενου σήματος μπορεί να βελτιστοποιηθεί ώστε να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα του διαύλου, με τον περιορισμό ότι η ολική μεταδιδόμενη ισχύς είναι πεπερασμένη. Για αυτό, με βάση την τεχνική water-filling, η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος  $S_{\text{opt}}$  πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη εξίσωση:

$$S_{\text{opt}}(f) + A(f,d)N(f,d)=K \quad (12)$$

και

$$S_{\text{opt}}(f)=0 \text{ αν } K < A(f,d)N(f,d) \quad (13)$$

όπου  $K$  είναι μια σταθερά της οποίας η τιμή εξαρτάται από την συνολικά μεταβιβαζόμενη ισχύ.

Ωστόσο, η υλοποίηση των τεχνικών αυτών υπονομεύεται από τις περιορισμένες προς το παρόν ικανότητες των ναοσυσκευών. Η ανάπτυξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων από γραφένιο υποδεικνύουν ότι μελλοντικά θα μπορούμε να παράξουμε παλμούς πολύ μικρής διάρκειας, μικρότερης από 1psec ( $10^{-2}\text{sec}$ ).

Η ισχύς τέτοιου είδους παλμών περιορίζεται κυρίως στο εύρος των THz συχνοτήτων. Μπορούμε λοιπόν να αναπτύξουμε μία τεχνική επικοινωνίας για ναο-δίκτυα που βασίζεται στην ανταλλαγή εξαιρετικά μικρών παλμών. Για χάρη απλότητας χρησιμοποιούμε παλμούς Gauss:

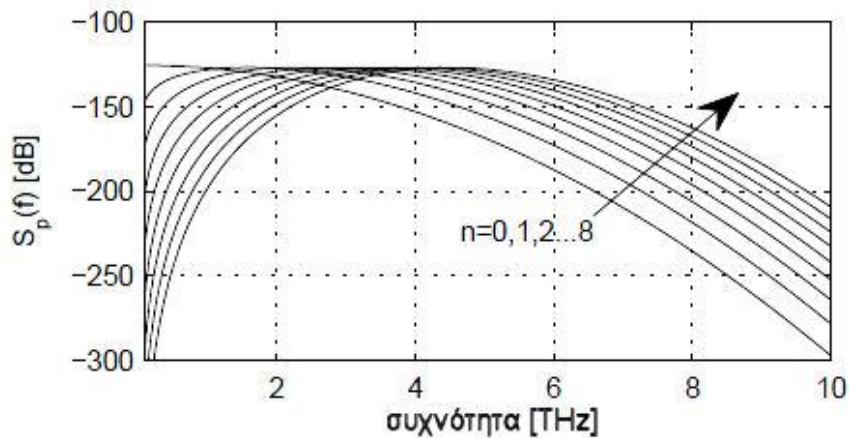


$$p(t) = \frac{\alpha_0}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(t-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (14)$$

όπου  $\alpha_0$  είναι μια κανονικοποιημένη σταθερά προσαρμοσμένη στην ολική ενέργεια του παλμού,  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση του παλμού Gauss σε δευτερόλεπτα και  $\mu$  το κέντρο του παλμού σε δευτερόλεπτα. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του παλμού,  $S_p$ , δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$S_p(f) = a_0^2 e^{-(2\pi\sigma f)^2} \quad (15)$$

Οι παράγωγοι χρόνου ενός παλμού Gauss μπορούν να αποκτηθούν από τον συνδυασμό των γραμμών καθυστέρησης σε picoseconds και περιλαμβάνονται στην ποσοτική ανάλυση του διαύλου. Η φασματική πυκνότητα ισχύος των παραγώγων είναι επίσης παλμός Gauss, αλλά η φασματική θέση των κυρίων συνιστωσών μετατοπίζεται σύμφωνα με την τάξη  $n$  της παραγώγου σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14: Φασματική πυκνότητα ισχύος για γκαουσιανό παλμό εύρους 0.1 ps και οι πρώτες 8 χρονικές παράγωγοι

## 4.5.2 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΥΛΟΥ

Οι ναοσυσκευές είναι αντικείμενα, των οποίων το μέγεθος είναι ανηγμένο στην κλίμακα των ναο και είναι ικανές να εκτελούν πολύ απλές λειτουργίες, για παράδειγμα να κινούνται, ή να αντιλαμβάνονται αλλαγές στο περιβάλλον. Οι ναοσυσκευές κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες: σε αυτές που μιμούνται τις ήδη υπάρχουσες συσκευές, και σε αυτές που μιμούνται βιολογικές ναοσυσκευές όπως είναι οι κινητικοί κινητήρες, οι υποδοχείς, τα προσδέματα κλπ.

Λόγω του μεγέθους και των ιδιοτήτων των ναομηχανών, οι παραδοσιακοί τρόποι επικοινωνίας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν μπορούν να εφαρμοστούν και για αυτό η επικοινωνία μέσω μορίων αποτελεί έναν εφικτό τρόπο. Απαιτείται λοιπόν ένα μοριακό κανάλι ως ένας τηλεπικοινωνιακός δίαυλος μεταξύ δύο ναοσυσκευών. Είναι απαραίτητο λοιπόν να διερευνηθεί η χωρητικότητα του καναλιού, καθώς και ποιες παράμετροι των συσκευών αλλά και των φυσικών ιδιοτήτων του περιβάλλοντος (πχ θερμοκρασία, σταθερά διάχυσης) μπορούν να την επηρεάσουν.

Στη φύση η μοριακή επικοινωνία εκφράζεται μέσω της σύνδεσης προσδέματος με υποδοχέα. Το πρόσδεμα, δεν είναι κάτι άλλο από μόρια, τα οποία παράγονται βάσει κάποιου βιολογικού φαινομένου και στη συνέχεια διαχέονται στο περιβάλλον ώστε να προσδεθούν με τους υποδοχείς ενός άλλου βιολογικού συστήματος, το οποίο με τη σειρά του αντιλαμβάνεται τη βιολογική αυτή πληροφορία και δρα αναλόγως.

Υποθέτουμε ότι η TN είναι μια συσκευή μεγέθους νάνο ή μια βιολογική οντότητα που μπορεί να στείλει ένα είδος μορίων που ονομάζεται A. Επίσης υποθέτουμε ότι εξάγει τα μόρια A με μια χρονομεταβλητή συγκέντρωση  $L(t)$  βάσει της σχέσης που ακολουθεί:

$$L(t) = L_{ex}, \text{ για } jtH \leq t \leq (j+1)tH \quad (1) \\ 0, \text{ αλλού}$$

Όπου  $j=(0,1,..)$ ,  $t_H$  είναι η διάρκεια του παλμού και  $L_{ex}$  είναι η συγκέντρωση των μορίων A που στέλνει.

Επιπλέον, υποθέτουμε ότι υπάρχει η RN, η οποία είναι μια μηχανή κι αυτή επιπέδου νάνο κι έχει N υποδοχείς στην επιφάνειά της που τους ονομάζουμε R. Οι υποδοχείς επιτρέπουν στη RN να δέχεται τα μόρια που δένονται στην επιφάνειά της.

Στους παραδοσιακούς τρόπους ψηφιακούς επικοινωνίας, οι ακολουθίες πληροφορίας μεταβιβάζονται μέσω δύο bits, το λογικό 0 και 1. Αν ένας μεταγωγέας ανιχνεύσει μια διαφορά δυναμικού που είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι του καναλιού, τότε αποφασίζει ότι η τιμή που έχει δεχτεί 1. Αν πάλι η διαφορά δυναμικού βρίσκεται υπό του κατωφλίου τότε θεωρεί ότι η τιμή που δέχτηκε είναι 0. Ακολουθώντας

αυτή τη μεθοδολογία, μπορούμε να εξάγουμε αντίστοιχα συμπεράσματα για τη μοριακή επικοινωνία.

Κατά τη διάρκεια λοιπόν του  $t_H$  η TN είτε στέλνει μόρια A, αντίστοιχα με το λογικό 1 των ψηφιακών επικοινωνιών, είτε δε στέλνει καθόλου μόρια, αντίστοιχα με το λογικό 0. Έτσι, για το μοντέλο της μοριακής επικοινωνίας έχουμε δύο “μοριακά bits” που ονομάζονται A και 0.

Από την πλευρά της RN τα bits αυτά γίνονται αντιληπτά μέσω της συγκέντρωσης των μορίων A, όπου δηλαδή αν η RN δεχθεί μια συγκέντρωση μορίων A μεγαλύτερη από μια προκαθορισμένη συγκέντρωση S ( $\mu\text{mol/liter}$ ), τότε η RN καταλαβαίνει ότι η TN έστειλε το μοριακό bit A κατά τη διάρκεια  $t_H$ . Αντιστρόφως, αν η RN δεχθεί μόρια A με συγκέντρωση μικρότερη από S, τότε αντιλαμβάνεται τα μοριακά bits ως 0.

Με την παραδοσιακή ψηφιακή επικοινωνία, τα επίπεδα θορύβου στο κανάλι οδηγούν σε λάθη όπου αν ο πομπός στέλνει το λογικό 1, ο δέκτης το αντιλαμβάνεται ως 0 και αντίστροφα. Παρόμοια φαινόμενα μπορούν να εμφανιστούν και στη μοριακή επικοινωνία. Όταν η TN εξάγει τα μόρια A προκειμένου να ληφθούν από τον δέκτη, αυτά συνεχίζουν να διαχέονται στο περιβάλλον και θα συνεχίσουν να υπάρχουν και αφού ένα μεγάλο μέρος τους θα έχει ήδη ληφθεί. Επομένως, εξαιτίας των εναπομεινάντων μορίων A στο περιβάλλον είναι δυνατό η RN να δεχθεί μοριακό bit A ενώ η TN έχει στείλει 0. Ακόμα, λόγω της καθυστέρησης στη διάχυση που υφίστανται τα μόρια A στο μέσο, είναι επίσης πιθανό η RN να λάβει μοριακό bit 0 ενώ η TN μεταδίδει μοριακό bit A. Επιπρόσθετοι λόγοι μπορούν να επιφέρουν εσφαλμένη μετάδοση, όπως είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η συγκέντρωση των A, η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, διάρκεια του παλμού, οι ρυθμοί αντίδρασης και ελευθέρωσης και ο αριθμός των υποδοχέων στη RN.

Για την μοριακή επικοινωνία μεταξύ TN και RN πρέπει να γίνει κατανοητό το πώς τα μπορούν τα μόρια A να παραδοθούν στη RN, με την έννοια της σύνδεσής τους στους υποδοχείς R πάνω στη RN.

Όταν τα μόρια A που παράγονται από τη TN συναντούν τους υποδοχείς R στη RN, τότε αυτά προσδένονται με τους R και συνιστούν συμπλέγματα C βάσει της παρακάτω αντίδρασης:



όπου  $k_1$  ( $\mu\text{mol/liter/sec}$ ) είναι ο ρυθμός της αντίδρασης πρόσδεσης. Αντιστοίχως, είναι επίσης δυνατή η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή το να παραχθούν μόρια A από τους υποδοχείς R ακολουθώντας την επόμενη αντίδραση:



με  $k^{-1}$  (1/sec) το ρυθμό της αντίδρασης ελευθέρωσης.

