

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ  
ΘΕΜΑ “ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ  
ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ  
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ  
Η/Υ”**

**ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ: 2007-2008**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:ΛΙΟΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:ΧΑΛΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ Α.Μ. :3087**



# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

- 1.1. Προσομοίωση
- 1.2. Εφαρμογές της προσομοίωσης
- 1.3. Συστήματα, Μοντέλα και τρόποι μελέτης ενός συστήματος
  - 1.3.1. Τα στοιχεία ενός συστήματος
  - 1.3.2. Συνεχή και Διακεκριμένα συστήματα
  - 1.3.3. Τρόποι μελέτης ενός συστήματος
  - 1.3.4. Μοντέλα προσομοίωσης
- 1.4. Προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων
- 1.5. Προσομοίωση συνεχούς χρόνου
- 1.6. Συνδυασμός προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων - συνεχούς χρόνου
- 1.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης
- 1.8. Στάδια ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης
- 1.9. Γλώσσες προσομοίωσης γενικού σκοπού
  - 1.9.1. GPSS
  - 1.9.2. SLAM
  - 1.9.3. SIMAN
  - 1.9.4. GASP IV
  - 1.9.5. SIM SCRIPT
  - 1.9.6. MODSIM
  - 1.9.7. SIMNET
- 1.10. Η εφαρμογή της προσομοίωσης στα δίκτυα υπολογιστών.
- 1.11. Η επιλογή ενός εργαλείου προσομοίωσης στα δίκτυα επικοινωνιών
- 1.12. Τι είναι το COMNET III;
  - 1.12.1. Βασικά στοιχεία του COMNET III
  - 1.12.2. Τοπολογία δικτύου (Network Topology)

- 1.12.3. Κόμβοι-(nodes) –
- 1.12.4. Συνδέσεις (Links)
- 1.12.5. Θύρες (Ports)
- 1.12.6 Υποδίκτυα (Subnets)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΥΠΟΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ.**

- 2.1 Αρχιτεκτονική GSM Δικτύων
- 2.2 Κατηγορίες Λογικών Καναλιών
- 2.3 Ο κινητός σταθμός βάσης
- 2.4 ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ SS7 (Signaling System 7)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΝ UMTS/3G (BACKBONE)**

- 3.1 Το Σύστημα UMTS
- 3.2 Η δομή του UMTS
- 3.3 Διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων
- 3.4 Κανάλια μεταφοράς
- 3.5 Μετάδοση δεδομένων
- 3.6 Τα handover στο UMTS



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ**

**4.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

**4.2 ΤΟ SIMULATION ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ**

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

### ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

#### 1.1 Προσομοίωση

Η *προσομοίωση* είναι η «μίμηση» της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος και η παρακολούθηση της εξέλιξης του μέσα στο χρόνο. Η προσομοίωση δημιουργεί ένα τεχνητό ιστορικό του συστήματος, η μελέτη του οποίου μας βοηθά να καταλάβουμε τη συμπεριφορά του αντίστοιχου πραγματικού συστήματος.

Η μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος όπως αυτό εξελίσσεται μέσα στον χρόνο γίνεται με την ανάπτυξη ενός *μοντέλου προσομοίωσης*. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί μία σειρά από υποθέσεις που στηρίζονται στη λειτουργία του πραγματικού συστήματος. Οι υποθέσεις αυτές εκφράζονται μέσω μαθηματικών, λογικών και συμβολικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος. Μετά την ανάπτυξη και τον έλεγχο του μοντέλου, αρχίζουμε να εξετάσουμε μία σειρά από υποθετικές συνθήκες λειτουργίας του πραγματικού συστήματος. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ένα εργαλείο ανάλυσης για την πρόβλεψη της επίδρασης διαφόρων αλλαγών σε ήδη υπάρχοντα συστήματα, αλλά και ως ένα εργαλείο σχεδίασης για την πρόβλεψη της απόδοσης νέων συστημάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Εάν οι σχέσεις οι οποίες συνθέτουν το μοντέλο είναι αρκετά απλές, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μαθηματικές μεθόδους, όπως είναι άλγεβρα, η θεωρία των πιθανοτήτων και η ανάλυση, για να έχουμε ακριβείς πληροφορίες για τα ερωτήματα που μας ενδιαφέρουν. Μία τέτοια λύση ονομάζεται *αναλυτική λύση* (analytic solution).

Τα περισσότερα συστήματα όμως, είναι πολύ σύνθετα και τα μοντέλα τους δεν μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά. Τότε, τα μοντέλα αυτά πρέπει να μελετηθούν με την *προσομοίωση* (simulation). Στην προσομοίωση χρησιμοποιούμε έναν υπολογιστή για να υπολογίσουμε το μοντέλο αριθμητικά (numerically) και με τα αποτελέσματα που συλλέγουμε κάνουμε μία εκτίμηση των πραγματικών χαρακτηριστικών του συστήματος..

## 1.2 Εφαρμογές της προσομοίωσης

Υπάρχουν πολλές περιοχές εφαρμογών της προσομοίωσης. Μερικοί από τους τομείς στους οποίους η προσομοίωση βρίσκει εφαρμογή είναι οι εξής::

- **Τηλεπικοινωνιακά συστήματα και συστήματα υπολογιστών:** Οι εφαρμογές της προσομοίωσης γίνονται όλο ένα και πιο σημαντικές στην βιομηχανία των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Τα τοπικά (LAN) και τα ευρείας περιοχής (WAN) δίκτυα υπολογιστών, τα τηλεφωνικά συστήματα, τα δορυφορικά συστήματα, η καλωδιακή τηλεόραση, τα δίκτυα κινητών τηλεφώνων και ο προσδιορισμός των απαιτήσεων υλικού (hardware) και λογισμικού (software) είναι μερικοί από τους τομείς που οφείλουν τον πετυχημένο σχεδιασμό και λειτουργία τους στην χρησιμοποίηση της προσομοίωσης. Πολλά εργαλεία προσομοίωσης έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια βοηθώντας έτσι, στον καλύτερο σχεδιασμό και την ανάλυση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.
- **Οικονομικές υπηρεσίες:** Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της προσομοίωσης στις τράπεζες, στα χρηματιστήρια και στις ασφαλιστικές εταιρίες. Η ανάλυση των εμπορικών συναλλαγών, η σχεδίαση συστημάτων γραφείου, η επεξεργασία δεδομένων και η κατασκευή αυτόματων ταμειακών μηχανών (ATM) είναι μερικές από τις εργασίες που μπορούν να υλοποιηθούν με την βοήθεια της προσομοίωσης.
- **Διασκέδαση:** Πολλές τεχνικές προσομοίωσης έχουν ευρεία χρησιμοποίηση στον σχεδιασμό της δομής και της λειτουργίας διαφόρων πάρκων διασκέδασης, κινηματογραφικών studio και θεάτρων. Συστήματα αυτόματης έκδοσης εισιτηρίων, σχεδιασμού parking για τα αυτοκίνητα και δημιουργίας χρονοδιαγραμμάτων για τις διάφορες εκδηλώσεις είναι μερικές από τις τυπικές εφαρμογές της προσομοίωσης στην βιομηχανία του θεάματος.
- **Βιομηχανία τροφίμων:** Συστήματα όπως εστιατόρια, fast food και super market μπορούν να μελετηθούν με την προσομοίωση για τον προσδιορισμό π.χ. της καταγραφής των προμηθειών και της διανομής τους για την επιλογή της τοποθεσίας και του ανθρώπινου δυναμικού τους.
- **Ξενοδοχειακές επιχειρήσεις:** Συστήματα, όπως είναι τα ξενοδοχεία, μπορούν να μελετηθούν με την προσομοίωση.

## 1.3 Συστήματα, Μοντέλα και τρόποι μελέτης ενός συστήματος

### 1.3.1 Τα στοιχεία ενός συστήματος

Ένα **σύστημα (system)** ορίζεται σαν μία συλλογή **οντοτήτων (entities)** που λειτουργούν μαζί με κάποια αλληλοεπίδραση ή αλληλεξάρτηση για την επίτευξη κάποιου σκοπού. Για παράδειγμα, σ' ένα σύστημα παραγωγής που κατασκευάζει αυτοκίνητα, τα μηχανήματα, τα υλικά παραγωγής και οι εργάτες λειτουργούν από κοινού σε μία γραμμή συναρμολόγησης για την παραγωγή ενός υψηλής ποιότητας αυτοκινήτου.

Άλλες χρήσιμες έννοιες για την μελέτη ενός συστήματος είναι **τα χαρακτηριστικά (attributes)** των οντοτήτων και οι **δραστηριότητες (activities)**. Μία δραστηριότητα (activity) αντιστοιχεί σε μία χρονική περίοδο συγκεκριμένης διάρκειας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μίας τράπεζας, οι πελάτες είναι οι οντότητες, το υπόλοιπο του λογαριασμού των οποίων, μπορεί να είναι ένα από τα χαρακτηριστικά τους και η δημιουργία καταθέσεων μπορεί να είναι μία δραστηριότητα. Πρακτικά όμως, η έννοια του συστήματος εξαρτάται από τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης, που σημαίνει ότι η συλλογή των οντοτήτων που συνθέτουν ένα σύστημα για μία συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να είναι ένα υποσύνολο του συστήματος που απαιτείται για μία άλλη μελέτη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της τράπεζας, εάν κάποιος θελήσει να προσδιορίσει πόσα ταμεία χρειάζονται για να εξυπηρετηθούν επαρκώς πελάτες που χρειάζονται να κάνουν μόνο αναλήψεις ή καταθέσεις, τότε το σύστημα μπορεί να οριστεί ως εκείνο το τμήμα της τράπεζας που αποτελείται από τους ταμίες και τους πελάτες που περιμένουν στην ουρά για να εξυπηρετηθούν. Εάν όμως πρέπει να συμπεριληφθεί και ο υπάλληλος των δανείων, τότε ο ορισμός του συστήματος πρέπει να επεκταθεί. Η **κατάσταση (state)** ενός συστήματος ορίζεται να είναι εκείνη η συλλογή μεταβλητών οι οποίες είναι απαραίτητες για την περιγραφή του συστήματος οποιαδήποτε χρονική στιγμή, σε σχέση βέβαια με τους σκοπούς της μελέτης. Τέλος, το **γεγονός (event)** ορίζεται ως ένα στιγμιαίο συμβάν που μπορεί να αλλάξει την κατάσταση του συστήματος.

### 1.3.2 Συνεχή και Διακεκριμένα συστήματα

Τα συστήματα χωρίζονται σε **διακεκριμένα (discrete)** και σε **συνεχή (continuous)**. Στα διακεκριμένα συστήματα οι μεταβλητές κατάστασης μεταβάλλονται στιγμιαία σε διακεκριμένες χρονικές στιγμές. Μία τράπεζα αποτελεί ένα διακεκριμένο σύστημα από την στιγμή που οι μεταβλητές κατάστασης, π.χ. ο αριθμός των πελατών, αλλάζει μόνο όταν ένας πελάτης μπει στην τράπεζα ή όταν ο πελάτης εξυπηρετηθεί και φύγει.

Στα συνεχή συστήματα οι μεταβλητές κατάστασης μεταβάλλονται συνεχώς σε σχέση με τον χρόνο. Η στάθμη του νερού σε ένα φράγμα που μεταβάλλεται συνεχώς σε σχέση με τον χρόνο π.χ. λόγω της εξάτμισης του νερού, είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συνεχούς συστήματος.

### 1.3.3 Τρόποι μελέτης ενός συστήματος

Πολλές φορές χρειάζεται να μελετήσουμε κάποιο σύστημα είτε για να βρούμε τις σχέσεις μεταξύ των τμημάτων του, είτε για να προβλέψουμε την απόδοση του σε περίπτωση που σχεδιάζουμε νέες συνθήκες λειτουργίας του. Είναι αναγκαίο να κατασκευαστεί ένα μοντέλο (*model*) του συστήματος. Ένα μο-ντέλο λοιπόν, ορίζεται ως μία αναπαράσταση ενός συστήματος με σκοπό τη μελέτη του συστήματος.

Οι τρόποι μελέτης ενός συστήματος είναι οι εξής:

- *Πειραματισμοί με το πραγματικό σύστημα και πειραματισμοί με ένα μοντέλο του συστήματος:* Εάν ήταν δυνατόν να τροποποιήσουμε το ίδιο το σύστημα και να εξετάσουμε τη λειτουργία του κάτω από τις νέες συνθήκες, τότε αυτή θα ήταν και η προτιμότερη και η σωστότερη μέθοδος. Επειδή όμως αυτό είναι συνήθως πολύ δύσκολο να επιτευχθεί σε ένα πραγματικό σύστημα, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ένα μοντέλο που να το αναπαριστάει.
- *Φυσικό μοντέλο και μαθηματικό μοντέλο:* Το φυσικό μοντέλο θεωρείται ως μία κατασκευή, συνήθως σε σμίκρυνση, που αναπαριστά ένα πραγματικό σύστημα. Τα μοντέλα όμως που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση ένα μαθηματικά και παριστάνουν κάποιο σύστημα με λογικές και ποσοτικές σχέσεις οι οποίες μεταβάλλονται, ώστε να μελετηθεί πως αντιδρά το μοντέλο και συνεπώς να συμπεράνουμε πώς θα αντιδρούσε το πραγματικό σύστημα.
- *Αναλυτική λύση και προσομοίωση:* Από τη στιγμή που έχει κατασκευαστεί ένα έγκυρο μαθηματικό μοντέλο, θα πρέπει να εξετάσουμε πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μελετηθεί το αντίστοιχο πραγματικό σύστημα. Μία τέτοια λύση ονομάζεται *αναλυτική λύση* (analytic solution). Τα περισσότερα συστήματα όμως είναι πολύ σύνθετα και τα μοντέλα τους δεν μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά. Τότε τα μοντέλα αυτά πρέπει να μελετηθούν με την *προσομοίωση* (simulation). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι έχουμε να μελετήσουμε ένα μαθηματικό μοντέλο με προσομοίωση (μοντέλο προσομοίωσης).