Όπως έχει οριστεί από την (1) η TN στέλνει τα μόρια A μέσω ενός τετραγωνικού παλμού με πλάτος  $L_{ex}$  κατά τη διάρκεια  $t_H$ . Στη διάρκεια αυτή η συγκέντρωση των συμπλεγμάτων  $C(t)$  ( $\mu\text{mol/liter}$ ) μπορεί να δοθεί ακολούθως

$$C(t) = C^\infty(1 - e^{-t(k^{-1} + k_1 L_{ex})}) \quad (4)$$

Το  $C^\infty$  είναι μια σταθερά ανεξάρτητη του χρόνου και ορίζεται ως εξής:

$$C^\infty = k_1 L_{ex} N / (k^{-1} + k_1 L_{ex}) \quad (5)$$

Όπου  $N$  ( $\mu\text{mol/liter}$ ) είναι η συγκέντρωση των υποδοχέων (R) στη RN.

Κατά τη διάρκεια του παλμού  $t_H$  η  $C(t)$  αυξάνει εκθετικά. Έστω  $t_0$  η χρονική στιγμή εκείνη που ο παλμός σταματά. Τότε η  $C(t)$  αρχίζει να πέφτει σύμφωνα με την ακόλουθη εκθετική μορφή:

$$C(t) = C t_0 e^{-k^{-1}(t-t_0)} \text{ για } t > t_0 \quad (6)$$

Ο ρυθμός αντίδρασης  $k_1$  και ελευθέρωσης  $k^{-1}$  εξαρτάται από βασικές παραμέτρους μοριακής διάχυσης από την TN στη RN όπως είναι ο συντελεστής διάχυσης, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

Υποθέτουμε ότι το  $k_1$  εξαρτάται αντιστρόφως από την απόσταση μεταξύ TN και RN, δηλαδή  $k_1 \propto 1/\alpha$  και ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος  $T$ , δηλαδή  $k_1 \propto 2T$ . Για το  $k^{-1}$  ισχύει ότι

$$k^{-1} = k^{0-1} e^{\alpha f / k_B T} \quad (7)$$

όπου  $k^{0-1}$  είναι ο ρυθμός απελευθέρωσης μηδενικής δύναμης,  $\alpha$  η απόσταση πομπού-δέκτη,  $k_B$  η σταθερά Boltzmann και  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία. Το  $f$  είναι η εφαρμοσθείσα δύναμη ανά σύμπλεγμα και σχετίζεται με την ενέργεια των σταθθέντων μορίων, την απόσταση  $\alpha$  και από παράγοντες του περιβάλλοντος. Τέλος, υποθέτουμε ότι είναι το  $k^{-1}$  είναι μια μεταβλητή που εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες των υποδοχέων της RN.

Κατά τη διάρκεια κάθε παλμού  $t_H$  μπορούμε να υπολογίσουμε την αναμενόμενη τιμή του αριθμού των μορίων  $A$ :

$$N_A = \int_0^{t_H} C(t) dt, \text{ δηλαδή βάσει της (6)}$$

$$N_A = \int_0^{t_H} \frac{k_1 L_{ex} N (1 - e^{-t(k^{-1} + k_1 L_{ex})})}{k^{-1} + k_1 L_{ex}} dt \quad (8)$$

Εφόσον η μοριακή διάχυση συνεχίζει μετά από κάθε διάστημα  $t_H$ , είναι δυνατό να ληφθούν τα προηγούμενα μοριακά bits από τη RN στο τρέχον χρονικό διάστημα. Για αυτό, ο αριθμός των ληφθέντων μορίων  $A$  σε ένα δεδομένο διάστημα εξαρτάται και από τα μοριακά bits που έχουν μεταδοθεί σε προηγούμενα διαστήματα. Υποθέτουμε ότι το τελευταίο μοριακό bit επηρεάζει μόνο την τρέχουσα μοριακή μετάδοση, καθώς ο αριθμός των ληφθέντων μορίων φθίνει εκθετικά μετά από διάστημα  $t_H$ . Θεωρούμε επίσης ότι η TN στέλνει μόρια  $A$  με πιθανότητα  $P_A$  σε κάθε διάστημα  $t_H$  και μοριακό bit 0 με πιθανότητα  $(1-P_A)$ . Επομένως η επίδραση του τελευταίου σταλθέντος μοριακού bit στην τρέχουσα μετάδοση μπορεί να θεωρηθεί ως ο αναμενόμενος αριθμός των μορίων που προέρχονται από το προηγούμενο χρονικό διάστημα ( $N_p$ ) και δίνεται ακολούθως:

$$N_p = \int_0^{t_H} P_A N A e^{-(k-1)t} dt, \text{ δηλαδή}$$

$$N_p = \int_0^{t_H} \left( P_A \int_0^{t_H} \frac{k1LexN}{k1LexN} (1 - e^{-t(k-1+k1Lex)}) dt \right) e^{-(k-1)t} dt \quad (9)$$

Στην περίπτωση που η TN στέλνει μόρια  $A$  κατά τη διάρκεια του παλμού  $t_H$ , τότε η αναμενόμενη (μέση) τιμή των σταλθέντων μορίων  $A$ ,  $E[N_{TA}]$  μπορεί να δοθεί ως εξής:

$$E[N_{TA}] = N_A + N_p \quad (10)$$

Από την πλευρά του δέκτη, αν η RN λάβει  $S$  αριθμό των μορίων  $A$ , τότε συμπεραίνουμε ότι η TN έστειλε το μοριακό bit  $A$  κατά τη διάρκεια του παλμού  $t_H$ . Βάσει της ανισότητας του Markov (η οποία δίνει ένα άνω όριο για την πιθανότητα που μια μη αρνητική συνάρτηση μιας τυχαίας μεταβλητής είναι μεγαλύτερη ή ίση με κάποια θετική σταθερά) έχουμε το άνω όριο της πιθανότητας  $p_1$  η TN να καταφέρει να μεταδώσει το μοριακό bit  $A$ :

$$p_1(N_{TA} \geq S) \leq \frac{E[N_{TA}]}{S} \quad (11)$$

Συνεπώς, η TN καταφέρνει να μεταδώσει το μοριακό bit  $A$  με μέγιστη πιθανότητα  $p_1 = \frac{E[N_{TA}]}{S}$  και στη συμπληρωματική περίπτωση που δεν καταφέρει να το μεταδώσει και η RN το λάβει ως 0 τότε η πιθανότητα είναι  $(1-p_1)$ .

Για τη μετάδοση του μοριακού bit 0 κατά τη χρονική διάρκεια  $t_H$ , ο αριθμός των μεταδιδόμενων μορίων  $A$  εξαρτάται μόνο από το τελευταίο σταλθέν μοριακό bit γιατί η TN δε μεταδίδει μόρια κατά τη διάρκεια του μοριακού bit 0. Επομένως, η αναμενόμενη (μέση) τιμή του συνολικού αριθμού των μεταδιδόμενων μορίων  $A$  κατά τη διάρκεια του παλμού για τη διάδοση του μοριακού bit 0,  $E[N_{T0}]$  ισούται με τη  $N_p$ , δηλαδή  $E[N_{T0}] = N_p$ .

Για την επιτυχή μετάδοση ενός μοριακού bit 0, η TN πρέπει να έχει μεταδώσει στο χρονικό εύρος του παλμού έναν αριθμό μορίων  $A$  που να είναι μικρότερος από  $S$ ,

δηλαδή  $N_{T0} < S$ . Ξανά, βάσει της ανισότητας του Markov, το άνω όριο της πιθανότητας  $p_2$  που η TN καταφέρνει να μεταδώσει μοριακό bit 0 είναι

$$p_2(N_{T0} \leq S) \leq \frac{S}{E[N_{T0}]} \quad (12)$$

Συνεπώς, για τη μετάδοση του μοριακού bit 0, η TN καταφέρνει να μεταδώσει το μοριακό 0 με μέγιστη πιθανότητα  $p_2 = \frac{S}{E[N_{T0}]}$  και στην περίπτωση που λανθασμένα μεταδώσει μοριακό bit A η πιθανότητα είναι  $(1-p_2)$ .

Επίσης, στο σημείο αυτό πρέπει να επιλεγεί ένα κατάλληλο S για να μεγιστοποιηθούν η πιθανότητες  $p_2$  και  $p_1$ .

Για  $E[N_{TA}] \geq S$  ισχύει ότι  $p_1 \geq 1$ , το οποίο όμως δεν είναι μαθηματικά ορθό γιατί η πιθανότητα είναι ένας αριθμός που ανήκει στο  $[0,1]$ . Αυτό υπονοεί ότι η  $p_1 \approx 1$  μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη επιλογή S.

Αν υποθέσουμε ότι η  $N_{TA}$  είναι μια τυχαία μεταβλητή με την κανονική κατανομή  $N(E[N_{TA}], \sigma_{TA}^2)$ , τότε η  $p_1 \approx 1$  μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας το S έτσι ώστε  $0 < S < E[N_{TA}] - 3\sigma_{TA}$ . Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε κανονική κατανομή το 99.7% των παρατηρήσεων πέφτουν σε απόσταση  $\pm 3$  τυπικών αποκλίσεων από τη μέση τιμή.

Αντιστοίχως, αν υποθέσουμε ότι και η  $N_{T0}$  ακολουθεί κανονική κατανομή  $N(E[N_{T0}], \sigma_{T0}^2)$ , τότε η  $p_2 \approx 1$  μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας το S ως  $S > E[N_{T0}] + 3\sigma_{T0}$ . Συνεπώς, οι πιθανότητες  $p_1$  και  $p_2$  μπορούν να μεγιστοποιηθούν επιλέγοντας το S από το διάστημα

$$0 < E[N_{T0}] + 3\sigma_{T0} < S < E[N_{TA}] - 3\sigma_{TA} \quad (13)$$

Βάσει των πιθανοτήτων  $p_1$  και  $p_2$  μπορούμε να μοντελοποιήσουμε ένα κανάλι επικοινωνίας, όπου αν θεωρήσουμε ότι η TN στέλνει μοριακά bit X και η RN λαμβάνει μοριακά bit Y, τότε ο πίνακας μετάδοσης του μοριακού καναλιού είναι το ακόλουθο:

$$P(Y/X) = \begin{pmatrix} p_1 P_A & (1 - p_2)(1 - P_A) \\ (1 - p_1)P_A & p_2(1 - P_A) \end{pmatrix} \quad (14)$$

Βάσει του πίνακα μετάδοσης μπορούμε να βρούμε την αμοιβαία πληροφορία  $I(X;Y)$  μεταξύ X και Y, η οποία μας δίνει τον αριθμό των μοριακών bits, M:

$$M = (H(p_1 P_A + (1 - p_2)(1 - P_A), (1 - p_1)P_A + p_2(1 - P_A)) - (P_A H(p_1, 1 - p_1) + (1 - P_A) H(p_2, 1 - p_2))) \quad (15)$$

$$M = -\left[ P_A \frac{E[N_{TA}]}{S} + (1 - P_A) \left(1 - \frac{S}{E[N_{T0}]}\right) \right] \log \left[ P_A \frac{E[N_{TA}]}{S} + (1 - P_A) \left(1 - \frac{S}{E[N_{T0}]}\right) \right] -$$

$$\begin{aligned}
& - [ P_A(1 - \frac{E[NTA]}{S}) + (1 - P_A)(\frac{S}{E\{NT0\}}) ] \log [ P_A(1 - \frac{E[NTA]}{S}) + (1 - P_A)(\frac{S}{E\{NT0\}}) ] - \\
& - [ P_A(\frac{E[NTA]}{S}) \log(\frac{E[NTA]}{S}) - (1 - \frac{E[NTA]}{S}) \log(1 - \frac{E[NTA]}{S}) ] - \\
& - (1 - P_A) [ \frac{S}{E\{NT0\}} \log(\frac{S}{E\{NT0\}}) - (1 - \frac{S}{E\{NT0\}}) \log(1 - \frac{S}{E\{NT0\}}) ]
\end{aligned} \tag{16}$$

όπου το  $H(\cdot)$  υποδηλώνει την εντροπία. Η εντροπία είναι ο τελικός ρυθμός συμπίεσης των δεδομένων και είναι μέτρο της μέσης αβεβαιότητας της τυχαίας μεταβλητής που περικλείει. Η χωρητικότητα του μοριακού καναλιού μεταξύ TN και RN,  $C_M$  μπορεί να οριστεί ως  $C_M = \max(M)$ .

Στην παραδοσιακή ψηφιακή επικοινωνία, παρατηρούνται αρκετά συχνά εσφαλμένα bits εξαιτίας του θορύβου που υπάρχει στο κανάλι. Για να αντισταθμιστούν τα λάθη στα bits θα πρέπει να μειωθεί η πιθανότητα των λάθη στα bits μεταξύ πομπού και δέκτη. Για αυτό ο πομπός συγκροτεί κάποιες λέξεις με σταθερό μήκος έτσι ώστε να μπορέσει ο δέκτης να ανιχνεύσει και να διορθώσει εσφαλμένα bits. Για την υλοποίηση αυτών απαιτούνται αποδοτική επεξεργαστές, αλγόριθμοι και κυκλώματα με υψηλή υπολογιστική ισχύ από την πλευρά του δέκτη, οι οποίες όμως τεχνικές δεν υλοποιούνται στην περίπτωση της μοριακής επικοινωνίας. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται δραστικές λύσεις σύμφωνα με τις οποίες κάποιες παράμετροι προσαρμόζονται βάσει κάποιες περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως είναι πχ η θερμοκρασία, ο ρυθμός αντιδράσεων και η απόσταση μεταξύ των νανομηχανών.

Στη μοριακή επικοινωνία λοιπόν, υποθέτουμε ότι κάποιες παράμετροι όπως είναι η συγκέντρωση των σταθθέντων μορίων  $A$  ( $L_{ex}$ ), η διάρκεια του παλμού (tH) και η συγκέντρωση των υποδοχέων RN ( $N$ ) είναι συγκεκριμένες για κάθε TN και RN και δεν μπορούν να αλλαχθούν ούτε από τις νανοσυσκευές ούτε από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ωστόσο, άλλες παράμετροι όπως είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ( $T$ ), η δύναμη που ασκείται ανά σύμπλεγμα  $C$  ( $f$ ), η απόσταση μεταξύ TN και RN ( $\alpha$ ), ο ρυθμός αντίδρασης ( $k_1$ ), ο ρυθμός απελευθέρωσης ( $k_{-1}$ ) και ο ρυθμός απελευθέρωσης μηδενικής δύναμης ( $k_{-1}^0$ ) εξαρτώνται μόνο από κάποιους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως είναι οι σταθερές διάχυσης του περιβάλλοντος και τον τρόπο που είναι κατανομημένες οι νανοσυσκευές. Επίσης, υποθέτουμε ότι η πιθανότητα να σταλεί του μοριακού bit  $A$  ( $P_A$ ) μπορεί να αλλάξει μόνο από τη TN. Θεωρητικά, είναι δυνατόν να βρεθεί μια κατάλληλη τιμή της πιθανότητας  $P_A$  που να ελαχιστοποιεί τα λάθη στο κανάλι επικοινωνίας και να μεγιστοποιεί την χωρητικότητα του καναλιού.

Προκειμένου να σταλεί επιτυχώς το μοριακό bit A θα πρέπει η TN να στείλει τουλάχιστον S αριθμός μορίων A στον δέκτη. Η πρόταση αυτή ικανοποιείται από την ακόλουθη παράσταση:

$$E[N_{TA}] = N_A + N_p > S \quad (17)$$

δηλαδή 
$$N_A + P_A N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt > S \quad (18)$$

Χρησιμοποιώντας την (20) μπορεί να δοθεί ένα κάτω όριο για την πιθανότητα  $P_A$ , LB:

$$P_A > \frac{S - N_A}{N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt} = LB \quad (19)$$

όπου η τιμή  $N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt$  δίνει τη συγκέντρωση των μορίων A που λαμβάνονται από τον δέκτη μέσα σε μια εκθετικά φθίνουσα φάση αφού η TN μεταδώσει το μοριακό bit A. Ορίζουμε  $N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt = N_{ex}$  και η (19) γράφεται ως εξής:

$$LB = \frac{S - N_A}{N_{ex}} \quad (20)$$

Για να μεταφερθούν επιτυχώς μοριακά bit 0 θα πρέπει η TN να μεταδώσει έναν αριθμό μορίων A μικρότερο του S. Επομένως πρέπει να ισχύει η ακόλουθη συνθήκη:

$$E[N_{T0}] = N_p \leq S \quad (21)$$

Χρησιμοποιώντας την (10), η (23) μπορεί να γραφτεί ως

$$P_A N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt \leq S \quad (22)$$

Παρόμοια με πριν, μπορούμε να βρούμε ένα άνω όριο για την  $P_A$ , UB:

$$P_A \leq \frac{S}{N_A \int_0^{tH} e^{(-k-1t)} dt} = UB \quad (23)$$

$$UB = \frac{S}{N_{ex}} \quad (24)$$

Συνδυάζοντας το άνω και κάτω όριο λοιπόν μπορούμε να βρούμε το διάστημα εκείνο μέσα στο οποίο βρίσκεται το κατάλληλο  $P_A$  που ελαχιστοποιεί τα λάθη του καναλιού και δίνεται ακολούθως:

$$\frac{S - N_A}{N_{ex}} < P_A \leq \frac{S}{N_{ex}} \quad (25)$$

$$LB < P_A \leq UB \quad (26)$$



Η ποσότητα  $N_{ex}$  περιλαμβάνει έναν ολοκληρωτικό υπολογισμό ο οποίος είναι πρακτικά αδύνατος να γίνει από την  $TN$  εξαιτίας της πολύ περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος της. Εφόσον η  $N_{ex}$  δηλώνει συγκέντρωση μορίων  $A$  τα οποία λαμβάνονται από τη  $RN$  μέσα σε μια εκθετικά φθίνουσα φάση μετά την αποστολή μοριακών bit  $A$ , τότε η  $RN$  μπορεί να την υπολογίσει.

#### 4.5.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΟΡΙΑΚΟΥ BIT

Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η μοριακή επικοινωνία θα πρέπει να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή πιθανότητα μετάδοσης μοριακού bit ( $P_A$ ) και να επιτευχθεί υψηλή χωρητικότητα. Βάσει του εύρους που ορίζεται από τη σχέση (27) πρέπει να διερευνηθεί πώς οι διάφορες τιμές  $P_A$  επηρεάζουν το ρυθμό λαθών στο κανάλι.

Ενώσω η  $P_A$  αυξάνει, τότε ο αριθμός των μεταδιδόμενων μορίων αυξάνει. Επομένως η μεγαλύτερη πιθανότητα μειώνει τα λάθη στη μετάδοση του μοριακού bit  $A$ . Αντιστρόφως, ενώ η  $P_A$  αυξάνει αυξάνονται τα λάθη στην περίπτωση μετάδοσης του μοριακού bit  $A$ . Ωστόσο, αν η  $P_A$  έχει τιμή μικρότερη από το  $UB$  τότε η μετάδοση του μοριακού  $0$  γίνεται χωρίς λάθη στο κανάλι και για αυτό θα πρέπει η  $P_A$  να επιλεγεί όσο πιο υψηλή γίνεται για να μην υπάρχουν λάθη στη μετάδοση του μοριακού  $A$  και θα πρέπει να είναι μικρότερη από το  $UB$  για να μην υπάρχουν λάθη και στη μετάδοση του μοριακού  $0$ . Συνεπώς, η  $P_A$  θα πρέπει να επιλεγεί στην πιο κοντινή τιμή στο άνω όριο  $UB$   $P_A \approx UB$ . Το κάτω όριο  $LB$  δεν είναι τόσο σημαντικό γιατί το άνω προσφέρει καλύτερη χωρητικότητα και ποιότητα επικοινωνίας.

# 5

## Ερευνητικές προκλήσεις στο πεδίο των

### νανοδικτύων

Είναι προφανές πως υπάρχουν αρκετές δυσκολίες μπροστά μας προκειμένου να υλοποιηθούν τα νανοδίκτυα , δυσκολίες που ξεκινούν εγγενώς από το μέγεθος των νανοσυσκευών. Οι τόσο μικρές διαστάσεις καθιστούν τις συμβατικές τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως είναι για παράδειγμα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή τα ακουστικά, μη εφαρμόσιμες κυρίως λόγω του μεγέθους των κεραιών και της χωρητικότητας του διαύλου.

Η βασική ιδέα γύρω από την οποία αναπτύχθηκε ο κόσμος της νανοτεχνολογίας στηρίζεται στο γεγονός πως η κλίμακα των νάνο είναι το φυσικό ανάλογο όλων των βιολογικών διεργασιών. Βάσει αυτών των διεργασιών και των μηχανισμών επικοινωνίας μπορούν να αναπτυχθούν κάποιες πιθανές μεθοδολογίες που μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση των προβλημάτων που ανακύπτουν.

### 5.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΑΝΟΣΥΣΚΕΥΩΝ, ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη των νανοδικτύων είναι η ανάπτυξη των κατάλληλων νανοσυσκευών και μοριακών πομποδεκτών. Μέχρι τώρα έχουν κατασκευαστεί νανοδομές οι οποίες μπορούν να υλοποιούν πολύ απλές λειτουργίες όπως είναι αυτές της διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος ή της αποθήκευσης. Οι δομές αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως η πλατφόρμα δοκιμών και ανάπτυξης των νανοδικτύων και μπορούν εν καιρώ να οδηγήσουν σε πολύπλοκα συστήματα που να μπορούν να εκτελούν συγκεκριμένες διαδικασίες.

Αν και τη δεδομένη στιγμή έχουν αναπτυχθεί εργαλεία προσομοίωσης για τον τρόπο που τα μόρια συναρμολογούνται, και για τα βιολογικά και τα γενετικά συστήματα, δεν υπάρχουν ακόμα κάποια πρότυπα προσομοίωσης για τα νανοδίκτυα. Τα εργαλεία προσομοίωσης επιτρέπουν τη χρήση διαφορετικών τοπολογιών νανοδικτύων και μοριακών τρόπων επικοινωνίας, όπως είναι τα ιόντα ασβεστίου ή οι μοριακοί κινητήρες. Θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνουν παράγοντες εξαρτώμενους από το κάθε μέσο που επηρεάζουν τη διάδοση των μορίων πληροφορίας και επιτρέπουν την επιλογή διαφορετικών φορέων για τη μεταφορά της κάθε πληροφορίας.