### 1.3.4 Μοντέλα προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- *Στατικά και δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης:* Ένα στατικό (static) μοντέλο προσομοίωσης αναπαριστά ένα σύστημα σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή ένα σύστημα που δεν εξαρτάται από το χρόνο. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται και Monte Carlo. Τα δυναμικά (dynamic) μοντέλα προσομοίωσης αναπαριστούν ένα σύστημα που μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο.
- *Ντετερμινιστικά και στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης:* Ένα μοντέλο προσομοίωσης που δεν περιέχει τυχαίες μεταβλητές και που έχει ένα γνωστό set από εισόδους, που οδηγεί σε ένα μοναδικό set από εξόδους, ονομάζεται ντετερμινιστικό (deterministic). Ένα μοντέλο προσομοίωσης που περιέχει μία ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές και που έχει ένα τυχαίο set από εισόδους, που οδηγεί σε τυχαία αποτελέσματα, ονομάζεται στοχαστικό (stochastic). • *Συνεχή και διακεκριμένα*

*μοντέλα προσομοίωσης:* Τα διακεκριμένα (discrete) και τα συνεχή (continuous) μοντέλα προσομοίωσης ορίζονται ανάλογα με τα διακεκριμένα και τα συνεχή συστήματα. Τα μοντέλα προσομοίωσης που είναι διακεκριμένα, δυναμικά και στοχαστικά ονομάζονται **μοντέλα προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων (discrete-event simulation models)**.

#### 1.4 Προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων

Η προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων (discrete-event simulation) αφορά στη μοντελοποίηση ενός συστήματος καθώς αυτό εξελίσσεται με το πέρασμα του χρόνου. Σε ένα τέτοιο σύστημα, οι μεταβλητές κατάστασης μεταβάλλονται στιγμιαία σε διακεκριμένες χρονικές στιγμές. Επειδή το μέγεθος των δεδομένων που πρέπει να αποθηκευτεί και να επεξεργαστεί από ένα πραγματικό σύστημα είναι πολύ μεγάλο, η προσομοίωση αυτή δε μπορεί να γίνει με το χέρι, αλλά απαιτείται η χρησιμοποίηση ενός υπολογιστή. Τα μοντέλα προσομοίωσης εκτελούνται γκ ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, αντί να επιλύονται. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργείται ένα τεχνητό ιστορικό του συστήματος που βασίζεται σε υποθέσεις και παρατηρήσεις, το οποίο στη συνέχεια αναλύεται έτσι, ώστε να υπολογίσουμε την απόδοση του πραγματικού συστήματος. Χρησιμοποιώντας τη μαθηματική ορολογία μπορούμε να πούμε ότι η κατάσταση του συστήματος μεταβάλλεται σ μετρητό αριθμό σημείων στο χρόνο.

Λόγω της δυναμικής φύσης των μοντέλων προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων, χρειάζεται να παρακολουθούμε την τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης καθώς εξελίσσεται η διαδικασία προσομοίωσης. Επίσης, χρειαζόμαστε ένα μηχανισμό που να προωθεί το χρόνο προσομοίωσης από τη μία τιμή στην άλλη. Η μεταβλητή σε ένα μοντέλο προσομοίωσης που δίνει την τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης, ονομάζεται ρολόι προσομοίωσης (simulation clock). Θα πρέπει να τονίσουμε στο σημείο αυτό ότι δεν υπάρχει καμία σχέση ανάμεσα στο χρόνο προσομοίωσης και στο χρόνο που απαιτείται για να τρέξει το μοντέλο στον υπολογιστή.

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για να προχωρήσει το ρολόι προσομοίωσης: Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται "να προχωρήσει ο χρόνος στο επόμενο γεγονός" (next-event time advance), ενώ η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται "να προχωρήσει ο χρόνος με σταθερή αύξηση" (fixed-increment time advance). Επειδή όμως οι περισσότερες γλώσσες προσομοίωσης βασίζονται στην πρώτη μέθοδο και επειδή η δεύτερη μέθοδος αποτελεί μία ειδική περίπτωση της πρώτης μεθόδου, θα χρησιμοποιούμε την πρώτη μέθοδο για όλα τα μοντέλα προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, το ρολόι προσομοίωσης παίρνει αρχική τιμή μηδέν και καθορίζονται οι χρόνοι που θα συμβούν τα μελλοντικά γεγονότα. Στη συνέχεια το ρολόι προσομοίωσης προχωρά και δείχνει το χρόνο του πιο επικείμενου (πρώτου) μελλοντικού γεγονότος. Στο σημείο αυτό ενημερώνεται η κατάσταση του συστήματος για το ότι έχει συμβεί κάποιο γεγονός. Ταυτόχρονα θα πρέπει και εμείς να ενημερώσουμε τη γνώση μας για τον αριθμό των γεγονότων που θα συμβούν στο μέλλον. Μετά το ρολόι προσομοίωσης προχωρά και δείχνει το χρόνο του πιο επικείμενου (νέου) γεγονότος, η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται, και καθορίζονται οι χρόνοι που θα συμβούν τα μελλοντικά γεγονότα. Η διαδικασία αυτή της προώθησης του ρολογιού προσομοίωσης από το ένα γεγονός στο άλλο συνεχίζεται έως ότου τελικά ικανοποιηθεί κάποια

συνθήκη τέλους.

Στην περίπτωση της προσομοίωσης δικτύων υπολογιστών η κίνηση αναπαριστάται από μία σειρά από μηνύματα, πακέτα, ή frames. Η κυκλοφορία μέσα στο δίκτυο προσομοιώνεται με την παρακολούθηση και συλλογή πληροφοριών για την κατάσταση των δικτυακών συσκευών και των πηγών κίνησης καθώς εξελίσσονται μέσα στο χρόνο. Η προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων χρησιμολογεί ένα κεντρικό ρολόι που προχωρά σε διακεκριμένα χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπως όταν ένας κόμβος δημιουργήσει ένα πακέτο ή όταν ένα πακέτο μεταδοθεί μέσω ενός δρομολογητή. Τα μοντέλα των συσκευών (bridges, routers, hubs, switches, servers) προσομοιώνουν την ουρά αναμονής και επεξεργασίας των διαφόρων πακέτων.

### 1.5 Προσομοίωση συνεχούς χρόνου

Η προσομοίωση συνεχούς χρόνου (continuous simulation) αφορά τη μοντελοποίηση ενός συστήματος κατά μήκος του χρόνου, όπου οι μεταβλητές κατάστασης μεταβάλλονται συνεχώς σε σχέση με το χρόνο. Τα μοντέλα της συνεχούς προσομοίωσης περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διαφορικές εξισώσεις που δίνουν σχέσεις για τους ρυθμούς αλλαγής των μεταβλητών κατάστασης σε σχέση με το χρόνο. Εάν οι διαφορικές εξισώσεις είναι πολύ απλές, μπορούν να λυθούν αναλυτικά δίνοντας έτσι τις τιμές των μεταβλητών κατάστασης για όλες τις τιμές του χρόνου σαν συνάρτηση των τιμών των μεταβλητών κατάστασης στο χρόνο μηδέν. Για τα περισσότερα όμως μοντέλα προσομοίωσης συνεχούς χρόνου, οι αναλυτικές λύσεις δε μπορούν να εφαρμοστούν και έτσι χρησιμοποιούνται τεχνικές της αριθμητικής ανάλυσης.

..

### 1.6 Συνδυασμός προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων - συνεχούς χρόνου

Από τη στιγμή που πολλά πραγματικά συστήματα δεν είναι ούτε μόνο διακριτά, αλλά ούτε μόνο συνεχή, δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής ενός μοντέλου που συνδυάζει και την προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων και την προσομοίωση συνεχούς χρόνου. Μία τέτοια προσομοίωση ονομάζεται συνδυασμός διακεκριμένης-συνεχούς προσομοίωσης (combined discrete-continuous simulation).

Οι τρεις βασικοί τύποι αλληλεπίδρασης που μπορεί να συμβαίνουν μεταξύ διακεκριμένων και συνεχόμενων αλλαγών στις

μεταβλητές κατάστασης, σύμφωνα με τους Pritsker και Pegden, είναι οι εξής:

1. Ένα διακεκριμένο γεγονός μπορεί να προκαλέσει μία διακεκριμένη με ταβολή στην τιμή μίας συνεχόμενης μεταβλητής κατάστασης.
2. Ένα διακεκριμένο γεγονός μπορεί να προκαλέσει την μεταβολή της σχέσης που ελέγχει μία συνεχόμενη μεταβλητή κατάστασης, σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
3. Μία συνεχόμενη μεταβλητή κατάσταση μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση ενός διακεκριμένου γεγονότος ή τον προγραμματισμό του.

### 1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς της ζωής μας. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της προσομοίωσης στα οποία οφείλεται η ευρεία χρήση της είναι τα εξής:

1. Νέες πολιτικές λειτουργίας, κανόνες απόφασης, λειτουργικές και οργανωτικές διαδικασίες, μπορούν να εξεταστούν χωρίς την διακοπή της λειτουργίας των πραγματικών συστημάτων.
2. Τα περισσότερα σύνθετα πραγματικά συστήματα με στοχαστικά στοιχεία δεν μπορούν να περιγραφούν επακριβώς με μαθηματικά μοντέλα τα οποία να μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά. Γι' αυτό το λόγο η προσομοίωση είναι η μόνη δυνατή μέθοδος μελέτης.
3. Νέα σχέδια υλικού (hardware), συστήματα μεταφοράς και ένας μεγάλος αριθμός άλλων συστημάτων, μπορούν να δοκιμαστούν χωρίς να δεσμευτούμε για το κόστος απόκτησης τους.
4. Η προσομοίωση μας επιτρέπει να μελετήσουμε σε ελάχιστο χρόνο ένα μεγάλης χρονικής διάρκειας, διάστημα λειτουργίας ενός συστήματος.
5. Υποθέσεις για το πώς και γιατί εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα, μπορούν να ελέγχουν έτσι, ώστε να δούμε εάν είναι δυνατή η επίτευξη τους.
6. Με την προσομοίωση μπορούμε να έχουμε έναν πολύ καλύτερο έλεγχο των πειραματικών συνθηκών λειτουργίας, από ότι θα ήταν δυνατόν εάν πειραματιζόμασταν με το ίδιο το σύστημα.
7. Με την προσομοίωση μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα την σχέση μεταξύ των μεταβλητών και των παραγόντων ενός μοντέλου και για το πώς επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος.
8. Μπορεί να αναλυθεί η συμπεριφορά ενός συστήματος σε περίπτωση που έχουμε υπερβολικές καθυστερήσεις και καταστάσεις συμφόρησης (bottle necks).
9. Η προσομοίωση μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την απόδοση ενός υπάρχοντος συστήματος κάτω από προτεινόμενες συνθήκες λειτουργίας.
10. Εναλλακτικοί σχεδιασμοί ενός συστήματος (ή εναλλακτικοί τρόποι λει



τουργίας ενός συστήματος) μπορούν να συγκριθούν μέσω της προσομοίωσης έτσι, ώστε να αποφασίσουμε ποιος σχεδιασμός ή τρόπος λειτουργίας, ανταποκρίνεται καλύτερα στις προκαθορισμένες απαιτήσεις.

Βέβαια, η προσομοίωση έχει και τα μειονεκτήματά της, μερικά από τα οποία είναι τα εξής:

1. Η κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι μία ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία που απαιτεί ειδική εκπαίδευση και πολύ εξάσκηση.
2. Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι συνήθως ακριβά και απαιτείται πολύς χρόνος για την ανάπτυξη και εκτέλεση τους. Εάν προσπαθήσουμε να μειώσουμε το χρόνο ή το κόστος που απαιτείται για τη μοντελοποίηση και ανάλυση του συστήματος, το πιο πιθανόν είναι, το μοντέλο που θα προκύψει, να μην ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του συστήματος
3. Σε κάθε τρέξιμο (run) ενός στοχαστικού μοντέλου προσομοίωσης, παρά γονται μόνο οι εκτιμήσεις των πραγματικών χαρακτηριστικών του, για ένα συγκεκριμένο σύνολο παραμέτρων εισόδου. Γι' αυτό το λόγο, απαιτούνται να μελετηθούν πολλά ανεξάρτητα τρεξίματα του μοντέλου για κάθε σύνολο παραμέτρων εισόδου. Από την άλλη μεριά, ένα αναλυτικό μοντέλο, εφόσον είναι το κατάλληλο, μπορεί συχνά να παράγει τα ακριβή (actual) πραγματικά χαρακτηριστικά του μοντέλου αυτού για διάφορα σύνολα παραμέτρων εισόδου. Παρόλα αυτά, ακόμη και όταν η αναλυτική μέθοδος μοντελοποίησης είναι προτιμότερη, χρησιμοποιείται τελικά η προσομοίωση.
4. Τα αποτελέσματα μίας προσομοίωσης είναι εκτιμήσεις των πραγματικών αποτελεσμάτων, λόγω του ότι προέρχονται από τυχαίες κατανομές. Χρειάζεται επομένως πολύ μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό του μοντέλου και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, γιατί μπορεί κάποιο αποτέλεσμα να οφείλεται στην παραγωγή τυχαίων μεταβλητών που δεν αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος.

Τα τελευταία χρόνια βέβαια έχουν αναπτυχθεί πολλά πακέτα λογισμικού προσομοίωσης που παρέχουν αυτόματα πολλά από τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την κωδικοποίηση ενός πραγματικού συστήματος και δυνατότητες ανάλυσης των αποτελεσμάτων με μεγάλη ακρίβεια έτσι, ώστε να γίνεται μία σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Επιπλέον, με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και την πτώση της τιμής των υπολογιστών το πρόβλημα της χρονοβόρας ανάπτυξης και εκτέλεσης των μοντέλων, έχει σχεδόν εξαλειφθεί.