## 5.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Μία τυπική διαδικασία επικοινωνίας ακολουθεί τις παρακάτω φάσεις:

- ❖ κωδικοποίηση, όπου ο πομπός παράγει το μόριο πληροφορίας
- ❖ μετάδοση ή απελευθέρωση των μορίων αυτών στο περιβάλλον
- ❖ διάδοση των μορίων πληροφορίας μέσα στο μέσο
- ❖ λήψη των μορίων πληροφορίας
- ❖ αποκωδικοποίηση των ληφθέντων μορίων πληροφορίας

Ένα από τα πρώτα ζητήματα που ανακύπτουν κατά την ανάπτυξη των νανοδικτύων αφορά την κωδικοποίηση της πληροφορίας και στη συνέχεια την αποκωδικοποίηση.

Η πληροφορία μπορεί να κωδικοποιηθεί στο ίδιο το μόριο πληροφορίας και ανάλογα με τη μοριακή δομή το μήνυμα θα μπορεί να προσδεθεί μόνο σε συγκεκριμένους υποδοχείς, οδηγώντας σε ένα κανάλι επικοινωνίας το οποίο ορίζεται από αυτά τα μόρια πληροφορίας και τους κατάλληλους υποδοχείς.

Το τηλεπικοινωνιακό κανάλι αυτό θα μπορούσε να ενσωματώσει διαφορετικού τύπου μόρια και υποδοχείς για να κωδικοποιήσει την πληροφορία, έχοντας ως αποτέλεσμα μια χωρική αξιοποίηση του διαύλου.

Επιπλέον, η πληροφορία μπορεί να κωδικοποιηθεί ανάλογα με τις μεταβολές της συγκέντρωσης των ιόντων, παρόμοια με τη διαμόρφωση συχνότητας και πλάτους που γίνεται στις παραδοσιακές τηλεπικοινωνίες. Ωστόσο δεν είναι ακόμα βέβαιο το πώς θα μπορέσουν οι νανομηχανές να αποκωδικοποιήσουν τις διακυμάνσεις στη συγκέντρωση, αν και ορισμένες κυτταρικές διαδικασίες ενεργοποιούνται βάσει αυτού του μηχανισμού.

Υπάρχουν ακόμα ανοιχτά ερωτήματα για το πώς θα καταστεί δυνατό να μεταδώσουν και να λάβουν, όπως

- ❖ το πώς θα μπορέσουν να παράγουν ή να μεταγούν νέα μόρια και να τα τροποποιούν προκειμένου να τα κωδικοποιήσουν ως προς την πληροφορία,
- ❖ το πώς θα χειριστούν τα ληφθέντα μόρια, και
- ❖ το πώς θα ελέγξουν τη διαδικασία πρόσδεσης για να μπορούν και τα μόρια να απελευθερωθούν στο περιβάλλον.

Η διάδοση των σημάτων επικοινωνίας στα νανοδίκτυα διαφέρει τελείως και από κάθε άποψη σε σχέση με τα κλασσικά δίκτυα, γιατί στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μόρια και όχι Η/Μ ή ακουστικά κύματα, το οποίο σημαίνει ότι τα μόρια αυτά υπόκεινται σε παράγοντες του περιβάλλοντος όπως είναι η θερμοκρασία, το ιξώδες, το pH. Επίσης το μονοπάτι επικοινωνίας μπορεί να επηρεαστεί από τη βροχή, τον αέρα, την παλίρροια και γενικότερα εμπόδια. Θα πρέπει λοιπόν να αναπτυχθούν κατάλληλα πρωτόκολλα και μοντέλα διάχυσης ή ελεύθερης κίνησης των σωματιδίων, όπως για παράδειγμα το μοντέλο του Brown, ώστε να μοντελοποιηθεί ο δίαυλος και να οριστούν μηχανισμοί αντίδρασης για κάθε περίπτωση παρεμβολής και σύγκρουσης με εξωτερικούς παράγοντες και θόρυβο.

## 5.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Μόλις ξεπεραστεί το πρόβλημα της κατασκευής των νανosuσκευών, η μετάδοση μπορεί να ελεγχθεί και οι τρόποι διάδοσης γίνουν κατανοητοί τότε οι γνώσεις που ήδη έχουμε για αναπτυγμένα δίκτυα μπορούν να εφαρμοστούν στην υλοποίηση πιο πολύπλοκων νανοδικτύων. Η ανάπτυξη των νανοδικτύων μπορεί να γίνει με τη χρήση αρχιτεκτονικής ανά στρώματα, συμπεριλαμβανομένων πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC), δρομολόγησης και διεπαφές εφαρμογών.

Ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου είναι απαραίτητο για τη διευθυνσιοδότηση και τον έλεγχο του καναλιού προκειμένου να μπορούν όλοι οι κόμβοι του δικτύου να επικοινωνούν επί ίσοις όροις μέσα σε ένα μέσο πολλαπλής πρόσβασης. Στα νανοδίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι μοριακής κωδικοποίησης προκειμένου να διαδοθεί η πληροφορία χωρίς τα μόρια αυτά να παρεμβαίνουν με άλλα και να μην επηρεάζουν το μέσο, για παράδειγμα μέσω της αλλαγής του ιξώδους.

Σύμφωνα με τα φυσικά ανάλογα των νανοδικτύων, η πληροφορία κωδικοποιείται συνήθως και στέλνεται σε όλους τους κόμβους χωρίς την ενσωμάτωση συγκεκριμένης διεύθυνσης, ούτε του πομπού αλλά ούτε και του δέκτη. Αυτό συμβαίνει γιατί στα βιολογικά νανοδίκτυα υποτίθεται πως μόνο συγκεκριμένοι πομποί έχουν πρόσβαση στο κανάλι κάθε δεδομένη στιγμή και να στέλνουν το κωδικοποιημένο μήνυμα. Όταν το μήνυμα φτάσει στους υποδοχείς, αυτοί αντιδρούν βάσει της μοριακής πληροφορίας που φέρουν και των ερεθισμάτων που δίνουν, αγνοώντας την προέλευσή του.

Τέτοιου είδους νανοδίκτυα θεωρούνται «δεδομενοκεντρικά», μια συμπεριφορά που παρατηρείται στην επικοινωνία με φερομόνες, ή στα δίκτυα στο εσωτερικό ζωντανών κυττάρων χρησιμοποιούνται τα ιόντα ασβεστίου. Στην περίπτωση αυτή οι αντιδράσεις στον πομπό θέτονται σε δράση από το ίδιο το μοριακό σήμα, το οποίο δεν περιέχει συγκεκριμένα δεδομένα σχετικά με την προέλευσή του. Η αρχή αυτή αποτελεί και τη βάση για τη μεταφορά φαρμάκων και τη χρήση συμπληρωματικών ορμονών.

Από την άλλη όμως, η διεύθυνση προορισμού είναι ζωτικής σημασίας για δεδομενοκεντρικά δίκτυα. Οι νανοσυσκευές που συμμετέχουν στη διάδοση της πληροφορίας θα πρέπει να μπορούν να δρομολογούν τα πακέτα στον κατάλληλο δέκτη βάσει της διεύθυνσης αποστολής.

Τα νανοδίκτυα αναπτύσσονται για έναν συγκεκριμένο σκοπό ή εφαρμογή. Το αντικείμενο τους περιγράφεται στον κεντρικό ελεγκτή ή είναι κατανεμημένο στον εσωτερικό κώδικα του μετεχόντων νανοσυσκευών. Όλες οι διεπαφές μεταξύ του ελεγκτή μιας νανομηχανής, στον οποίο περιγράφονται οι λειτουργίες της κάθε εφαρμογής, καθώς και το ίδιο το νανοδίκτυο πρέπει να εξερευνηθούν.

Θα πρέπει να οριστούν συγκεκριμένες διεπαφές που να περιλαμβάνουν τα πρωτόκολλα και τις θεμελιώδεις αρχές προκειμένου να ξεκινήσει μια μετάδοση και να μεταφραστούν τα ληφθέντα μόρια σε πληροφορία σχετική με την εφαρμογή. Αυτές οι διεπαφές θα πρέπει να είναι διάθεσιμες στα μακροσυστήματα που συμμετέχουν στα νανοδίκτυα, πχ υπολογιστές που να ελέγχουν τα δίκτυα στον τομέα της βιοϊατρικής και του στρατού.

Η αξιοπιστία της επικοινωνίας είναι ένα άλλο κομβικό σημείο, καθώς κάποιες εφαρμογές απαιτούν αξιόπιστους μηχανισμούς για την παρακολούθηση ή να διακόπτουν επιλεκτικές μεταδόσεις ή διαδικασίες που συνεχίζονται. Κάποια συστήματα μοριακής επικοινωνίας υπόκεινται σε στοχαστικές διαδικασίες, με αποτέλεσμα να μην εγγυάται η λήψη του μεταδοθέντος μηνύματος από τον κατάλληλο δέκτη.

## 5.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Μία από τις βασικότερες προκλήσεις που συναντούμε αφορά την περίπτωση δικτύων που διασυνδέουν έναν τεράστιο αριθμό χρηστών και τερματικών συσκευών πάνω σε μια διαρκή σύνδεση πολλαπλών κατευθύνσεων. Το μέγεθος τέτοιων δικτύων, αναφερόμενοι στον αριθμό των κόμβων που το αποτελούν και των υπηρεσιών που τρέχουν, αναμένεται να ξεπεράσει κατά πολλές τάξεις μεγέθους αυτό του Internet.

Η ύπαρξη δικτύων με τόσο μεγάλο αριθμό αυτόνομων κόμβων (για παράδειγμα μέχρι κάποιες εκατοντάδες χιλιάδες όπως είναι τα Wireless Sensor Networks) επιφέρει

τεράστια κίνηση στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο και μπορεί εύκολα να ξεπεράσει τη χωρητικότητα του καναλιού. Αυτό σημαίνει πως συμβιβάζεται η αξιοπιστία του δικτύου εξαιτίας της απώλειας πακέτων είτε από συγκρούσεις στο τοπικό ασύρματο κανάλι είτε λόγω συμφόρησης που μπορεί να συμβεί κατά τη μεταφορά της πληροφορίας προς το σταθμό βάσης.

Καθώς το μέγεθος ενός δικτύου αυξάνει ο αριθμός των πιθανών δρόμων που μπορεί να ακολουθήσει η πληροφορία και επομένως είναι κρίσιμο να βρεθούν οι βέλτιστες διαδρομές ώστε ο χρόνος καθυστέρησης να κρατηθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Πέρα από αυτό, οι πίνακες δρομολόγησης επίσης αυξάνονται σε πολυπλοκότητα και μέγεθος, καθώς θα πρέπει να ανανεώνουν τις διαδρομές τους για να διαχειριστούν την αυξανόμενη κίνηση.

## 5.5 ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΑΝΟΔΙΚΤΥΩΝ

Σε αντίθεση με τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που δουλεύουν σε στατικό περιβάλλον αποτελούνται από ένα ζευγάρι πομπού και δέκτη και ένα κανάλι επικοινωνίας, στην περίπτωση των νανοδικτύων η αρχιτεκτονική τους εμφανίζει υψηλή δυναμικότητα, με την έννοια ότι η συμπεριφορά των κόμβων, η τηλεπικοινωνιακή κίνηση, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης αλλά και η συμπεριφορά του καναλιού και του δικτύου μεταβάλλονται σύμφωνα με εξωτερικά ερεθίσματα και παράγοντες.

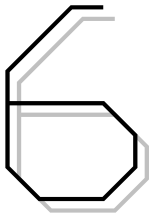
Η κινητικότητα των κόμβων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις διαστάσεις του δικτύου, ενώ οι περιβαλλοντικές συνθήκες σαν αποτέλεσμα αυτής της κίνησης επιδρούν στον ίδιο τον δίαυλο και η ποιότητα της ζεύξης γίνεται επίσης δυναμική. Επίσης σε εφαρμογές παρακολούθησης μέσω αισθητήρων, το μέγεθος της κίνησης μπορεί να αυξηθεί δραματικά τη στιγμή της ανίχνευσης του συμβάντος και μετά να φθίνει χρονικά. Αυτό το μεταβαλλόμενο φορτίο απαιτεί δυναμική αντιμετώπιση της χωρητικότητας του δικτύου.

Η διαχείριση των ραδιοσυχνοτήτων του φάσματος αποτελεί επίσης σημαντικό πρόβλημα και η δυναμική του διάθεση και πρόσβαση από χρήστες αποτελεί αντικείμενο των γνωσιακών δικτύων, όπου οι απαιτήσεις του καναλιού και το εύρος ζώνης που αλλάζει σύμφωνα με την κάθε εφαρμογή επιφέρουν δυσκολίες στον σχεδιασμό του δικτύου. Τα γνωσιακά δίκτυα επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος αντιλαμβανόμενα την κατάσταση του φάσματος στο χώρο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και έπειτα κατανέμουν τις ελεύθερες συχνότητες με δυναμικό τρόπο.

## 5.6 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η αύξηση του μεγέθους των δικτύων, τόσο αναφερόμενοι στην εξάπλωσή τους στον χώρο όσο και στον αριθμό των κόμβων που τα αποτελούν, οδηγεί στον αποκεντρωμένο έλεγχο του συστήματος. Από την άλλη, κάποια δίκτυα δε χρειάζονται συγκεκριμένη υποδομή όπως είναι τα ασύρματα ad hoc δίκτυα, ή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ενώ κάποια άλλα έχουν μη ενοποιημένη και ετερογενώς κατανεμημένη αρχιτεκτονική, όπως είναι τα γνωσιακά δίκτυα και το WiMax. Τέτοιου είδους περιβάλλοντα απαιτούν κατανεμημένη επικοινωνία και αλγορίθμους, χωρίς τη βοήθεια από κάποια συγκεντρωμένη μονάδα ελέγχου.

Παράλληλα, τα δίκτυα υπόκεινται σε αστοχίες και προβλήματα εξαιτίας δυσλειτουργιών που μπορεί να προκύψουν σε κάποιες επιμέρους συσκευές. Για παράδειγμα μπορεί σε ένα δίκτυο αισθητήρων να αποφορτιστούν οι μπαταρίες κάποιων κόμβων, ή να υπερφορτωθεί το δίκτυο δημιουργώντας μεγάλη συμφόρηση και η χωρητικότητά του να ξεπεραστεί.



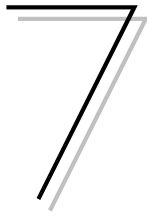
Η επιστήμη της νανοτεχνολογία θα έχει μεγάλο αντίκτυπο στην καθημερινή μας ζωή σε κάθε τομέα και η ανάπτυξή της θα προσφέρει λύσεις σε προβλήματα που μέχρι τώρα φάνταζαν άλυτα. Η χρήση και, πιο σημαντικά, ο έλεγχος ασύρματων δικτύων με νανοαισθητήρες θα επηρεάσουν κάθε πτυχή της κοινωνίας μας, από θέματα υγείας και περιβάλλοντος, μέχρι ζητήματα εθνικής ασφάλειας.

Η ανάπτυξη αισθητήρων τόσο μικρού μεγέθους δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς η ιδιότητες της ύλης αλλάζουν δραστικά στη νανοκλίμακα και παρουσιάζουν διαφορετικές συμπεριφορές από τις μακροσκοπικές αντίστοιχες υλοποιήσεις τους. Η δημιουργία ωστόσο νέων υλικών, με σημαντικότερη αυτή του γραφενίου, και μεθόδων έχουν ανοίξει το δρόμο για μια καινούρια προσέγγιση στην κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Προκειμένου για την υλοποίηση των νανοδικτύων έχουν αναζητηθεί και προταθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες στηρίζονται στην παρατήρηση των φαινομένων επικοινωνίας μεταξύ των μορίων και των κυττάρων, αφού στην ουσία το επίπεδο στο οποίο λειτουργούν τα νανοδίκτυα είναι το φυσικό επίπεδο εκδήλωσης της ζωής.

Είναι βέβαιο πως υπάρχουν διάφορες δυσκολίες που πρέπει να αρθούν μέχρι να βρουν ευρεία και καθημερινή εφαρμογή οι μέχρι τώρα τόσο θεωρητικές γνώσεις και προτάσεις, ωστόσο αναμένεται πως μέσα στην επόμενη εικοσαετία θα πραγματοποιηθεί πραγματικά μια επανάσταση στον τομέα της νανοτεχνολογίας αλλάζοντας προς το καλύτερο τα δεδομένα γύρω μας.





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

Το καθετί που υπάρχει γύρω μας, είτε είναι έμβιο είτε όχι αποτελείται από μόρια, τα οποία δημιουργούνται από διατάξεις χημικών στοιχείων. Η οργάνωση αυτών των μορίων σε κύτταρα είναι το χαρακτηριστικό εκείνο που διαχωρίζει τα έμβια όντα από τα άψυχα αντικείμενα.

Το κύτταρο είναι η μικρότερη δομική οντότητα ύλης που επιτελεί όλες τις απαραίτητες διεργασίες προκειμένου να εκδηλωθεί το φαινόμενο της ζωής. Συνιστά αυτόνομη μονάδα ζωής και αποτελείται από μια συστηματικά οργανωμένη ομάδα μορίων που αλληλεπιδρούν δυναμικά. Όλοι οι οργανισμοί, από τους πιο απλούς μέχρι και τους πιο σύνθετους αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κύτταρα.

Υπάρχουν δύο είδη κυττάρων, τα ευκαρυωτικά και τα προκαρυωτικά. Συνήθως τα προκαρυωτικά κύτταρα είναι ανεξάρτητα, συνιστούν δηλαδή μονοκύτταρους οργανισμούς, ενώ τα ευκαρυωτικά απαντώνται σε πολυκύτταρους οργανισμούς.

Οι μονοκύτταροι οργανισμοί αποτελούνται από ένα μόνο κύτταρο. Οι πιο πολλοί έχουν μικροσκοπικό μέγεθος που δεν ορατό με γυμνό μάτι και άλλοι, όπως κάποια πρωτόζωα και βακτήρια, είναι μακροσκοπικού μεγέθους, πχ η αμοιβάδα, τα φύκια.

### 7.1 ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

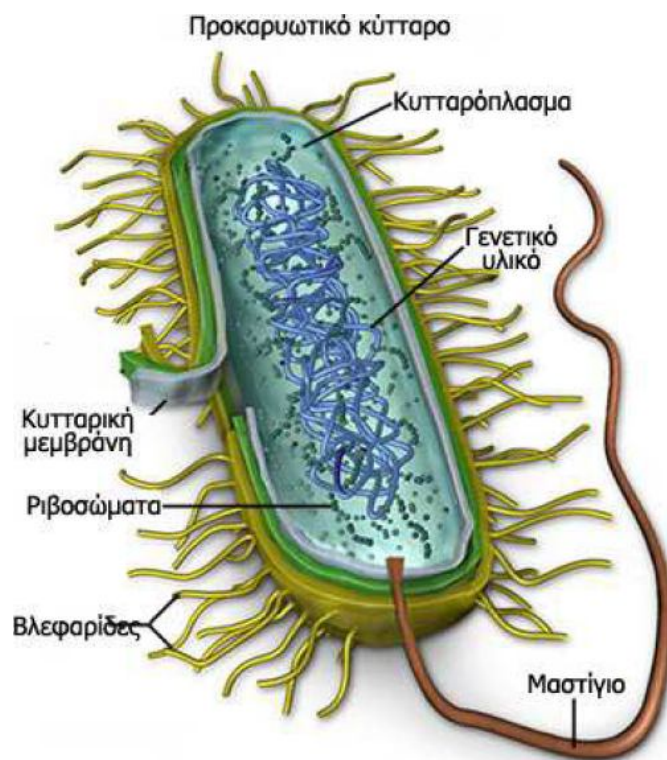
Τα προκαρυωτικά κύτταρα είναι τα πρώτα που εμφανίστηκαν στη Γη και ουσιαστικά αποτελούνται από τα αρχαιοβακτήρια και τα ευβακτήρια. Δεν έχουν ούτε πυρήνα ούτε μεμβρανικά οργανίδια ή κυτταροσκελετό.

Από έξω προς τα μέσα, τα πιο πολλά προκαρυωτικά κύτταρα αποτελούνται από μαστίγια και βλεφαρίδες που αποτελούνται από πρωτεΐνες και διευκολύνουν την κίνηση και την επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων.

Η κυτταρική μεμβράνη είναι ένα λεπτό περίβλημα που περιβάλλει το κύτταρο και το διαχωρίζει από το περιβάλλον του. Μέσω αυτής ελέγχει την είσοδο και έξοδο ουσιών από το κύτταρο, και συνεπώς αμύνεται απέναντι σε μικρόβια και τοξίνες που το

προσβάλλουν. Η κυτταρική μεμβράνη βοηθά το κύτταρο να κρατά τα συστατικά του ενωμένα, να επικοινωνεί με το περιβάλλον του, να τρέφεται και ταυτόχρονα να απεκκρίνει τις άχρηστες ουσίες.

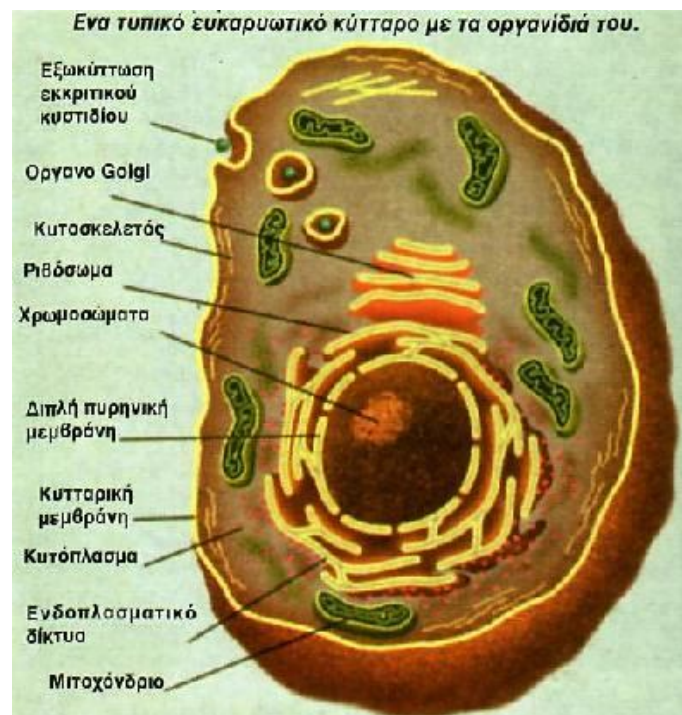
Μέσα στο κύτταρο υπάρχει το κυτταρόπλασμα, που στην ουσία είναι ο χώρος εσωτερικά της κυτταρικής μεμβράνης, είναι ζελατινώδες και αποτελείται από νερό και διαλυμένες σε αυτό ουσίες. Εκεί πραγματοποιούνται όλες οι λειτουργίες του κυττάρου και περιέχεται το γονιδίωμα του κυττάρου, τα ριβοσώματα, μέσω των οποίων το κύτταρο συνθέτει τις απαραίτητες πρωτεΐνες. Το γενετικό υλικό των προκαρυωτικών κυττάρων αποτελείται από ένα μόνο χρωμόσωμα που είναι σε άμεση επαφή με το κυτταρόπλασμα και η μη ορισμένη αυτή περιοχή αυτή ονομάζεται νουκλεοειδές.