## 1.8 Στάδια ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης

Στην παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούμε για τον σχεδιασμό και τη μελέτη ενός μοντέλου προσομοίωσης προκειμένου να καταλήξουμε σε χρήσιμα και αξιόπιστα συμπεράσματα για την απόδοση του πραγματικού συστήματος. Η μελέτη ενός συστήματος δεν είναι απαραίτητο να περιέχει όλα τα βήματα που απεικονίζονται στο διάγραμμα και με την καθορισμένη αυτή σειρά, καθώς δεν είναι μία αυστηρά σειριακή διαδικασία.

Η διαδικασία που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις. Η πρώτη φάση (βήματα 1 και 2) είναι μία περίοδος προσαρμογής και διερεύνησης. Ο αρχικός ορισμός του προβλήματος είναι αρκετά ασαφής, ενώ οι αρχικοί στόχοι συνήθως αναθεωρούνται και αναδιατυπώνονται. Η δεύτερη φάση (βήματα 3 έως 7) σχετίζεται με την κατασκευή του μοντέλου, την συλλογή δεδομένων και το έλεγχο της ορθότητας του. Η τρίτη φάση (βήματα 8 έως 10) αφορά την προσομοίωση του μοντέλου μέσω πολλών ανεξάρτητων εκτελέσεων της. Τέλος, η τέταρτη φάση (βήματα 11 και 12), η φάση της υλοποίησης, εξαρτάται κατά πολύ από τη σωστή εκτέλεση των προηγούμενων 11 βημάτων. Το πιο κρίσιμο σημείο ολοκλήρωσης της διαδικασίας είναι ίσως το βήμα 7 (Επιβεβαίωση της εγκυρότητας του μοντέλου), διότι ένα μη έγκυρο μοντέλο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα για την απόδοση του πραγματικού συστήματος.

- **Διατύπωση του προβλήματος:** Κάθε μελέτη πρέπει να ξεκινά με τη διατύπωση του προβλήματος. Ο αναλυτής που έχει αναλάβει την ανάπτυξη του μοντέλου, θα πρέπει να έρθει σε συνεννόηση με τους ανθρώπους που έχουν το πρόβλημα και να σιγουρευτεί ότι έχει γίνει σωστά η περιγραφή του. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες το πρόβλημα πρέπει να ξαναδιατυπωθεί καθώς η μελέτη βρίσκεται σε εξέλιξη.
- **Καθορισμός των στόχων της προσομοίωσης:** Οι στόχοι υποδηλώνουν τις ερωτήσεις που θα πρέπει να απαντηθούν μέσω της προσομοίωσης. Ο καθορισμός τους γίνεται με σκοπό να διαπιστωθεί εάν η προσομοίωση είναι η κατάλληλη μέθοδος για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Υποθέτοντας ότι είναι η κατάλληλη μέθοδος, ο αναλυτής θα πρέπει στη συνέχεια να καθορίσει διάφορα άλλα εναλλακτικά συστήματα και έναν τρόπο για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας

των συστημάτων αυτών. Τέλος, θα πρέπει να καθορίσει τον αριθμό των ατόμων που θα εμπλακούν στο πρό βλημα, το κόστος της μελέτης, και τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε σταδίου του υπό μελέτη συστήματος.

- **Κατασκευή του μοντέλου:** Η κατασκευή του μοντέλου είναι περισσότερο "τέχνη" παρά επιστήμη. Ο αναλυτής θα πρέπει να έχει την ικανότητα να διαχωρίσει τα βασικά χαρακτηριστικά του προβλήματος, να επιλέξει και να τροποποιήσει τις βασικές υποθέσεις που χαρακτηρίζουν το σύστημα, και τέλος να επεξεργαστεί το μοντέλο ώσπου να πάρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αρχικά το μοντέλο που δημιουργείται είναι απλό και κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του εμπλουτίζεται με νέα στοιχεία μέχρι να προσεγγίσει το πραγματικό σύστημα. Ο αναλυτής όμως θα πρέπει να προσέξει ώστε το μοντέλο να μην γίνει πιο πολύπλοκο από όσο πραγματικά χρειάζεται. Δεν απαιτείται να υπάρχει μία πλήρης αντιστοιχία μεταξύ του μοντέλου και του πραγματικού συστήματος. Η παραβίαση αυτής της αρχής το μόνο που έχει σαν αποτέλεσμα, είναι τη μεγαλύτερη δυσκολία που θα συναντήσει ο αναλυτής στην κατασκευή του μοντέλου.

τρίτη φάση (βήματα 8 έως 10) αφορά την προσομοίωση του μοντέλου μέσω πολλών ανεξάρτητων εκτελέσεων της. Τέλος, η τέταρτη φάση (βήματα 11 και 12), η φάση της υλοποίησης, εξαρτάται κατά πολύ από τη σωστή εκτέλεση των προηγούμενων 11 βημάτων. Το πιο κρίσιμο σημείο ολοκλήρωσης της διαδικασίας είναι ίσως το βήμα 7 (Επιβεβαίωση της εγκυρότητας του μοντέλου), διότι ένα μη έγκυρο μοντέλο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα για την απόδοση του πραγματικού συστήματος.

**4. Συλλογή δεδομένων:** Η κατασκευή του μοντέλου σχετίζεται άμεσα με τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου. Όσο πιο μεγάλο και πολύπλοκο είναι το μοντέλο, τόσο περισσότερες πληροφορίες χρειάζονται γι' αυτό. Επίσης, από την στιγμή που η συλλογή πληροφοριών χρειάζεται ένα μεγάλο μέρος του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, είναι απαραίτητο η συλλογή των δεδομένων αυτών να ξεκινά από τα πρώτα στάδια της κατασκευής του μοντέλου.

**5. Μεταφορά του μοντέλου στον υπολογιστή με την κατασκευή ενός προγράμματος:** Από τη στιγμή που τα περισσότερα πραγματικά συστήματα οδηγούν στη δημιουργία μοντέλων που απαιτούν πολύπλοκους υπολογισμούς, η χρήση ενός υπολογιστή για το σκοπό αυτό είναι σχεδόν πάντα απαραίτητη. Τα μοντέλα αυτά θα πρέπει να έχουν μορφή που να μπορεί να κατανοήσει και να επεξεργαστεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Για το σκοπό αυτό υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός εργαλείων, από γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού που απαιτούν μεγάλη προγραμματιστική προσπάθεια, μέχρι πλήρως εξειδικευμένα προγράμματα προσομοίωσης που δεν απαιτούν σχεδόν καμία προγραμματιστική κατάρτιση καθώς η ανάπτυξη του μοντέλου γίνεται μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος.

**6. Έλεγχος του μοντέλου:** Στο σημείο αυτό το μοντέλο που κατασκευάστηκε στον υπολογιστή ελέγχεται για την ορθότητα και την πληρότητα του. Στην περίπτωση ενός σύνθετου μοντέλου η προσπάθεια που απαιτείται για τον έλεγχο της λογικής δομής του και των δεδομένων εισόδου είναι πολύ μεγαλύτερη.

**7. Επιβεβαίωση της εγκυρότητας του μοντέλου:** Στο σημείο αυτό ο αναλυτής διαπιστώνει ότι το μοντέλο αποτελεί μία ακριβή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Αυτό το πετυχαίνει μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας

σύγκρισης του μοντέλου σε σχέση με τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος. Εξετάζεται, δηλαδή, πώς αντιδρά το μοντέλο σε συνθήκες λειτουργίας για τις οποίες είναι γνωστές οι αντιδράσεις του πραγματικού συστήματος.

**8. Πειραματικός σχεδιασμός:** Στο σημείο αυτό ο αναλυτής θα πρέπει να καθορίσει τους εναλλακτικούς σχεδιασμούς που θα προσομοιωθούν. Πολύ συχνά, η απόφαση για το ποιοι εναλλακτικοί σχεδιασμοί πρόκειται να προσομοιωθούν εξαρτάται από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαδοχικών εκτελέσεων του μοντέλου προσομοίωσης. Για κάθε εναλλακτικό σχεδιασμό που θα προσομοιωθεί θα πρέπει να καθοριστεί ο χρόνος που απαιτείται έως ότου σταθεροποιηθεί το σύστημα (warm-up period), ο χρόνος της προσομοίωσης (simulation length), καθώς και ο αριθμός των ανεξάρτητων εκτελέσεων της προσομοίωσης (number of replication). Με τον όρο "ανεξάρτητες εκτελέσεις" εννοείται η χρησιμοποίηση διαφορετικών τυχαίων αριθμών σε κάθε εκτέλεση.

**9. Τα αποτελέσματα και η ανάλυση τους:** Για τη σωστή εκτίμηση της απόδοσης ενός συστήματος, θα πρέπει να εξεταστούν τα αποτελέσματα αρκετών ανεξάρτητων εκτελέσεων του μοντέλου προσομοίωσης.

**10. Μεγαλύτερος αριθμός προσομοιώσεων:** Ανάλογα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά τέλος της προσομοίωσης, ο αναλυτής αποφασίζει για το εάν χρειάζεται ή όχι να εκτελεστεί μεγαλύτερος αριθμός προσομοιώσεων.

**11. Τεκμηρίωση και αναφορές:** Υπάρχουν δύο είδη αναφορών σχετικές με την ανάπτυξη του μοντέλου:

α) Η αναφορά που έχει σχέση με το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του μοντέλου στον υπολογιστή. Η αναφορά αυτή είναι απαραίτητη για διάφορους λόγους. Καταρχήν εάν το πρόγραμμα επαναχρησιμοποιηθεί από το ίδιο ή διαφορετικό αναλυτή είναι πιο εύκολη η κατανόηση της λειτουργίας του. Επίσης, καθίσταται ευκολότερη και η τροποποίηση του ακόμη και για τον ίδιο τον αναλυτή, ενώ οι χρήστες του μοντέλου διευκολύνονται στην τροποποίηση των χαρακτηριστικών του.

β) Η αναφορά που έχει σχέση με την πορεία της μελέτης. Έτσι, όλα τα μέλη της ομάδας ενημερώνονται για τις εξελίξεις. Τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση, συμπεριλαμβανομένων και των πειραμάτων που εκτελέστηκαν προκειμένου να κατανόησουμε σ' αυτά, διατυπώνονται με σαφήνεια και συνοτομία.

**12. Υλοποίηση:** Η επιτυχία αυτού του βήματος εξαρτάται κατά πολύ από τη σωστή εκτέλεση των προηγούμενων 11 βημάτων. Εάν ο αναλυτής είχε μία καλή συνεργασία με τους χρήστες του συστήματος σε όλα τα στάδια ανάπτυξης και οι χρήστες κατανόησαν το μοντέλο και τα αποτελέσματα που, τότε

είναι οι πιθανότητες επιτυχίας είναι πολύ μεγάλες.

## 1.9 Γλώσσες προσομοίωσης γενικού σκοπού

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις πιο βασικές γλώσσες προσομοίωσης γενικού σκοπού, οι οποίες διευκολύνουν την ανάπτυξη και εκτέλεση προσομοιώσεων, σύνθετων πραγματικών συστημάτων.

### 1.9.1 GPSS

**Η GPSS (General-Purpose Simulation System)** αναπτύχθηκε στις αρχές του 1960 από την IBM και είναι μία γλώσσα προσομοίωσης προσανατολισμένη σε διεργασίες που είναι κατάλληλη για μοντελοποίηση συστημάτων ουρών. Η GPSS χρησιμοποιεί ένα block διάγραμμα για την αναπαράσταση του υπό προσομοίωση συστήματος. Έχει πάνω από 40 βασικά block, κάθε ένα από τα οποία αναπαριστά μία τυπική διαδικασία του συστήματος. Μετά την κατασκευή του block διαγράμματος, ο χρήστης το μεταφράζει στο αντίστοιχο σύνολο εντολών της GPSS. Οι οντότητες ή πελάτες, οι οποίοι ζητούν κάποιας μορφής εξυπηρέτηση από το σύστημα ονομάζονται συναλλαγές (transactions), ενώ οι ιδιότητες τους ονομάζονται παράμετροι (parameters). Στη δεκαετία του 1960 με 1970, η GPSS χρησιμοποιούνταν ευρέως στα πανεπιστήμια, αλλά αργότερα αναπτύχθηκαν πιο βελτιωμένες παραλλαγές της, όπως είναι η GPSS/H και η GPSS/PC. Για περισσότερες πληροφορίες:

[http://www.meridian-marketing.com/GPSS\\_H/index.html](http://www.meridian-marketing.com/GPSS_H/index.html) <http://www.mindspring.com/~minutemn/home.htm>  
<http://www.-wolverinesoftware.com/>

### 1.9.2 SLAM

**Η SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling)** είναι μία γλώσσα προσομοίωσης που μπορεί να χρησιμοποιήσει μέσα στο ίδιο μοντέλο τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, μία προσέγγιση με γεγονότα, μία με διεργασίες, μία συνεχής ή και έναν συνδυασμό των τριών αυτών προσεγγίσεων. Στην προσέγγιση με γεγονότα ο χρήστης μπορεί να γράψει ειδικές υπορουτίνες γεγονότων σε FORTRAN, οι οποίες συνδέονται με το βασικό διάγραμμα ροής του μοντέλου. Η τελευταία έκδοση της, η SLAM II, υποστηρίζει animation, γραφικά, φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον εργασίας, και ειδικό λογισμικό προσομοίωσης διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Το SLAMSYSTEM είναι μία ειδική εφαρμογή που χρησιμοποιείται για την κατασκευή, την κίνηση και την εκτέλεση των SLAM II μοντέλων. Για περισσότερες πληροφορίες:

<http://websql.csc.cuhk.edu.hk/csc/publications/userdoc/wks407.htm>  
[http://cbl.leeds.ac.uk/nikos/tex2html/examples/concepts/section3\\_9.html](http://cbl.leeds.ac.uk/nikos/tex2html/examples/concepts/section3_9.html)

### 1.9.3 SIMAN/Cinema

Η **SIMAN (SIMulation ANalysis)** είναι μία γλώσσα προσομοίωσης με την οποία μπορούμε να κατασκευάσουμε μοντέλα προσανατολισμένα είτε σε διεργασίες, είτε σε γεγονότα, ή και σε ένα συνδυασμό των δύο. Σε μία τυπική εφαρμογή το μεγαλύτερο μέρος του μοντέλου αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας τον προσανατολισμό σε διεργασίες. Η αναπαράσταση του μοντέλου γίνεται με

τη βοήθεια ενός block διαγράμματος. Υπάρχει ένας γραφικός editor, ο οποίος μεταφράζει τα block διαγράμματα σε ισοδύναμες εντολές προγράμματος. Η δομή ενός προγράμματος της SIMAN, είναι παρόμοια με αυτήν της GPSS. Ένα βασικό πλεονέκτημα της SIMAN είναι ότι κρατά τις λογικές εντολές του προγράμματος και μερικά δεδομένα τα οποία μεταβάλλονται σε κάθε εκτέλεση της προσομοίωσης σε ξεχωριστά αρχεία που ονομάζονται αντίστοιχα αρχείο μοντέλου (model file) και αρχείο πειράματος (experiment file), πράγμα που επιτρέπει την αλλαγή ορισμένων παραμέτρων μετά από κάθε τρέξιμο και την εκτέλεση του κυρίως προγράμματος χωρίς ξανά μεταγλώττιση (recompilation).