Σχήμα 7.1: Δομή ενός προκαρυωτικού κυττάρου

## 7.2 ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Κατά την πορεία της εξέλιξης, κι επειδή το γενετικό υλικό των κυττάρων έπρεπε να προφυλαχθεί από διάφορα μικρόβια ή χημικές ουσίες, σχηματίστηκε ο πυρήνας ο οποίος χωρίζεται από το κυτταρόπλασμα με μια διπλή μεμβράνη, την πυρηνική μεμβράνη, που επιλέγει ποιες ουσίες θα ανταλλαχτούν μεταξύ του πυρήνα και του κυτταροπλάσματος. Ο πυρήνας περιέχει σχεδόν όλο το γενετικό υλικό ενός κυττάρου και τα κύτταρα που τον διαθέτουν ονομάζονται ευκαρυωτικά. Στον πυρήνα του υπάρχουν τα χρωμοσώματα στα οποία βρίσκονται πολλά γονίδια τα οποία ελέγχουν τα χαρακτηριστικά του οργανισμού που κληρονομούνται.

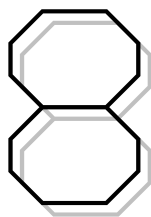


Σχήμα 7.2: Δομή ενός ευκαρυωτικού κυττάρου

Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί μπορεί να είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι, όπως τα φυτά και τα ζώα.

Ο χώρος εντός του οποίου βιώνουν τα κύτταρα των πολυκύτταρων οργανισμών ονομάζεται μεσοκυττάριο υγρό . Τα κύτταρα προσλαμβάνουν από το μεσοκυττάριο υγρό όλα τα απαραίτητα συστατικά για την επιβίωσή τους ενώ αντίθετα αποβάλλουν σ' αυτό παράγωγα του μεταβολισμού τους. Στους ανώτερους ζωϊκούς οργανισμούς το μεσοκυττάριο υγρό αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ αίματος και κυττάρων.

Οι μεγάλες ομάδες ομοειδών κυττάρων που επιτελούν την ίδια λειτουργία χαρακτηρίζονται ιστοί. Πολλοί διαφορετικοί ιστοί φτιάχνουν ένα όργανο, το οποίο επίσης επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Με τον ίδιο συλλογισμό, πολλά όργανα μαζί αποτελούν ένα σύστημα οργάνων και πολλά συστήματα οργάνων απαρτίζουν έναν οργανισμό.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:

### ΓΡΑΦΕΝΙΟ

Τα τελευταία χρόνια έχει προκαλέσει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα η κατασκευή του γραφένιου, ενός καινοφανούς υλικού με εξαιρετικές ιδιότητες, στους δημιουργούς του οποίου Andre Geim και Konstantin Novoselov απονεμήθηκε το 2010 το βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Το γραφένιο είναι κατά βάση μια πολύ λεπτή στρώση γραφίτη, με πάχος μόνο ενός ατόμου άνθρακα. Αποτελείται από έξι μόρια άνθρακα, σχηματίζοντας έτσι μια εξαγωνική κυψέλη. Η δομή του γραφενίου, επειδή δεν παραμένει τελείως επίπεδη, αλλά γέρνει ελαφρώς, επιτρέπει στη διάταξη να αποκτήσει τρίτη διάσταση και συνεπώς της επιτρέπει να παραμείνει ενωμένη.

Παρόλο που είναι το λεπτότερο υλικό που έχει δημιουργηθεί ποτέ, είναι εξαιρετικά δύσκαμπτο και ανθεκτικό. Άγει πρωτοφανώς το ηλεκτρικό ρεύμα πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο υλικό, ενώ η αντίστασή του στο ηλεκτρικό ρεύμα είναι τουλάχιστον 35% μικρότερη από το ασήμι, το υλικό με την χαμηλότερη αντίσταση σε θερμοκρασία δωματίου, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για την ηλεκτρονική και τη φωτονική τεχνολογία.

Το γραφένιο μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερα και μικρότερα τρανζίστορες με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και απώλεια θερμότητας από το πυρίτιο που μέχρι και τώρα χρησιμοποιείται ευρέως. Η εξαιρετική κινητικότητα και ταχύτητα των ηλεκτρονίων του γραφενίου επιτρέπει τη διαχείριση σημάτων στη συχνοτική περιοχή των THz, κάτι που μπορεί να βρει εφαρμογή τόσο στην υλοποίηση νανοσυσκευών Η/Μ ακτινοβολίας, όσο και σε ταχύτητες Internet της τάξης των 10 Gbps. Η μεγάλη επιφάνεια του γραφενίου

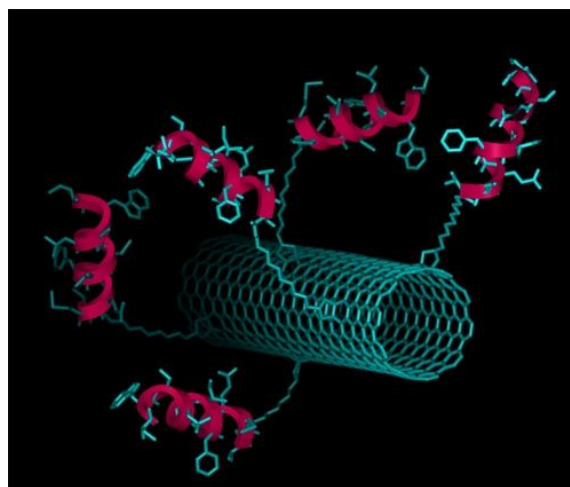
επιτρέπει την κατασκευή αισθητήρων και τη δημιουργία πυκνωτών με χωρητικότητα πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τις μπαταρίες, διότι αυξάνεται η ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποθηκευτεί αφού αυξάνεται ο λόγος επιφάνεια/μάζα.

Στα πλαίσια αυτά, από το γραφένιο και τα παράγωγά του έχουν προκύψει οι νανοράβδοι γραφενίου (Graphene Nanoribbons - GNRs) και οι νανοσωλήνες άνθρακα (Carbon Nanotubes - CNTs), οι ιδιότητες των οποίων μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για πολλούς τύπους αισθητήρων και χρησιμοποιούνται ευρέως στην νανοτεχνολογία και στην κατασκευή νανοδομών και αναμένονται να αλλάξουν τον τρόπο που υλοποιούνται οι τρέχουσες τεχνολογίες και να φέρουν καινούριες.

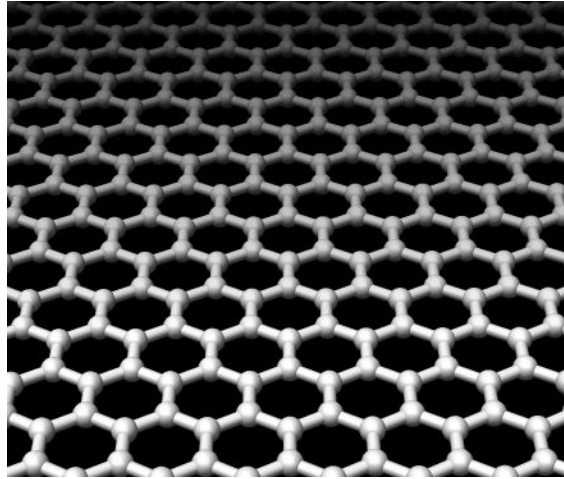
Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι αλλοτροπικές μορφές άνθρακα με κυλινδρική νανοδομή, και φαίνονται στο σχήμα 8.1. Είναι περίπου 100 φορές πιο δυνατοί από το ατσάλι, έχουν πολύ μικρότερη αντίσταση από τον χαλκό ενώ μεταφέρουν θερμότητα καλύτερα από το διαμάντι. Έχουν ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρικών, θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων, που τους δίνει τη δυνατότητα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές τρέχουσες και μελλοντικές εφαρμογές.

Κάποιες από τις εφαρμογές τους περιλαμβάνουν τη δημιουργία αγωγίμων και πολύ δυνατών δομών, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και μετατροπείς, αισθητήρες, πηγές ακτινοβολίας και συσκευές αποθήκευσης υδρογόνου.

Οι νανοράβδοι γραφενίου είναι λεπτές λωρίδες γραφενίου και μπορούν να προκύψουν από μη διπλωμένους νανοσωλήνες άνθρακα μονού τοιχίου, δηλαδή ενός τοιχώματος γραφενικού επιπέδου. Η δομή των νανοραβδών φαίνεται στο σχήμα 8.2.



Σχήμα 8.1: CNT



Σχήμα 8.2: GNR

## Ορολογία

**ATP:** Το ATP είναι ένα πολυλειτουργικό νουκλεοτίδιο που χρησιμοποιείται στα κύτταρα σαν συνένζυμο. Το ATP μεταφέρει χημική ενέργεια μέσα στα κύτταρα για μεταβολικές διεργασίες. Παράγονται μέσω της φωτοφωσφορυλίωσης και της κυτταρικής αναπνοής και χρησιμοποιείται από τα ένζυμα και από δομικές πρωτεΐνες (κυτταροσκελετός) σε πολλές κυτταρικές διεργασίες όπως είναι οι βιοσυνθετικές αντιδράσεις, κυτταρική διαίρεση και η κινητικότητα. Οι μεταβολικές διεργασίες που χρησιμοποιούν τα ATP μόρια ως πηγή ενέργειας τα μετατρέπουν στη συνέχεια ξανά στην πρωταρχική τους μορφή, συνεπώς ανακυκλώνονται διαρκώς. Όλοι οι οργανισμοί παράγουν ATP μόρια, τα οποία είναι το καθολικό ενεργειακό νόμισμα της ζωής.

**Bit:** είναι η βασική μονάδα ψηφιακής πληροφορίας και αποτελεί το μέγεθος της πληροφορίας που αποθηκεύεται σε μια ψηφιακή συσκευή ή σε κάποιο φυσικό σύστημα που ενέχει δύο διακριτές καταστάσεις.

**Broadcast:** αποστολή ενός πακέτου πληροφορίας σε όλους τους δέκτες του υποδικτύου.

**CNT (Carbon Nanotube):** αλλότροπο άνθρακα με κυλινδρική δομή με ασυνήθιστες ιδιότητες κατάλληλες για εφαρμογές στη νανοτεχνολογία, ηλεκτρονική και οπτικά συστήματα (βλ. Παράρτημα Β).