Η **Cinema** είναι μία γλώσσα προσομοίωσης που περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά της SIMAN, έχοντας τη δυνατότητα παραγωγής animation πολύ υψηλής ποιότητας. Για περισσότερες πληροφορίες:

<http://www-personal.umich.edu/~schriber/papers/tis-dtb-96.html> <http://mat.gsia.cmu.edu/simul/simul.html>

### 1.9.4 GASP IV

Η **GASP IV** είναι ένα πακέτο λογισμικού που παρέχει στο χρήστη μία συλλογή υπορουτίνων γραμμένες σε FORTRAN. Οι υπορουτίνες αυτές εκτελούν τις βασικές λειτουργίες των διαφόρων γεγονότων, την αντικατάσταση ή μετακίνηση οντοτήτων και των χαρακτηριστικών τους μέσα σε ουρές, την δημιουργία τυχαίων μεταβλητών από διαφορετικές κατανομές πιθανοτήτων, τη συλλογή στατιστικών με τη βοήθεια μεταβλητών που βασίζονται στην παρατήρηση ή στον χρόνο και τη δημιουργία τυποποιημένων reports. Ο χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες αυτές, με απλές κλήσεις στις υπορουτίνες. Οι βασικές ενέργειες του χρήστη επικεντρώνονται στη συγγραφή ξεχωριστών υπορουτίνων γεγονότων, στη διασύνδεση τους με τις υπορουτίνες της GASP και στη μεταγλώττιση του προγράμματος χρησιμοποιώντας κάποιον compiler της FORTRAN.

### 1.9.5 SIMSCRIPT II.5

Η **SIMSCRIPT** είναι μία από τις πιο παλιές και πιο διαδεδομένες γλώσσες προσομοίωσης. Η τρέχουσα έκδοση της που αναπτύχθηκε από την CACI, είναι η SIMSCRIPT II.5. Έχει δυνατότητες για την κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων, συνεχών, ή συνδυασμού και των δύο. Υποστηρίζει ενσωματωμένες δυνατότητες γραφικών. Έχει ελεύθερο συντακτικό και μοιάζει με την Αγγλική γλώσσα, γι' αυτό και τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε SIMSCRIPT διαβάζονται εύκολα. Περιλαμβάνει πολύ ισχυρές εντολές ελέγχου και σύγχρονες δομές δεδομένων, γι' αυτό και χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεγάλων και πολύπλοκων μοντέλων.

Για περισσότερες πληροφορίες: <http://www.caciasl.com/simscnpt/simscript docs.html>

<http://mort.itd.uts.edu.au/assist/unix/guide/simscript.html>

### 1.9.6 MODSIM III

Η **MODSIM III** είναι μία αντικειμενοστραφής γενικού σκοπού γλώσσα προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από την CACI. Η προηγούμενη έκδοση της, η MODSIM II, είναι μία γενική γλώσσα που βασίζεται στην Modula-2, και υποστηρίζει την αντικειμενοστρέφεια (object-oriented approach). Η σωστή δομή της γλώσσας και ο πλούτος της σε αντικείμενα βιβλιοθηκών, δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής σύνθετων μοντέλων προσομοίωσης με αναλυτικά reports και δυνατότητες κίνησης (animation). Η δυνατότητα επέκτασης της υπάρχουσας βιβλιοθήκης της MODSIM 111, επιτρέπει τη δημιουργία νέων αντικειμένων. Η MODSIM III περιλαμβάνει ένα είδος διασύνδεσης με την C έτσι, ώστε υπάρχουσες βιβλιοθήκες κώδικα της C, να μπορούν να ενσωματωθούν στα προγράμματα της MODSIM III.

Για περισσότερες πληροφορίες: <http://www.modsim.com/>

<http://www.rhic.bnl.gov/html/local/software/licensed/modsim.html>

<http://dQ13dev.fnal.gov/dcd/siiTiulation/modsim.html>

### 1.9.7 SIMNET

Η **SIMNET** είναι μία γλώσσα προσομοίωσης προσανατολισμένης σε διεργασίες. Έχει τέσσερις βασικούς τύπους κόμβων: Τον κόμβο πηγής (source node), τον κόμβο ουρά αναμονής (queue node), τον κόμβο ευκολίας (facility node) και το βοηθητικό κόμβο (auxiliary node). Η SIMNET έχει μία σχετικά ελεύθερη μορφή για το σχηματισμό μαθηματικών εκφράσεων μέσα στο μο ντέλο και τη δυνατότητα πολλαπλών διακλαδώσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνουν στην SIMNET μεγάλη ευελιξία για τη μοντελοποίηση διαφόρων συστημάτων, χωρίς να γίνει ξανά ταξινόμηση σε ένα ξεχωριστό προγραμματιστικό περιβάλλον. Για περισσότερες πληροφορίες:

<http://www.engr.uark.edu/~tsm/ineg/simnet.html>

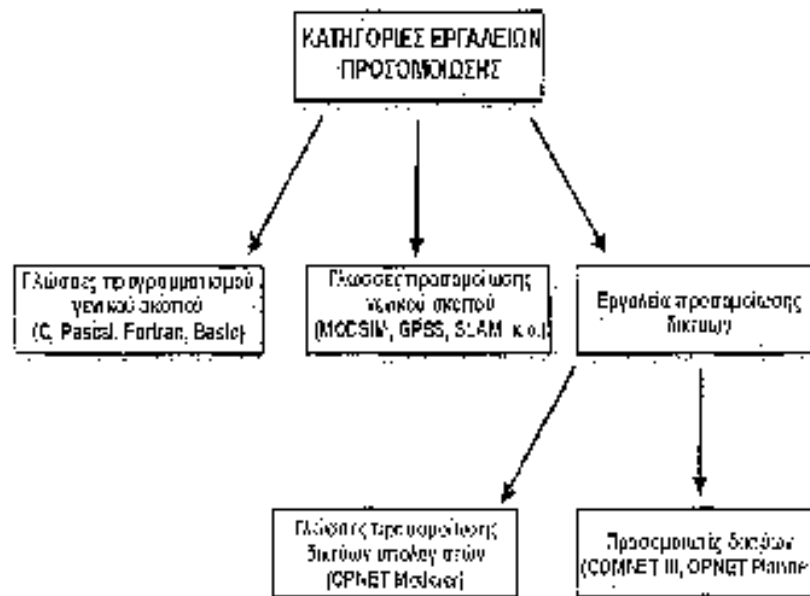
### 1.10 Η εφαρμογή της προσομοίωσης στα δίκτυα υπολογιστών

Η προσομοίωση δικτύων μπορεί να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο καθώς παρέχει έναν τρόπο για την προσομοίωση ενός δικτύου έτσι, ώστε να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά της απόδοσης του. Συχνά λόγω της κρίσιμης φύσης ενός δικτύου, η δυνατότητα για αποσύνδεση του δικτύου για δοκιμές, έλεγχο και αναβαθμίσεις είναι συνήθως πολυτέλεια και θα πρέπει να προγραμματίζεται κατά τη διάρκεια μικρής χρησιμοποίησης του. Η προσομοίωση δικτύων δίνει τη δυνατότητα στον υπεύθυνο του δικτύου για τον έλεγχο οποιονδήποτε αλλαγών πριν αυτές μπουν σε εφαρμογή, δοκιμές για την εισαγωγή νέων δικτυακών συσκευών ή την αφαίρεση κάποιων άλλων. Ο διαχειριστής μπορεί επίσης να ελέγξει την επίδραση που θα έχει στην απόδοση του δικτύου, η προσθήκη μιας νέας δικτυακής υπηρεσίας. Επιπλέον, μπορεί να ανιχνεύσει πιθανά σημεία συμφόρησης και προβλημάτων σύνδεσης (link failure). Τέλος, η προσομοίωση ελαττώνει το κόστος κατασκευής και τον χρόνο που απαιτείται για την κατασκευή του δικτύου.

### 1.11 Η επιλογή ενός εργαλείου προσομοίωσης στα δίκτυα επικοινωνιών

Μία από τις πιο σημαντικές αποφάσεις του αναλυτή είναι η επιλογή της γλώσσας με την βοήθεια της οποίας θα κατασκευάσει το μοντέλο προσομοίωσης. Η κατασκευή του μοντέλου μπορεί να γίνει είτε με μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού όπως είναι η Basic, η Fortran, η Pascal, και η C, είτε με μία γλώσσα προσομοίωσης γενικού σκοπού όπως είναι η MODSIM, η GPSS, η SIMSCRIPT, η SLAM κ.α., είτε με κάποιο εργαλείο προσομοίωσης δικτύων. Επιπλέον, τα εργαλεία προσομοίωσης δικτύων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στις γλώσσες προσομοίωσης δικτύων υπολογιστών όπως είναι το OPNET Modeler και στους προσομοιωτές δικτύων, όπως είναι το COMNET III και το OPNET Planner.





*Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης μίας γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού για την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης είναι τα εξής:*

1. Μία τέτοια γλώσσα συνήθως υπάρχει στον υπολογιστή ενός αναλυτή. Έτσι δε χρειάζεται να δαπανηθούν επιπλέον χρήματα για την απόκτηση ειδικού λογισμικού.
2. Μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού επιτρέπει μεγαλύτερη προγραμματιστική ευελιξία και έναν πιο ολοκληρωμένο σχεδιασμό του μοντέλου, σε σχέση με κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό.
3. Τα μοντέλα προσομοίωσης που είναι γραμμένα σε μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού έχουν μικρότερο μέγεθος και μεγαλύτερη ταχύτητα, διότι δεν περιέχουν τα περιττά στοιχεία (overhead) των γλωσσών προσομοίωσης.

4. Δε χρειάζεται ειδική εκπαίδευση για την εκμάθηση μίας γλώσσας προσομοίωσης. Μία γενική γνώση για τη λογική που ακολουθείται στον προγραμματισμό μοντέλων προσομοίωσης και μία καλή γνώση της γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού που θα χρησιμοποιηθεί είναι επαρκής.

***Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης μίας γλώσσας προσομοίωσης γενικού σκοπού σε σχέση με μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού είναι τα εξής:***

1. Μία γλώσσα προσομοίωσης γενικού σκοπού διαθέτει έτοιμα τα περισσότερα από τα απαραίτητα προγραμματιστικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης, γεγονός που ελαττώνει σημαντικά την προσπάθεια που απαιτείται από την πλευρά του αναλυτή και τον προγραμματιστικό χρόνο που χρειάζεται.
2. Τα μοντέλα προσομοίωσης μεταβάλλονται, ανάλογα με τις απαιτήσεις, πολύ πιο εύκολα όταν είναι γραμμένα σε κάποια γλώσσα προσομοίωσης γενικού σκοπού.
3. Οι γλώσσες προσομοίωσης γενικού σκοπού παρέχουν πιο αποτελεσματική αναγνώριση σφαλμάτων (error detection), διότι πολλοί από τους ενδεχόμενους τύπους λαθών αναγνωρίζονται και ελέγχονται αυτόματα. Από τη στιγμή που το μέγεθος του κώδικα που γράφει ο αναλυτής με μία γλώσσα προσομοίωσης γενικού σκοπού είναι πολύ μικρότερο, η πιθανότητα λάθους είναι μικρότερη και πιο εύκολα διορθώσιμη.

***Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης μίας γλώσσας προσομοίωσης δικτύων υπολογιστών σε σχέση με μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού είναι τα εξής:***

1. Οι γλώσσες προσομοίωσης δικτύων υπολογιστών έχουν τις λιγότερες απαιτήσεις από τον αναλυτή, λόγω του ότι παρέχουν έτοιμα τα περισσότερα από τα δομικά στοιχεία που απαιτούνται για την κατασκευή του μοντέλου. Έτσι, υπάρχει μία αισθητή μείωση στο χρόνο ανάπτυξης του μοντέλου.
2. Παρέχουν πιο απλή δομή και είναι πιο εύκολες στην εκμάθηση και την υλοποίηση.
3. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι πιο κατανοητά στους τελικούς χρήστες.

***Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης προσομοιωτών δικτύου είναι τα εξής:***

1. Δεν απαιτείται η χρήση προγραμματισμού. Η κατασκευή του δικτυακού μοντέλου γίνεται με την επιλογή των διαφόρων έτοιμων δομικών στοιχείων που παρέχει το ίδιο το περιβάλλον του προγράμματος.
2. Ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης είναι πολύ μικρός.
3. Φιλικό περιβάλλον χρήσης.

Βασικό μειονέκτημα της χρήσης τέτοιων προγραμμάτων είναι ότι εάν το

δίκτυο που πρόκειται να προσομοιώσουμε έχει κάποια ειδικά χαρακτηριστικά και στοιχεία που δεν υποστηρίζονται από τις δυνατότητες του προσομοιωτή, δε θα μπορέσει να προσομοιωθεί με ακρίβεια. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να ξεπεραστεί από κάποιους προσομοιωτές δικτύων που επιτρέπουν την τροποποίηση των ήδη υπαρχόντων στοιχείων τους, αλλά και την προσθήκη νέων εφόσον αυτό είναι απαραίτητο. Παραδείγματα τέτοιων προσομοιωτών είναι το COMNET III και το OPNET Planner.

### 1.12 Τι είναι το COMNET III;

Το COMNET III είναι μία εμπορική εφαρμογή που επιτρέπει εύκολα και γρήγορα την ανάλυση και τον υπολογισμό της απόδοσης ενός δικτύου υπολογιστών. Η περιγραφή του δικτύου γίνεται σε γραφικό περιβάλλον χωρίς να απαιτείται προγραμματισμός από την πλευρά του χρήστη και μπορεί να γίνει προσομοίωση τόσο των Local Area Networks (LANs), όσο και των Wide Area Networks (WANs).

Το COMNET III είναι γραμμένο σε MODSIM II ακολουθώντας μία αντικειμενοστραφής σχεδίαση. Χρησιμοποιεί πολλά διαφορετικά αντικείμενα και βασικά δομικά στοιχεία (building blocks), των οποίων τα χαρακτηριστικά μπορούν να τροποποιηθούν ώστε, να ταιριάζουν με αντικείμενα που συναντούμε σε ένα πραγματικό δικτυακό περιβάλλον. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι υπολογιστές, links, κόμβοι επικοινωνίας (hubs, routers, bridges), εφαρμογές κ.α.

Το COMNET III αναλύει τη συμπεριφορά και την απόδοση ενός δικτύου χρησιμοποιώντας την προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων (discrete event simulation). Η προσομοίωση διακεκριμένων γεγονότων είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος, γιατί μπορεί να προσομοιώσει ρεαλιστικά και με ακρίβεια τη συμπεριφορά σύνθετων συστημάτων.

Με τη βοήθεια του COMNET III ο υπεύθυνος του δικτύου έχει τις εξής δυνατότητες: • **Μελέτη υψηλών επιπέδων κίνησης.**

Γενικά ένα δίκτυο μπορεί να παρουσιάσει υψηλά επίπεδα κίνησης κατά τη διάρκεια μίας μέρας, μίας βδομάδας ή ενός μήνα. Μία επομένως τυπική χρήση του COMNET III είναι η μοντελοποίηση αυτών των περιόδων μεγάλης κίνησης (peak loading periods), ώστε να συμπεράνουμε για το πώς συμπεριφέρεται το δίκτυο σε αυτές τις περιπτώσεις.

- **Σχεδιασμός ανθεκτικότητας και αντιμετώπισης απρόοπτων καταστάσεων.**

Μέσω του COMNET III μπορούμε να ελέγξουμε διάφορα ενδεχόμενα και υποθετικά σενάρια αποτυχίας, κάτι που είναι πολύ δύσκολο να υλοποιηθεί στο πραγματικό δίκτυο.

- **Έλεγχος στην περίπτωση εισαγωγής νέων χρηστών και εφαρμογών.**

Η εισαγωγή νέων χρηστών και εφαρμογών μπορεί να προκαλέσει επιβάρυνση στο δίκτυο. Μέσω του COMNET III μπορούμε να δούμε πώς επηρεάζει αυτή η εισαγωγή, ώστε να αποφύγουμε πιθανά προβλήματα που ίσως εμφανιστούν.

- **Έλεγχος της απόδοσης και της αναβάθμισης ενός δικτύου.**

Ο διαχειριστής μπορεί να εξετάσει τη συμπεριφορά του δικτύου σε περίπτωση προσθήκης ή αναβάθμισης διαφόρων συσκευών προτού αυτές ενσωματωθούν στο πραγματικό δίκτυο.

### 1.12.1 Βασικά στοιχεία του COMNET III

~ Στο σημείο αυτό περιγράφονται τα βασικά στοιχεία του COMNET III που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου. Χωρίζονται σε 8 βασικές κατηγορίες:

- Τοπολογία δικτύου (Network Topology).
- Κίνηση στο δίκτυο και φόρτος εργασίας (Network Traffic and Workload).
- Λειτουργία δικτύου (Network Operation).
- Έλεγχος προσομοίωσης (Simulation Control).
- Στατιστικές αναφορές (Statistics Reporting).
- Κατανομές του χρήστη (User Distributions).
- Βιβλιοθήκες (Libraries).
- Αρχεία μοντέλων (Model Files).

### 1.12.2 Τοπολογία δικτύου (Network Topology)

Η **τοπολογία δικτύου (Network Topology)** περιγράφει τη δομή και τις συσκευές από τις οποίες αποτελείται το φυσικό μας δίκτυο. Περιλαμβάνει τρία στοιχεία: Τους **κόμβους (nodes)** που αναπαριστούν τον hardware εξοπλισμό (υπολογιστές, switches, routers, πολυπλέκτες), τα **links** που αναπαριστούν το μέσο μετάδοσης των δεδομένων μεταξύ των κόμβων και τα **ports** που αναπαριστούν τις θύρες με τις οποίες συνδέονται οι κόμβοι με τα links.

Επιπλέον υπάρχουν δύο ακόμη στοιχεία: Τα **υποδίκτυα (subnets)** που αναπαριστούν τα ανεξάρτητα routing domains στην περίπτωση πολύπλοκων δικτύων και το **WAN Cloud** που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση wide area network υπηρεσιών.

### 1.12.3 Κόμβοι-(nodes) -

Το COMNET III διαθέτει τέσσερις βασικούς τύπους κόμβων:

Ο **Computer and Communication κόμβος (C&C Node)** και ο **Computer**

**Group κόμβος** χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση υπολογιστών. Έτσι, καθορίζουμε τις εφαρμογές που θα εκτελεί ένας υπολογιστής ή μία ομάδα υπολογιστών, την ταχύτητα του επεξεργαστή, την ταχύτητα με την οποία δέχεται και στέλνει δεδομένα μέσω του δικτύου, καθώς και το ρυθμό με τον οποίο θα διαβάζει και θα γράφει δεδομένα στις μονάδες αποθήκευσης του.

Ο **Router κόμβος** χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση δρομολογητών, bridges, hubs, switches. Ο κόμβος αυτός έχει όλες τις δυνατότητες που έχει και ο C&C κόμβος. Έτσι, μπορεί να εκτελεί εφαρμογές που ανανεώνουν για παράδειγμα το routing table του ή που στέλνουν τις πληροφορίες του routing table σε άλλους router κόμβους.

Ο **Switch κόμβος** χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση συσκευών που έχουν μία ασήμαντη καθυστέρηση στην μετακίνηση πακέτων μεταξύ ενός port εισόδου και ενός port εξόδου.

### 1.12.4 Συνδέσεις (Links)

Οι **συνδέσεις (Links)** χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των διαφόρων μέσων μετάδοσης με τη βοήθεια των οποίων οι κόμβοι στέλνουν και δέχονται δεδομένα. Το COMNET III περιλαμβάνει πολλούς τύπους συνδέσεων όπως:

- Aloha
- CSMA
- CSMA/CD
- CSMA/CA
- FDDI και Priority FDDI
- Polling
- Token Ring

- Token Passing « Point-to-Point
- DAMA (Demand-Assigned Multiple Access)

### 1.12.5 Θύρες (Ports)

- Τα **Ports** αναπαριστούν τις θύρες με τις οποίες συνδέονται οι κόμβοι με τα links.

### 1.12.6 Υποδίκτυα (Subnets)

**Τα Subnets** χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση μίας ιεραρχικής τοπολογίας, στην περίπτωση που έχουμε ένα μεγάλο δίκτυο έτσι, ώστε διαφορετικά υποδίκτυα να έχουν διαφορετικά και ανεξάρτητα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Η σύνδεση μεταξύ του υποδικτύου (subnet) και του backbone δικτύου γίνεται μέσω των Access **Points**. Ένας κόμβος του υποδικτύου συνδέεται σε ένα access point και έτσι, ο κόμβος αυτός γίνεται η πύλη για τη μεταφορά πακέτων από και προς το backbone δίκτυο. Το COMNET III δεν περιορίζεται στη δημιουργία ενός μόνο επιπέδου από subnets. Επιτρέπεται, δηλαδή, η δημιουργία υποδικτύων στο εσωτερικό υπαρχόντων υποδικτύων με μία όμως σημαντική διαφορά: Ένα φωλιασμένο υποδίκτυο δεν έχει το δικό του ανεξάρτητο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι το ανώτερο ιεραρχικά υποδίκτυο έχει ένα διαφορετικό και ανεξάρτητο πρωτόκολλο δρομολόγησης που περικλείει όλους τους κόμβους, είτε οι κόμβοι αυτοί βρίσκονται σε φωλιασμένα υποδίκτυα, είτε όχι.

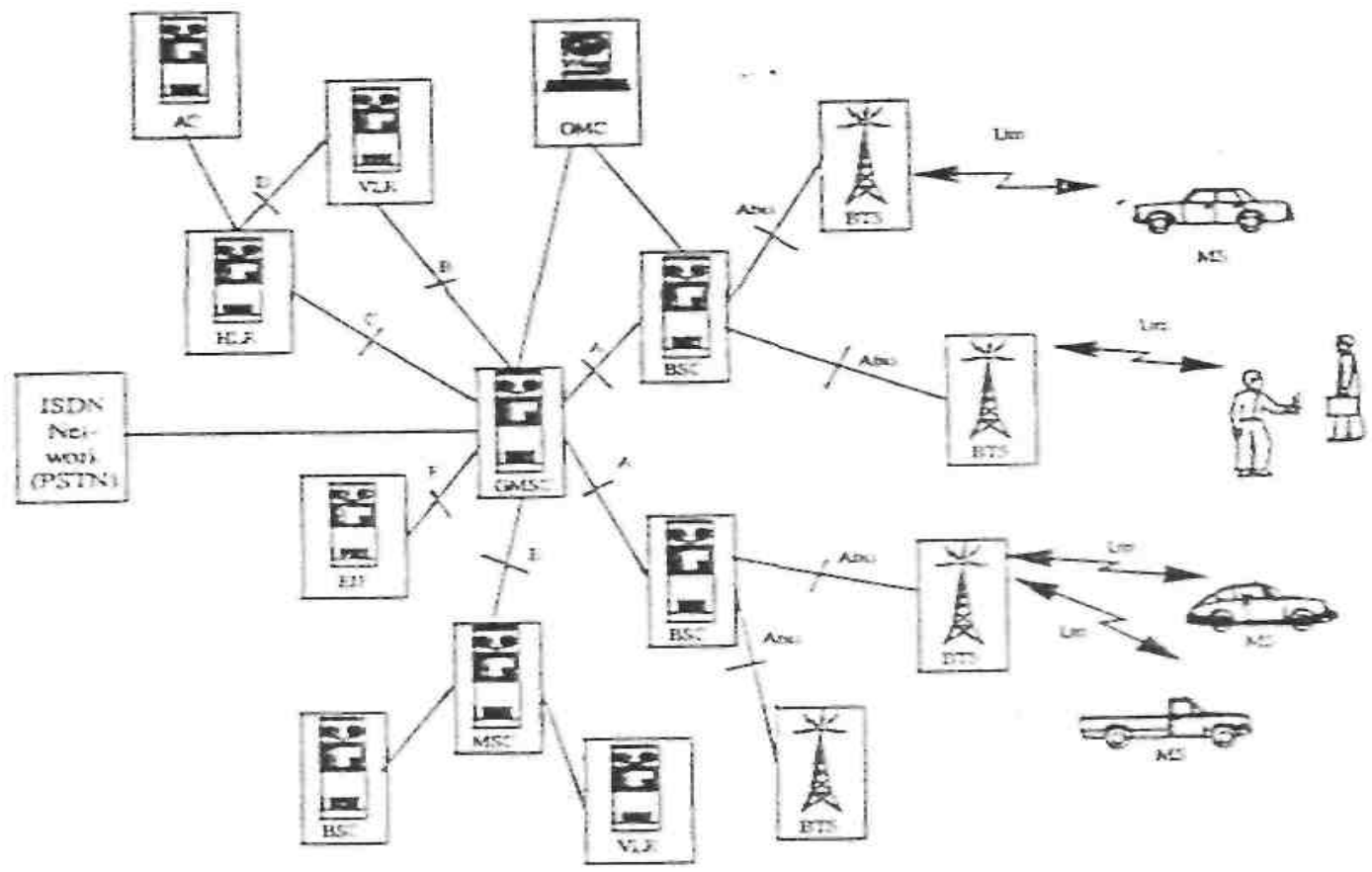
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΥΠΟΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

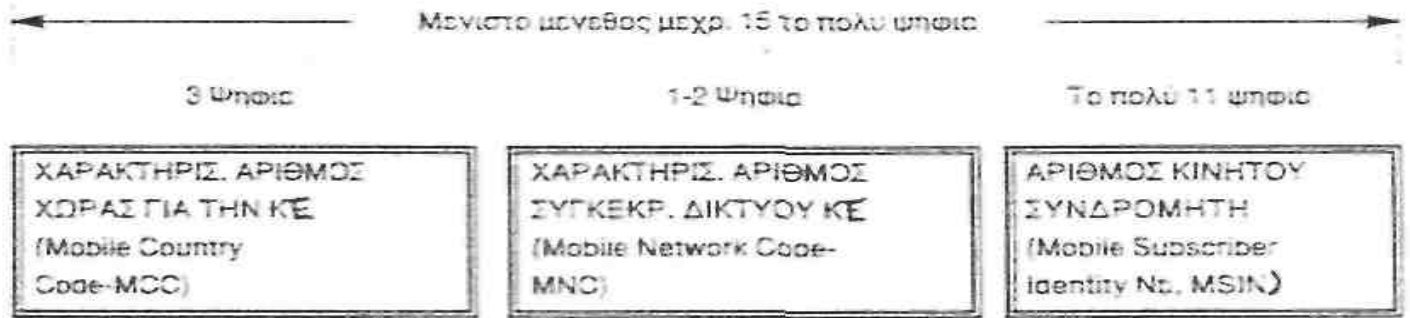
### 2.1 Αρχιτεκτονική GSM Δικτύων και Ταυτότητες Προσδιορισμού

Η αρχιτεκτονική ενός GSM δικτύου παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.2. όπου και εμφανίζονται οι επιμέρους μονάδες αυτού. Έτσι έχουμε: i) Τους Κινητούς Σταθμούς που διακρίνονται μεταξύ τους από την τάξη ισχύος εκπομπής αυτών και από την εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθούν. Οι ΚΣ είναι εφοδιασμένοι με την κάρτα Subscriber Identity Module (SIM) που είναι μία "έξυπνη" κάρτα (διαθέτει μικροεπεξεργαστή και μνήμη), χωρίς την οποία ο ΚΣ δεν μπορεί να λειτουργήσει. Η βασική πληροφορία που είναι καταγραμμένη στην κάρτα SIM είναι η *Διεθνής Ταυτότητα τον Συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity- IMSI)* που καθορίζει τον συνδρομητή και όχι τον ΚΣ που αυτός μπορεί να κληθεί. Ο αριθμός αυτός, που η δομή του φαίνεται στον Σχήμα 7.3, δεν είναι γνωστός σε άλλους και κατά συνέπεια δεν επιλέγεται για την προσέγγιση κάποιου. Επιπλέον, για λόγους διασφάλισης του απορρήτου του αριθμού IMSI (δηλαδή για να αποφεύγεται συχνή εκπομπή του σε κάθε κλήση), το σύστημα μπορεί να ορίζει του παροδικό - IMSI ή Temporary- IMSI (TMSI) που έχει χρονικά περιορισμένη σημασία.

Τέλος, για την αποφυγή της περίπτωσης αντικανονικής χρήσης της κάρτας SIM οι χρήστες θα πρέπει να εισάγουν έναν τετραμήφιο αριθμό, τον λεγόμενο *Personal Identification Number (PIN)* που επίσης είναι αποθηκευμένος στην κάρτα SIM. Λανθασμένη εισαγωγή από το χρήστη του αριθμού αυτού επιπλέον των τριών φορών οδηγεί σε μπηκόκλιση του ΚΣ. κατάσταση που μπορεί να αρθεί μέσω της εισαγωγής ενός οκταμήφιου αριθμού που αναφέρεται ως *Personal Unblocking Key (PUK)*.



Σχήμα 7.2





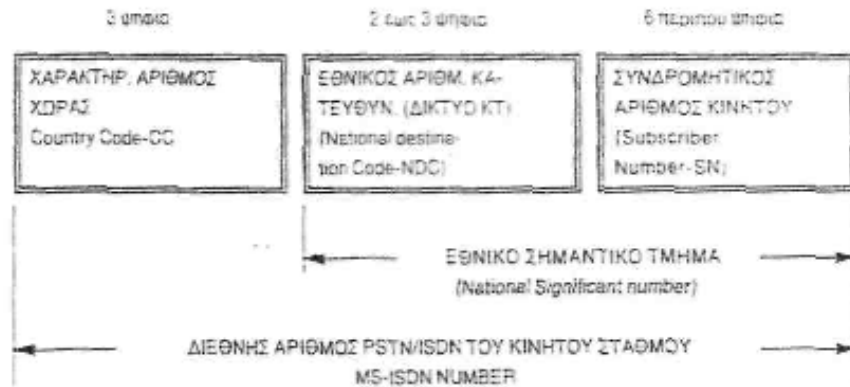
ii) **Base Transceiver Station (BTS):** Οι BTS είναι εκείνοι που διαδέτουν τους πομποδέκτες για την επίτευξη επικοινωνίας με τους ΚΣ.

iii) **Base Station Controller (BSC):** Οι BSC παρακολουθούν και ελέγχουν αρκετούς BTS και κύριο έργο τους αποτελεί η διαχείριση των διαφόρων καναλιών και η διεκπεραίωση μεταβίβασης διαφόρων μηνυμάτων για την ορδή λειτουργία του όλου συστήματος. Βε πρέπει να αναφερθεί ότι τα συστήματα BTS και BSC ενός GSM δικτύου αναφέρονται ως Base Station Subsystem (BSS).

iv) **Gateway Mobile Switching Center (GMSC):** Η μονάδα αυτή αποτελεί την προσαρμογή του κυμελωτού GSM δικτύου με το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (Public Switched Telephone Network -PSTN) ή το ISDN δίκτυο. Έργο του αποτελεί η δρομολόγηση των κλήσεων του ΚΣ από και προς το σταθερό δίκτυο καθώς και γ. παροχή διαφόρων πληροφοριών που αφορούν τους ΚΣ. Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα ύπαρξης επιπρόοδων *Mobile Services Switching Centers* ,MSC) που δεν έχουν όμως πρόσβαση στο σταθερό δίκτυο και δεν διαδέτουν δικό τους Home Location Register (HLR) (βλέπε παρακάτω).

v) **Operation & Maintenance Centre (OMC):** Αποστολή της μονάδας αυτής είναι η αποθήκευση όλων των ΚΣ που έχουν κλαπεί ή λόγω κάποιας δυσλειτουργίας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο και οι οποίοι προσδιορίζονται από τον αριθμό *International Mobile Station Equipment Identity* (IMEI). Ο αριθμός αυτός απαρτίζεται από τα πεδία του κωδικού έγκρισης του τύπου του ΚΣ Type Approval Code- TAC), του κωδικού τελικής συναρμολόγησης του ΚΣ και του κωδικού αριθμού σειράς (serial number) που μπορεί να σημειώνεται απο τους κατασκευαστές σε κάθε συσκευή που παράγουν.

vi) **Οικεία Βάσης Εγγραφής (Home Location Register- HLR):** Η βάση αυτή αποτελείται από ένα σύνολο εγγραφών που είναι απαραίτητες για την διαχείριση των συνδρομητών που βρίσκονται στο περιεχόμενο της. Το βασικό της έργο είναι να μετατρέπει τους αριθμούς IMSI και MSISDN από τη μία μορφή στην άλλη. Ο αριθμός *Mobile Station International PSTN/ISDN Number-MSISDN* είναι αυτός που επιλέγεται (αριθμός καταλόγου) προκειμένου να πραγματοποιήσουμε μία κλήση προς τον ΚΣ και αποτελείται από τρία μέρη, όπως δείχνει το Σχήμα 7.4.



Τα στοιχεία της οικείας βάσης, με τον τρόπο που είναι οργανωμένα κατατάσσονται στις επόμενες δύο κατηγορίες:

α) **Ημιμόνιμα στοιχεία**, όπως ο αριθμός LMS1, η κατηγορία του συνδρομητή, ο αριθμός καταλόγου MSISDN. Οι τυχόν υπάρχουσες συμπληρωματικές υπηρεσίες και η προτεραιότητα που έχει ο συνδρομητής.

β) **Παροδικά στοιχεία**, όπως δεδομένα πιστοποίησης, η διεύθυνση της Βάσης επισκευής του συνδρομητή, τυχόν απαγόρευση της περιαγωγής ενός ΚΣ και ο αριθμός περιαγωγής (Mobile Subscriber Roaming Number MSRN) που παρέχεται για την δρομολόγηση εισερχομένων κλήσεων όταν ο ΚΣ βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης ενός ξένου δικτύου και έχει παρόμοια δομή με αυτή του αριθμού MSISDN.

vii) **Βάση Εγγραφής Επισκευής (Visited Location Register- VLR):** Αποστολή της είναι η τοπική και παροδική ενταμίευση όλων των μεταβιητων που είναι απαραίτητες για τον χειρισμό των κλήσεων που εκδηλώνονται ή καταλήγουν στην περιοχή που ελέγχει, δηλ. είναι η βάση των ενεργοποιημένων ΚΣ σε μια περιοχή.

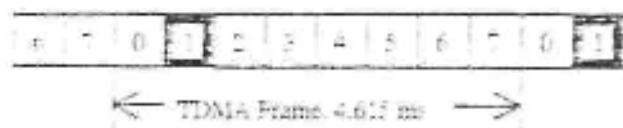
viii) **Κέντρο Πιστοποίησης (Authentication Centre- AC):** Το κέντρο Πιστοποίησης παρέχει στον HLR διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με την πιστοποίηση ενός Κινητού Σταθμού. Η διαδικασία πιστοποίησης έχει να κάνει με τον έλεγχο της κάρτας SLM του συνδρομητή και βασίζεται στο αλγόριθμο πιστοποίησης A3 που είναι αποθηκευμένος τόσο στην κάρτα SDM όσο και στο AC .

### Κρυπτογράφηση

Για την προστασία των μεταδιδόμενων σε ένα GSM σύστημα δεδομένων (user data και signaling data) εφαρμόζεται κρυπτογράφηση (ciphering) αυτών με τη βοήθεια του αλγορίθμου A5 (για κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση) και με διαδικασία όμοια με αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως για την πιστοποίηση. Για την υλοποίηση του αλγορίθμου A5 απαραίτητη είναι η γένεση του ciphering Key  $K_c$  που παράγεται στον ΚΣ με την βοήθεια του αλγορίθμου AS που ως εισόδους έχει το  $K_i$  και του ίδιου τυχαίου αριθμού RAND που χρησιμοποιείται για πιστοποίηση .

### TDMA Μετάδοση στο GSM Σύστημα

Για καλύτερη αξιοποίηση κάθε ραδιοκαναλιού των 200KHz του GSM συστήματος εφαρμόζεται και πολλαπλή προσπέλαση μέσω διαμοιρασμού χρόνου μέσω της ύπαρξης οκτώ χρονολοχίδων (timeslots) που αποτελούν ένα TDMA πλαίσιο (frame)

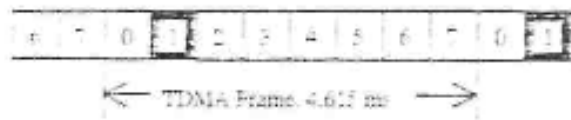


Σχήμα 7.8

Type	T	Coded Data	S	Training Sequence	S	Coded Data	T	GP
Number of Bits	3	57	1	26	1	57	3	8.25

← 148 Bits = 546.12 μs →

κάθε ΚΣ είναι ηροφορίας, η τιστοιχεί στη κάθε TDMA νών ένα κενό :- 3.69μs/bit= ίλονται στην *nal burs'* για ους έχουν να οίδαας



Σχήμα 7.8

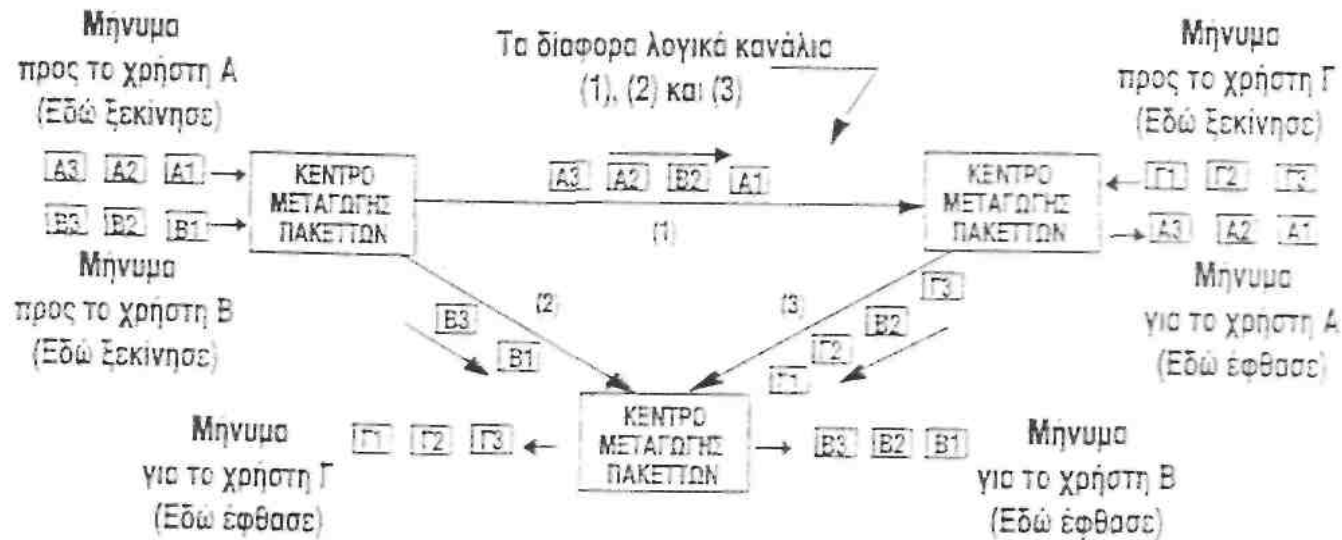
Type	T	Coded Data	S	Training Sequence	S	Coded Data	T	GP
Number of bits	3	57	1	26	1	57	3	8.25

← 148 Bits = 546.12 μs →

## 2.2 Κατηγορίες Λογικών Καναλιών

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε μια νέα έννοια των GSM συστημάτων, τα *λογικά κανάλια* (logical channels). Τα λογικά κανάλια, σε αντίθεση με τα ραδιοκανάλια, δεν υφίστανται ως φυσικές οντότητες και δεν διαθέτουν αποκλειστικά δικούς τους 'δρόμους' για την μετάδοση των διαφόρων τύπων δεδομένων. Αντίθετα, ένα ραδιοκάνάλι αντιστοιχείται σε λογικά κανάλια που μπορούν να μεταφέρουν τόσο δεδομένα χρηστών

όσο και δεδομένα σηματοδότησης για την διαχείριση του GSM συστήματος (network management). Ειδικότερα, αναφέρονται ως κανάλια από το γεγονός ότι μεταφέρουν πακέτα πληροφοριών σε κάποιο προορισμό, όπως δείχνεται και στο Σχήμα 7.15. Εδώ, το κάθε μήνυμα τεμαχίζεται και κομμάτια που ανήκουν για παράδειγμα στην ίδια ομιλία είναι δυνατόν να φθάσουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικούς δρόμους μέσα στο δίκτυο. Όπως είναι φανερό, ο τρόπος αυτός μετάδοσης συνεπάγεται μια απεικόνιση (mapping) ενός αριθμού λογικών καναλιών σε κάθε ραδιοκανάλι.