**DNA:** περιέχει τις γενετικές οδηγίες που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη και λειτουργία όλων των γνωστών ζωντανών οργανισμών, πλην των ιών που έχουν RNA ως γενετικό υλικό. Είναι μια μεγαλομοριακή ένωση που συγκροτείται από τέσσερις αζωτούχες βάσεις (την κυτοσίνη, τη γουανίνη, τη θυμίνη και την αδείνη), οι οποίες ανάλογα με την αλληλουχία τους κωδικοποιούν την πληροφορία, από φωσφορικές ρίζες και από το σάκχαρο δεσοξυριβόζη. Τα μόρια του DNA αποτελούνται από δύο αντιτακτές αλυσίδες οι οποίες και συστρέφονται ελικοειδώς μεταξύ τους και οι βάσεις των οποίων έχουν καθορισμένα ζευγάρια. Η κυτοσίνη ενώνεται με την γουανίνη, και η θυμίνη με την αδείνη. Οι αζωτούχες βάσεις, ανάλογα με την αλληλουχία τους, κωδικοποιούν την πληροφορία

**GNR (Graphene NanoRibbon):** λεπτές λωρίδες γραφενίου (βλ. Παράρτημα Β).

**Multicast:** η ταυτόχρονη αποστολή πακέτου πληροφορίας σε ένα γκρουπ αποδεκτών σε μία μόνο μετάδοση.



**Scaffold:** ικρίωμα, πρωτεΐνες με κύριο ρόλο να φέρνουν σε επαφή άλλες πρωτεΐνες για να γίνει δυνατή μια συγκεκριμένη αντίδραση (ως σκαλωσιά-ικρίωμα για τη στήριξη της αντίδρασης)

**Selective fading (frequency selective):** Ο επιλεκτικός ως προς τη συχνότητα δίαυλος εισάγει απώλειες που προκαλούνται από τη μερική ακύρωση ενός σήματος που την προκαλεί στον εαυτό του, καθώς το σήμα φτάνει στον δέκτη από δύο διαφορετικά μονοπάτια, όπου τουλάχιστον το ένα μεταβάλλεται διαρκώς. Αυτό συμβαίνει συνήθως είτε νωρίς το πρωί είτε νωρίς το απόγευμα, όπου τα διάφορα στρώματα της ιονόσφαιρας μετακινούνται, χωρίζονται και ενώνονται. Οι δύο διαδρομές μπορούν να δημιουργούνται είτε λόγω της διάθλασης του κύματος από την ιονόσφαιρα προς την επιφάνεια της Γης, είτε μέσω των επιφανειακών κυμάτων που διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια της Γης, και ανάλογα με την αγωγιμότητα της επιφάνειας ταξιδεύουν με μεγαλύτερη ή μικρότερη απώλεια ενέργειας.

**Water-filling:** βέλτιστη μέθοδος ανακατανομής ισχύος η οποία θα πρέπει να εφαρμοστεί στις κεραιές ενός MIMO συστήματος, ώστε να επιτευχθεί μέγιστη χωρητικότητα.

**Unicast:** αποστολή πακέτων πληροφορίας από έναν αποστολέα σε έναν και μόνο παραλήπτη δικτύου.

**Αισθητήρας:** μία συσκευή η οποία μετρά μία φυσική ποσότητα και τη μετατρέπει σε ένα σήμα.

**Αλλότροπα:** είναι τα χημικά στοιχεία τα οποία μπορούν να υπάρχουν σε δύο ή παραπάνω διαφορετικές μορφές. Αποτελούν διαφορετικές δομικές τροποποιήσεις ενός στοιχείου, όπου δηλαδή τα άτομα του στοιχείου είναι δεμένα με διαφορετικό τρόπο.

**Αναστολείς αυτοκτονίας:** ένζυμα που οδηγούν σε μη αναστρέψιμη ενζυμική αυτοκτονία, η οποία συμβαίνει όταν αυτά τα ένζυμα αναστολείς παρουσιάζονται «γνώριμα» στο ένζυμο που προσπαθούν να αναστείλουν. Το ένζυμο αυτό τροποποιεί τα μόρια αναστολείς και δημιουργεί ένα νέο μόριο με το οποίο το ένζυμο συνδέεται εκ νέου και στην ουσία η νέα αυτή δομή λειτουργεί τελείως διαφορετικά, το ένζυμο έχει σταματήσει πλήρως τις λειτουργίες του.

**Ανάστροφη τρανσκριπτάση:** ένζυμο που είναι υπεύθυνο για τη μεταγραφή μονόκλωνου RNA σε δίκλωνο DNA.

**Βιοδιαθεσιμότητα:** αναφέρεται στο ρυθμό, την ένταση και το ποσοστό που η δραστική ουσία ενός φαρμάκου χρειάζεται να μπει στη συστηματική κυκλοφορία ή να φτάσει στο σημείο δράσης.

**Γραφένιο:** αλλότροπο άνθρακος, στην ουσία ένα πολύ λεπτό φύλλο γραφίτη, πάχους μόνο ενός ατόμου άνθρακα.

**Γονίδιο:** Το γονίδιο είναι η βασική φυσική μονάδα κληρονομικότητας στους ζωντανούς οργανισμούς ή οποία και μεταβιβάζει πληροφορίες από το ένα κύτταρο σε άλλο και κατ' επέκταση από τη μια γενιά στην άλλη. Το γονίδια συνθέτουν το γονιδίωμα ενός οργανισμού, που αποτελείται από DNA και RNA, και κατευθύνουν τη φυσική ανάπτυξη και συμπεριφορά του οργανισμού.

**Γονιδίωμα:** το σύνολο του γενετικού υλικού ενός οργανισμού. Είναι κωδικοποιημένο είτε σε ακολουθίες DNA είτε RNA.

**Γονότυπος:** Ο γονότυπος αποτελεί το σύνολο των γονιδίων ενός οργανισμού.

**Δευτερογενείς αγγελιοφόροι:** μόρια που μεταβιβάζουν τα σήματα από τους υποδοχείς των κυττάρων στην επιφάνεια τους προκειμένου να στοχεύσουν μόρια στο εσωτερικό του κυττάρου, στο κυτταρόπλασμα ή τον πυρήνα. Μεταβιβάζουν σήματα ορμονών όπως είναι η επινεφρίνη (αδρεναλίνη) κλπ και προκαλούν κάποιο είδος αλλαγή στη δραστηριότητα του κυττάρου. Ενισχύουν σημαντικά τη δύναμη του σήματος.

**Δίαυλος:** αναφέρεται είτε στο φυσικό μέσο μετάδοσης, πχ μέσω οπτικών ινών, διπλαγωγών ή ομοαξονικών καλωδίων, είτε στη λογική σύνδεση, με τη χρήση πρωτοκόλλων και ροής byte, που υφίσταται προκειμένου μεταδοθεί ένα σήμα πληροφορίας.

**Διάχυση:** η τάση των μορίων μιας ουσίας να διασπείρονται από περιοχές υψηλότερης συγκέντρωσης προς τις περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης

**Ενδονουκλεάσες:** ένζυμα που κόβουν κλώνους DNA από το εσωτερικό τους, αυξάνοντας το ρυθμό της υδρόλυσης των φωσφορικών ριζών.

**Ενδοπλασματικό δίκτυο:** Το ενδοπλασματικό δίκτυο είναι ένα ευκαρυωτικό οργανίδιο που σχηματίζει ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο από σωληνάρια, κύστες και ακυτταρικές κλειστές κοιλότητες μέσα στα κύτταρα. Στο αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο συνθέτονται πρωτεΐνες, ενώ στο λείο συνθέτονται λιπίδια και στεροειδή, μεταβολίζονται οι υδατάνθρακες και τα στεροειδή, ρυθμίζεται η συγκέντρωση του ασβεστίου, η αποτοξίνωση των φαρμάκων και η προσάρτηση των υποδοχέων στις πρωτεΐνες των κυτταρικών μεμβρανών.

**Ένζυμο:** τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες που αυξάνουν το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων. Σχεδόν όλες οι χημικές αντιδράσεις στα βιολογικά κύτταρα χρειάζονται τα ένζυμα για να πραγματοποιηθούν σε ρυθμούς που απαιτούνται για την ύπαρξη ζωής.

**Ένζυμα περιορισμού:** ένζυμα που μπορούν να μοιράσουν το DNA σε συγκεκριμένες ακολουθίες DNA που ονομάζονται θέσεις περιορισμού.

**Επινεφρίνη:** Η επινεφρίνη είναι ορμόνη και νευροδιαβιβαστής.

**Ηλεκτροφόρηση:** η κίνηση διασκορπισμένων σωματιδίων σε ένα ρευστό υπό την επήρεια ενός χωρικά μονομορφικού ηλεκτρικού πεδίου.

**Ηλεκτροχημική διαφορά:** Η ηλεκτροχημική διαφορά είναι μια χωρική διαφορά του ηλεκτρικού δυναμικού και της χημικής συγκέντρωσης κατά μήκος μιας μεμβράνης. Το αποτέλεσμα αυτού μπορεί να είναι ένα είδος δυναμικής ενέργειας (δυνατότητα ενός συστήματος να παράγει έργο επειδή βρίσκεται μέσα σε ένα πεδίο δυνάμεων) που θα επιτελέσει έργο σε ένα κύτταρο.

**Ιξώδες:** μέτρο της αντίστασης που παρουσιάζουν τα υγρά και τα αέρια κατά τη ροή τους.

**Ιντερφερόνες:** είναι πρωτεΐνες που παράγονται και απελευθερώνονται από τα κύτταρα του ξενιστή κατά την παρουσία παθογόνων, όπως είναι οι ιοί, τα βακτήρια και τα παράσιτα και όγκων. Επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων για να ενεργοποιήσουν προστατευτικούς μηχανισμούς του ανοσοποιητικού συστήματος προκειμένου να εξαλείψουν τις ξένες και βλαβερές οντότητες.

**Κολλαγόνο:** ομάδα πρωτεϊνών που απαντάται στα ζώα, κυρίως στη σάρκα και στους συνδετικούς ιστούς των θηλαστικών. Αποτελεί το κύριο συστατικό του συνδετικού ιστού και η ινώδης του μορφή είναι πολύ σημαντική για την αναπαραγωγή και ανάπτυξη των κυττάρων.

**Κυτταρική αναπνοή:** Η κυτταρική αναπνοή είναι το σύνολο των μεταβολικών αντιδράσεων και διεργασιών που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό των κυττάρων των οργανισμών για να μετατρέψει βιοχημική ενέργεια από θρεπτικά συστατικά (ζάχαρη, αμινοξέα και λιπαρά οξέα) σε ATP μόρια και στη συνέχεια να απελευθερώσουν απόβλητα.

**Κυτταρική μεμβράνη:** η εξωτερική μεμβράνη που περιβάλλει το κύτταρο και διαχωρίζει το εσωτερικό του από το περιβάλλον του και ούσα διαπερατή επιτρέπει επιλεκτικά την είσοδο ιόντων και οργανικών μορίων στο εσωτερικό του. Έχει τρίστιβη δομή, αποτελείται από διπλό στρώμα φωσφολιπιδίων με υδρόφιλες κεφαλές και υδρόφοβες ουρές, ενωμένο εκατέρωθεν σε ενδιάμεσο στρώμα αποτελούμενο από πρωτεΐνες και σάκχαρα.

**Κυτταροσκελετός :** περίπλοκο δίκτυο πρωτεϊνικών ινιδίων που εκτείνεται σε όλο το κυτταρόπλασμα. Στηρίζει τα οστά, προκαλεί την κίνηση των μυών και προωθεί τις ενδοκυττάρειες κινήσεις (μεταφορά οργανιδίων, μοίρασμα χρωμοσωμάτων και διαχωρισμό θυγατρικών κυττάρων).