Ειδικότερα, το σύστημα GSM διαχωρίζει τα λογικά κανάλια σε *κανάλια κίνησης* (traffic channels) που είναι αφιερωμένα στην μετάδοση δεδομένων χρηστών και σε *κανάλια ελέγχου* (control channels) που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πληροφοριών που αφορούν την διαχείριση του συστήματος. Εξετάζοντας περαιτέρω τα κανάλια κίνησης έχουμε τα κάτωθι:

i) **Traffic Channel /Full-rate Speech [TCH/FS]:** Αποστολή του είναι η μετάδοση φωνής με ρυθμό μετάδοσης 13Kbps

ii) Μέσω της εξέλιξης στην τεχνολογία κωδικοποίησης του σήματος φωνής είναι δυνατή η αποστολή σήματος φωνής με ρυθμό

μετάδοσης 6.5Kbps μέσω αυτού του λογικού καναλιού, επιτυγχάνοντας διπλασιασμό της χωρητικότητας του συστήματος ως προς τους συνδρομητές και χωρίς υποβιβασμό της ποιότητας της επικοινωνίας.

ii) **Λογικό κανάλι TCH/F9.6/4.8/2.4:** Χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων (computer data) με ρυθμούς μετάδοσης 9.6/4.8/2.4 Kbps αντίστοιχα.

Όσον αφορά, τώρα, τα λογικά κανάλια ελέγχου αυτά διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις γενικότερες υποκατηγορίες:

i) **Κανάλια εκπομπής (Broadcast Channels- BCH):** Μεταδίδονται μόνο από τον ΣΒ και αποστολή τους είναι η παροχή πληροφοριών στον ΚΣ σχετικά με τον συγχρονισμό του στο GSM δίκτυο.

Ειδικότερα, στα κανάλια εκπομπής περιλαμβάνονται:

α) Κανάλι ελέγχου εκπομπής (Broadcast Control Channel- BCCH): Μέσω του λογικού αυτού καναλιού εκπέμπονται στον ΚΣ πληροφορίες γενικού ενδιαφέροντος χρήσιμων για την έγγραφη του ΚΣ καθώς και αρκετές άλλες παράμετροι (όπως π.χ. η δομή που έχουν τα κανάλια ελέγχου την κάθε στιγμή).

β) Κανάλι Συγχρονισμού (Synchronization Channel -SCH): Μεταφέρει πληροφορία συγχρονισμού στον ΚΣ ώστε αυτός να εκπέμπει στην κατάλληλη χρονοθυρίδα (βλέπε και στον ρόλο της training sequence σε μία normal burst).

γ) Κανάλι Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel- FCCH): Το λογικό αυτό κανάλι μεταφέρει πληροφορία σχετική με διόρθωση της συχνότητας του ΚΣ.

ii) **Κανάλια Κοινού Ελέγχου (Common Control Channels- CCCH):** Τα λογικά κανάλια της υποκατηγορίας αυτής κατευθύνονται τόσο προς την downlink όσο και προς την uplink κατεύθυνση και αποστολή τους είναι να παρέχουν υποστήριξη για την επίτευξη Ζεύξης μεταξύ των ΚΣ και του ΣΒ. Ειδικότερα στα κανάλια κοινού έλεγχου περιλαμβάνονται:

α) Κανάλι Τυχαίας. Πρόσβασης (Random Access Channel -RACH): Αυτό το λογικό κανάλι χρησιμοποιείται από τον ΚΣ προς τον ΣΒ. προκειμένου ο τελευταίος να του ορίσει ένα λογικό κανάλι SDCCH που θα δούμε στη συνέχεια.

β) Κανάλι εκχώρισης Πρόσβασης Access Grant Channel -AGCH): Μέσω του καναλιού αυτού ορίζεται από τον Σ3 στο ΚΣ αυτοδύναμο κανάλι ελέγχου (SDCCH) ή κάποιο κανάλι κίνησης (TCH).

γ) Κανάλι Τηλεειδοποίησης (Paging Channel -PCH): Μέσω του λογικού αυτού καναλιού εντοπίζονται οι ΚΣ που κινούνται στην υπόψη κυψέλη.

iii) **Αποκλειστικά Κανάλια Ελέγχου (Dedicated Control Channels -DCCH):** Χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ ενός συγκεκριμένου ΚΣ και του ΣΒ και αφορούν την εποπτεία του ραδιοκαναλιού (channel maintenance) καθώς και άλλες low-level διαδικασίες σηματοδότησης. Ειδικότερα, στα κανάλια ελέγχου περιλαμβάνονται τα ;

α) Αυτοδύναμο Αποκλειστικό Κανάλι Ελέγχου (Stand alone Dedicated Control Channel -SDCCH): Χρησιμεύει για την ανταλλαγή σηματοδότησης μεταξύ του συστήματος με τον ΚΣ κατά την έναρξη αποκατάστασης της κλήσης πριν οριστεί ένα κανάλι κίνησης καθώς και για την εγγραφή και πιστοποίηση του ΚΣ.

β) Αργό συσχετισμένο κανάλι ελέγχου συνδεδεμένο με κανάλι κίνησης ή με κάποιο αυτοδύναμο κανάλι (Slow Associated Control Channel -SACCH): Μέσω αυτού του καναλιού έχουμε συνεχή ροή πληροφοριών με στοιχεία μετρήσεων του σήματος που λαμβάνεται από τον ΚΣ στην παρούσα και σε γειτονικές κυψέλες.

γ) Ταχύ συσχετισμένο κανάλι ελέγχου, συνδεδεμένο με ένα κανάλι κίνησης (Fast Associated Control Channel -FACCH): Το λογικό αυτό κανάλι χρησιμοποιείται όταν κατά την διάρκεια μετάδοσης ομιλίας χρειάζεται να γίνει ξαφνικά ανταλλαγή σημάτων με το σύστημα .

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του παρόντος Κεφαλαίου, έχουμε συνοπτικά τις Λειτουργίες που επιτελούνται σε έναν ΚΣ για την αποστολή και λήψη σημάτων φωνής. Γενικότερα ο ΚΣ απαρτίζεται από το RF τμήμα όπου επιτελούνται οι διαδικασίες εκπομπής, λήψης και διαμόρφωσης καθώς και από το ψηφιακό τμήμα (digital pan) όπου επιτελούνται οι διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων πληροφορίας και οι διάφορες λειτουργίες ελέγχου και σηματοδότησης. Στο Σχήμα 7.43 παρουσιάζεται το γενικό λειτουργικό διάγραμμα ενός ΚΣ όπου και φαίνονται οι βασικές μονάδες αυτού. Ειδικότερα, ο εξισωτής (equalizer) χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του multipath fading και ανταποκρίνεται ορθά για τιμές του delay spread μικρότερες των 16μs. Ο αποπολυπλέκτης (demultiplexer) (ανάλογα ισχύουν και για τον πολυπλέκτη) επιλέγει το σήμα πληροφορίας από τις διάφορες χρονοθυρίδες και πλαίσια, ενώ η burst-building unit λαμβάνει τα κωδικοποιημένα bits και διασκευάζει τις διάφορες ριπές (bursts). Η Control & Signaling Unit επιλέγει τις διάφορες λειτουργίες ελέγχου του ΚΣ. όπως power control, επιλογή των διαφόρων ραδιοκαναλιών, κ.λ.π. Όσον αφορά τον πομπό (transmitter), αυτός περιλαμβάνει έναν μκτή για να μεταφέρει το IF σήμα από τον διαμορφωτή στην συχνότητα εκπομπής (περιοχή των 900MHz), έναν ενισχυτή που ανεβάζει την στάθμη του εκπεμπόμενου σήματος ανάλογα με τις εντολές που λαμβάνει ο ΚΣ από τον ΣΒ, και φίλτρα εξόδου για τον περιορισμό του καταλαμβανόμενου φάσματος του χρησιμοποιούμενου ραδιοκαναλιού και αποφυγή εμφάνισης παρεμβολών σε άλλα ραδιοκάναλια του GSM συστήματος. Το synthesizer παρέχει τον αποκτούμενο χρονισμό αναφοράς για τα bit και frame clocks καθώς και για τις RF πηγές στον πομπό και δέκτη. Τέλος, ο Voltage Controlled Oscillator (VCO) παράγει μία σταθερή συχνότητα ανάλογα με τις εντολές που παίρνει από την Control & Signaling Unit και η ακρίβεια (accuracy) της οποίας καθορίζεται από πληροφορίες που παρέχονται μέσω του λογικού καναλιού FCCH.



## 2.4 ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ SS7 (Signaling System 7)

### Σηματοδοσία γραμμής και Σήματα επιτήρησης γραμμής

Η φάση της επιτήρησης αρχίζει με την ολοκλήρωση της δρομολόγησης και τελειώνει με τον τερματισμό της κλήσης

Κατά την φάση της επιτήρησης η σηματοδοσία ελέγχει την κατάσταση των κυκλωμάτων και σχετικών με αυτά οργάνων

Η σηματοδοσία γραμμής παράγει και την πληροφορία χρέωσης. Η φάση της επιτήρησης τελειώνει με τον τερματισμό της κλήσης.

### **Channel Associated Signaling (CAS)**

Βασίζεται στις ιδιότητες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που συνηθίζονταν στα ηλεκτρομηχανικά κέντρα (crossbar, relay)

Η σηματοδοσία και τα κυκλώματα συσχετίζονται μέσω της πολυπλεξίας διαίρεσης χώρου, συχνότητας ή χρόνου (space, frequency or time division multiplexing)

- Πολυπλεξία διαίρεσης χώρου: κάθε κύκλωμα φωνής σχετίζεται με αντίστοιχο κύκλωμα σηματοδοσίας
- Σε TDM και FDM η θέση του διαύλου φωνής ορίζει το σχετικό δίαυλο σηματοδοσίας
- Π.χ. στο PCM η σχισμή 16 μεταφέρει σηματοδοσία και η δομή του πολύ-πλασιού (multi-frame) ορίζει τη συσχέτιση διαύλων φωνής και σηματοδοσίας

## **ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΗΣ**

- Τα σήματα μεταφέρονται ζεύξη προς ζεύξη (link-by-link)
- Χρησιμοποιούνται τα bit σηματοδοσίας φορέων PCM στην προς τα εμπρός και την προς τα πίσω κατεύθυνση
- Το a<sub>r</sub> bit προσδιορίζει την κατάσταση της συνδρομητικής γραμμής του καλούντος
- Το b<sub>r</sub> bit παρέχει ένα τρόπο υπόδειξης βλάβης στην προς τα εμπρός κατεύθυνση
- Το a<sub>s</sub> bit αντικατοπτρίζει την κατάσταση της συνδρομητικής γραμμής του καλούμενου (on hook, off hook).
- Το b<sub>s</sub> bit δείχνει την κατάληψη του εξοπλισμού μεταγωγής

### ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΗΣ ΚΛΗΣΗΣ

- Στα συστήματα CAS μετά την εγκατάσταση της κλήσης, τα τερματικά δεν μπορούν να δώσουν άλλη εντολή εκτός της απόλυσης της σύνδεσης
- Αυτό οφείλεται στο κλείσιμο της σηματοδοτικής σύνδεσης μεταξύ τηλεφώνου και κέντρου (οι ενταμειυτές απολύονται)
- Για να παρακαμφθεί, το κέντρο πρέπει να επιτηρεί τον διάλοφο φωνής και να αναγνωρίζει την ύπαρξη σημάτων DTMF μέσα στη φωνή είτε η συνδρομητική κάρτα να αναγνωρίζει αναστροφές της πολικότητας (που οδηγούν στην κατάληψη ενός ενταμειυτή κατά τη διάρκεια της κλήσης)

### ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΚΟΙΝΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ NO.7 (SS7)

- Σηματοδοσία μεταφέρεται σε χωριστό δίκτυο από τη φωνή
  - Σηματοδοσία μπορεί να συνεχίσει κατά τη διάρκεια της κλήσης
  - Σηματοδοσία και μεταξύ κέντρων που δεν διασυνδέονται απευθείας
  - Το δίκτυο SS7 είναι ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων
- 
- Είναι γενικής χρήσης, διεθνώς προτυποποιημένη σηματοδοσία κοινός διάλογος σηματοδοσίας
  - Είναι σχεδιασμένη για πλήρως ψηφιακά κέντρα (SPC)
  - Παρέχει αξιόπιστη μετάδοση πληροφορίας χωρίς απώλειες ή διπλασιασμό
  - Ο χειρισμός μηνυμάτων από υπολογιστές είναι πιο εύκολος σε σχέση με το χειρισμό MF σημάτων
  - Η καθυστέρηση μετ' επιστροφής των μηνυμάτων  
σε διάλο 64kbps είναι περίπου 50 ms
  - Χρησιμοποιεί την πλαισίωση των πρωτοκόλλων HDLC
  - Παρέχει υψηλή εφεδρεία γραμμών και στοιχείων