**Λιποσώματα:** μικρές κοίλες κυψελίδες των οποίων οι μεμβράνες αποτελούνται από ένα διπλό στρώμα φωσφολιπιδίων. Μπορούν να απορροφήσουν και να μεταφέρουν ουσίες διαλυτές στο νερό και παράγοντες διαλυτούς σε λιπαρές δομές.

**Μαγνητικά νανοσωματίδια:** νανοσωματίδια που μπορούν να ελεγχθούν μέσω μαγνητικών πεδίων. Τέτοια σωματίδια αποτελούνται από στοιχεία όπως είναι ο σίδηρος, νικέλιο, κοβάλτιο και τα χημικά τους παράγωγα.

**Μεταφορικές πρωτεΐνες:** Οι μεταφορικές πρωτεΐνες στη μεμβράνη του κυττάρου εισάγουν μόρια από το εξωτερικό του κυττάρου στο εσωτερικό του χρησιμοποιώντας ενέργεια καθώς και αντίστροφα.

**Μιτοχόνδρια:** οργανίδια με μεμβράνη και συναντώνται σε πιο πολλά ευκαρυωτικά κύτταρα. Παράγουν το μεγαλύτερο μέρος της ATP παροχής που χρησιμοποιείται σαν πηγή χημικής ενέργειας.

**Νανορομπότ:** μια αυτόματη έξυπνη συσκευή η οποία αποτελείται από δομικά στοιχεία νανομέθους, κατασκευασμένη με μοριακή ακρίβεια.

**Νανοσωματίδιο:** οντότητα που λειτουργεί ως αυτόνομη μονάδα όσον αφορά στη μετακίνηση και τις ιδιότητές της. Το μέγεθος ενός νανοσωματιδίου κυμαίνεται από 1-100 nm.

**Νευροδιαβιβαστές :** Οι νευροδιαβιβαστές είναι ενδογενείς βιοχημικές ενώσεις που μεταφέρουν σήματα-πληροφορία από έναν νευρώνα σε συγκεκριμένα κύτταρα κατά μήκος των συνάψεων.

**Νευρώνες:** Οι νευρώνες είναι κύτταρα που διεγείρονται από τον ηλεκτρισμό που επεξεργάζεται και μεταφέρει πληροφορίες μέσω ηλεκτρικών και χημικών σημάτων. Οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν νευρικά δίκτυα και εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία.

**Νουκλεοτίδια:** Τα νουκλεοτίδια είναι μόρια που όταν ενώνονται συνιστούν δομικές μονάδες για το DNA και RNA. Επιπλέον διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις μεταβολικές διεργασίες ως πηγή χημικής ενέργειας, συμμετέχουν στη μοριακή σηματοδότηση και ενσωματώνονται σε σημαντικά συνένζυμα ενζυματικών αντιδράσεων.

**Ξενιστής:** οργανισμός που κρατά μέσα του ένα παράσιτο ή κάποιον άλλον οργανισμό με τον οποίο συμβιώνει.

**Ορμόνη:** Η ορμόνη είναι μια χημική ουσία που απελευθερώνεται από ένα κύτταρο ή αδένα σε ένα μέρος του σώματος και στέλνει μηνύματα που επηρεάζουν άλλα κύτταρα σε διαφορετικά σημεία. Μόνο ένας μικρός αριθμός ορμονών απαιτείται για να αλλάξει τον μεταβολισμό των κυττάρων. Κατ' ουσία είναι ένας χημικός αγγελιοφόρος που μεταφέρει ένα σήματα από ένα κύτταρο σε άλλο.

**Παρεμβολή:** οτιδήποτε αλλάζει, τροποποιεί ή διαταράσσει ένα σήμα καθώς αυτό ταξιδεύει κατά μήκος ενός καναλιού μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη.

**Πεπτίδια:** μικρά πολυμερή από αμινοξέα ενωμένα με πεπτιδικούς δεσμούς

**Πολυμερές:** Πολυμερή ονομάζονται οι χημικές ενώσεις μακρομορίων που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες δομικές μονάδες.

**Πρόσδεμα:** μικρό μόριο το οποίο μπορεί να ενωθεί με ένα μεγαλύτερο προκειμένου να δρομολογήσει μία εργασία.

**Πρωτεΐνες:** Οι πρωτεΐνες είναι βιοχημικές ενώσεις που αποτελούνται από μικρότερες ενώσεις, τα αμινοξέα και διευκολύνουν τις βιολογικές λειτουργίες. Υπάρχουν είκοσι αμινοξέα, τα οποία συνενώνονται σε μια μεγάλη αλυσίδα και στη συνέχεια διπλώνονται συνήθως σε σφαιρική ή ινώδη δομή. Οι πρωτεΐνες συνιστούν μία εκ των βασικότερων δομών σε κάθε μορφή ζωής και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και ανασύσταση του οργανισμού. Η διαίρεση των κυττάρων, η επιδιόρθωση κατεστραμμένων κυττάρων, οι ορμόνες και το ανοσοποιητικό μας σύστημα βασίζονται στις πρωτεΐνες και καθώς και επικοινωνούν μέσω αυτών.

**Πρωτογενείς αγγελιοφόροι:** μόρια που μεταφέρουν την πληροφορία από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κυττάρου.

**Σαρκοπλασματικό δίκτυο:** Το σαρκοπλασματικό δίκτυο είναι ένα είδος λείου ER που βρίσκεται στους λείους και γραμμωτούς μύες (σκελετικοί και καρδιακοί μύες). Το SR αποθηκεύει αντλεί ιόντα ασβεστίου.

**Σύναψη:** Οι συνάψεις είναι δομές που επιτρέπουν σε έναν νευρώνα να μεταφέρουν ένα ηλεκτρικό ή χημικό σήμα σε ένα άλλο κύτταρο.

**Συνένζυμο:** Το συνένζυμο είναι μια μη πρωτεϊνική χημική δομή που συνδέεται σε μία πρωτεΐνη και απαιτείται για τη βιολογική δραστηριότητα της πρωτεΐνης. Η τελική δομή αυτή ονομάζεται ένζυμο που καταλύουν, δηλαδή αυξάνουν ή μειώνουν το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων. Στις ενζυμικές αντιδράσεις τα μόρια στην αρχή της διαδικασίας

ονομάζονται υποστρώματα και μετατρέπονται σε διαφορετικά μόρια που ονομάζονται προϊόντα.

**Τηλεπικοινωνιακό κανάλι:** βλέπε διάυλος

**Υποδοχέας:** μόριο το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια ενός κυττάρου, το οποίο δεχόμενο ένα συγκεκριμένο σήμα καλείται να δράσει και να επιτελέσει μια λειτουργία.

**Φαινότυπος:** Ο φαινότυπος αποτελεί όλα τα μορφολογικά, παραγωγικά, ηθολογικά κλπ χαρακτηριστικά που εκδηλώνει ένας οργανισμός σε μια δεδομένη στιγμή, δηλαδή είναι το μέρος του γονότυπου που μπορούμε να παρατηρήσουμε άμεσα ή έμμεσα ,και εξαρτάται από τον γονότυπο που του κληροδοτήθηκε και από μη κληρονομικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Η φαινοτυπική διακύμανση είναι απαραίτητη για να υπάρχει εξέλιξη μέσω της φυσικής επιλογής.

**Φυσική επιλογή:** Η φυσική επιλογή είναι η διαδικασία εξέλιξης των ειδών μέσω της οποίας οι οργανισμοί που είναι καλύτερα προσαρμοσμένοι στο περιβάλλον αφήνουν περισσότερους απογόνους από εκείνους που είναι λιγότερο προσαρμοσμένοι.

**Φωτοφωσφορυλίωση:** Η φωτοφωσφορυλίωση είναι η παραγωγή ATP μορίων χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένα ηλεκτρόνιο υψηλής ενεργειακής στάθμης – δωρητής και ένα ηλεκτρόνιο χαμηλής ενεργειακής στάθμης – αποδέκτης. Τότε τα ηλεκτρόνια κινούνται αυθόρμητα από τον δωρητή στον αποδέκτη μέσω μιας ηλεκτρονιακής μεταφορικής αλυσίδας.

**Χρωμόσωμα:** μια οργανωμένη δομή από DNA και πρωτεΐνες, η οποία απαντάται στο εσωτερικό των κυττάρων. Είναι ένα κομμάτι σπειροειδούς DNA που περιέχει πολλά γονίδια, ρυθμιστικές ακολουθίες και άλλες ακολουθίες νουκλεοτιδίων.

## Βιβλιογραφία

- [1] J. Clarence Davies, “**Managing the effects of nanotechnology**”.
- [2] I. F. Akyildiz, and J. M. Jornet, “**Electromagnetic wireless nanosensor networks**”.
- [3] Mark Ratner, and Daniel Ratner, “**Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea**”.
- [4] Kaizan Kalyaniwalla, “**Nanodiagnostics**”.
- [5] L. A. Smith, and P. X. Ma, “**Nano-fibrous scaffolds for tissue engineering**”.
- [6] Tiju Joseph, and Mark Morrison, “**Nanotechnology in agriculture and food**”.
- [7] I. F. Akyildiz, F. Brunetti, and C. Blásquez, “**Nanonetworks: A new communication paradigm**”.
- [8] I. F. Akyildiz, J. M. Jornet, and M. Pierobon, “**Propagation models for nanocommunications networks**”.
- [9] Michael J. Sanderson, Andrew C. Charles, Scott Boitano and Ellen R. Dirksen, “**Mechanisms and function of intercellular calcium signaling**”.
- [10] Tadashi Nakano, Tatsuya Suda, Michael Moore, Ryota Egashira, Akihiro Enomoto and Kayo Arima, “**Molecular communication for nanomachines using intercellular calcium signaling**”.
- [11] Michael Moore, Akihiro Enomoto, Tadashi Nakano, Ryota Egashira, Tatsuya Suda, Atsushi Kayasuga, Hiroaki Kojima, Hitoshi Sakakibara and Kazuhiro Oiwa, “**A design of a molecular communication system for nanomachines using molecular motors**”.

- [12] Akihiro Enomoto, Michael Moore, Tadashi Nakano, Ryota Egashira ,Tatsuya Suda, Atsushi Kayasuga, Hiroaki Kojima, Hitoshi Sakakibara and Kazuhiro Oiwa, “**A molecular communication system using a network of cytoskeletal filaments**”.
- [13] Tatsyua Suda, Michael Moore, Tadashi Nakano, Ryota Egashira, Akihiro Enomoto, Satoshi Hiyama, and Yuki Moritani, “**Exploratory research on molecular communication between nanomachines**”.
- [14] Maria Gregori, and Ian F. Akyildiz Fellow, IEEE, “**A new nanonetwork architecture using flagellated bacteria and catalytic nanomotors**”.
- [15] Maria Gregori, Ignacio Llatser, Albert Cabellos-Aparicio and Eduard Alarcón, “**Physical channel characterization for medium-range nanonetworks using flagellated bacteria**”.
- [16] L. P. Giné, and I. F. Akyildiz, “**Molecular communication options for long range nanonetworks**”.
- [17] J. M. Jornet, and I. F. Akyildiz, “**Channel capacity of electromagnetic nanonetworks in the terahertz band**”.
- [18] Baris Atakan and Ozgur B. Akan, “**On channel capacity and error compensation in molecular communication**”.
- [19] F. Dressler, and O. B. Akan, “**A survey on bio-inspired networking**”.
- [20] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [21] [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- [22] [www.understandingnano.com](http://www.understandingnano.com)