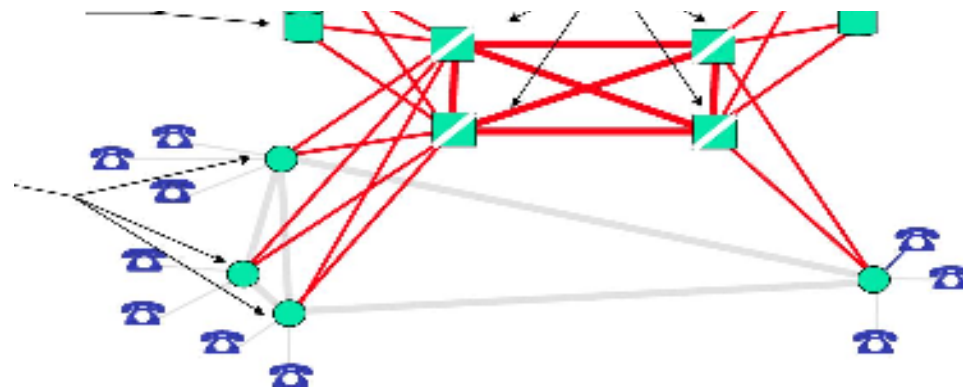
## Η βάση του SS7 είναι ένα εξειδικευμένο δίκτυο δεδομένων

signaling transfer point (STP): μεταγωγί

πακέτων του δικτύου SS7 / Ζεύξεις σηματοδοσίας

signaling control point (SCP): Οι  
“υπηρεσίες” βρίσκονται εδώ.

signaling point



## Συνδέσεις σηματοδοσίας

- Άμεσες
- Έμμεσες (παρεμβόλλεται STP)
- Associated mode  

Τα μηνύματα που σχετίζονται με δύο SP ταξιδεύουν σε ζεύξη που τα συνδέει απευθείας
- Non-associated mode  

Τα μηνύματα που σχετίζονται με δύο SP ταξιδεύουν σε δύο ή περισσότερες ζεύξεις εν σειρά που διέρχονται μέσω άλλων SP
- Quasi-associated mode  

Ειδική περίπτωση του non-associated, όπου η διαδρομή είναι συγκεκριμένη και σταθερή για κάποια χρονική περίοδο

## Δυσχέρειες με το SS7

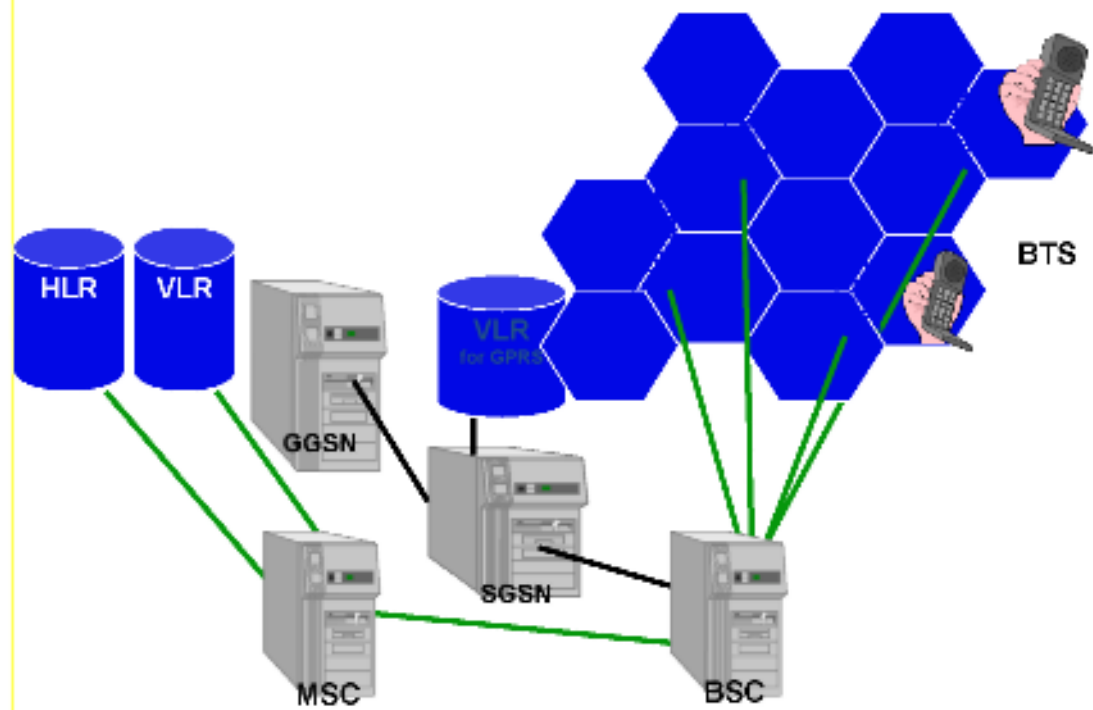
- Δύσκολο στην υλοποίηση

- Κληρονομιά των κλειστών δικτύων
- Εξάρτηση από τις υπηρεσίες (Service dependent)
- Χρειάζεται μεγαλύτερη ασφάλεια για να εφαρμοσθεί  
σε ανταγωνιστικά περιβάλλοντα με πολλούς  
πάροχους

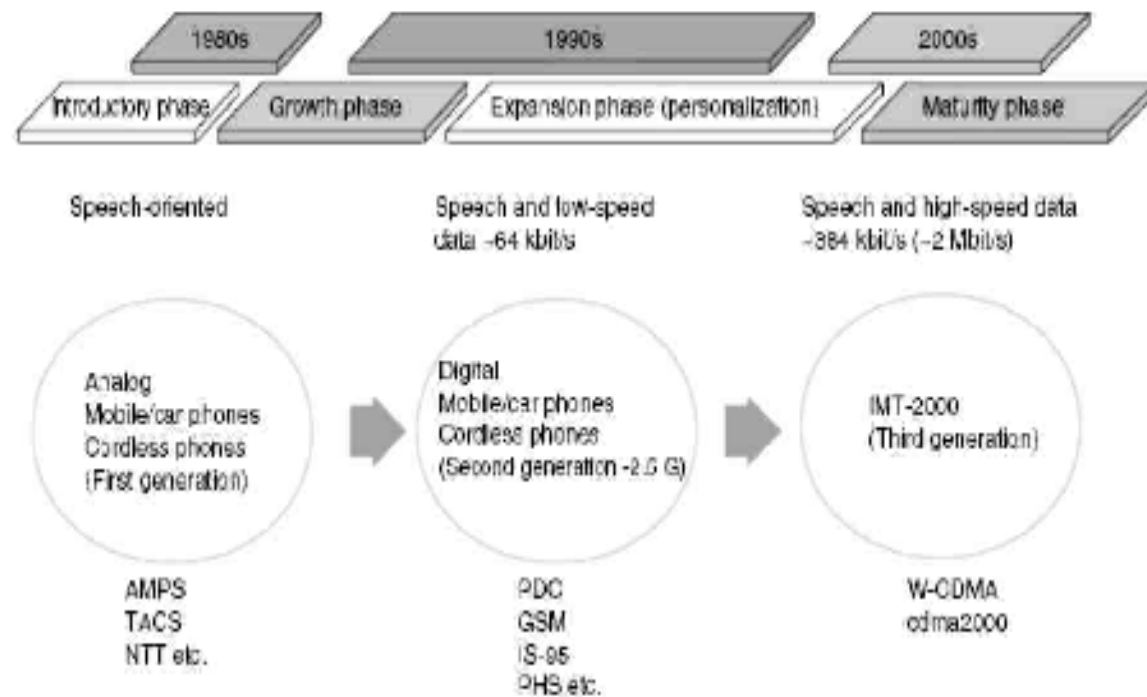
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΝ UMTS/3G (BACKBONE)**

## Σύστημα κινητής τηλεφωνίας GSM-GPRS



Σχήμα 1: Δομή Δικτύου GSM - GPRS



Σχήμα 4: Η εξέλιξη των κινητών συστημάτων τηλεπικοινωνιών

### 3.1 Το Σύστημα UMTS



Το σύστημα UMTS είναι ένα σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς το οποίο παρέχει την τεχνολογία Wide-band Code Division Multiple Access (CDMA) σε ότι αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες μοιράζονται το ασύρματο κανάλι. Αποτελεί μέρος της δουλειάς του IMT-2000 που έχει προταθεί από το ITU στα πλαίσια μιας προσπάθειας για τη δημιουργία ενός παγκόσμιου προτύπου στο χώρο των συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς.

Το UMTS πρόκειται να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αγορά των κινητών τηλεπικοινωνιών του μέλλοντος, καθώς υπολογίζεται ότι θα έχει φτάσει τους 2 δισεκατομμύρια χρήστες μέχρι το έτος 2010. Οι εταιρείες επέλεξαν την πρόταση αυτή του IMT-2000, ως την οικονομικότερη μεταξύ των υπολοίπων προτάσεων, καθώς το UMTS έχει ήδη επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική. Το γεγονός αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κινητών δικτύων να ταυτιστεί με το σύστημα αυτό.

## **Γενικά χαρακτηριστικά**

Το UMTS έχοντας σαν βάση το GSM, επέκτεινε κάποια από τα χαρακτηριστικά του δικτύου 2ης γενιάς και με τη βοήθεια νέων τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν, κατάφερε να εισάγει ορισμένα νέα χαρακτηριστικά και υπηρεσίες στα συστήματα 3ης γενιάς.

Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα εξής:

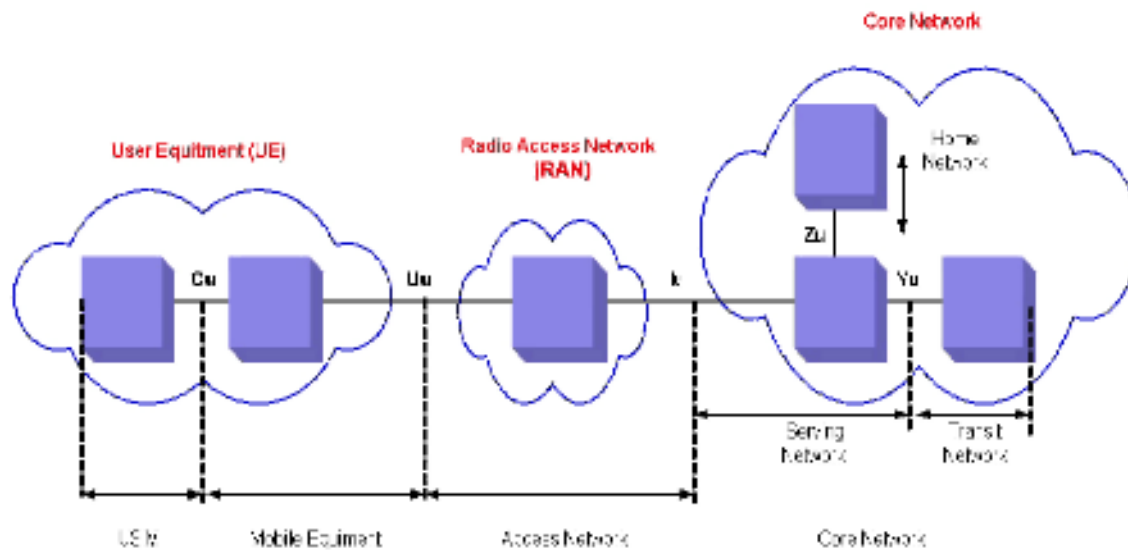
- Η διεπαφή (interface) του κινητού χρήστη με το σύστημα είναι μοναδική και ανεξάρτητη της γεωγραφικής του θέσης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο σύστημα και να εξυπηρετείται από τις παρεχόμενες υπηρεσίες μέσω του κινητού τηλεφώνου, σε

οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται και από οποιοδήποτε δίκτυο.

- Ένας και μοναδικός τύπος διεπαφής, ασχέτως του τερματικού του χρήστη. Ο χρήστης θα μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο μια συσκευή συμβατή με την τεχνολογία 3ης γενιάς χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω εξοπλισμό.
- Παροχή από άκρο σε άκρο των υπηρεσιών του δικτύου χωρίς διακοπές. Ο χρήστης θα μπορεί να ταξιδεύει οπουδήποτε και παράλληλα να εξυπηρετείται από τις υπηρεσίες του δικτύου.
- Ικανότητα για πολυμεσικά δεδομένα. Το δίκτυο έχει την ικανότητα να μεταφέρει πολυμεσικά δεδομένα όπως φωνή, video και άλλες εφαρμογές.
- Κινητικότητα.

### **3.2 Η δομή του UMTS**

Στο Σχήμα 6: Η δομή του UMTS παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τμήματα εκείνα από τα οποία αποτελείται το UMTS καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.



**Σχήμα 6: Η δομή του UMTS**

## User Equipment

Με τον όρο User Equipment αναφερόμαστε κυρίως στην έννοια της συσκευής που είναι φορητή και που μπορεί να κινείται από άκρη σε άκρη μέσα στο δίκτυο. Συνήθως διακρίνουμε τρεις τύπους συσκευής όπως μπορεί να είναι (α) μια Personal Digital Assistant (PDA) συσκευή, (β) ένα κινητό τηλέφωνο, (γ) ένας φορητός υπολογιστής. Το UE συνδέεται με το UTRAN μέσω της διεπαφής  $Uu$  που είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA.

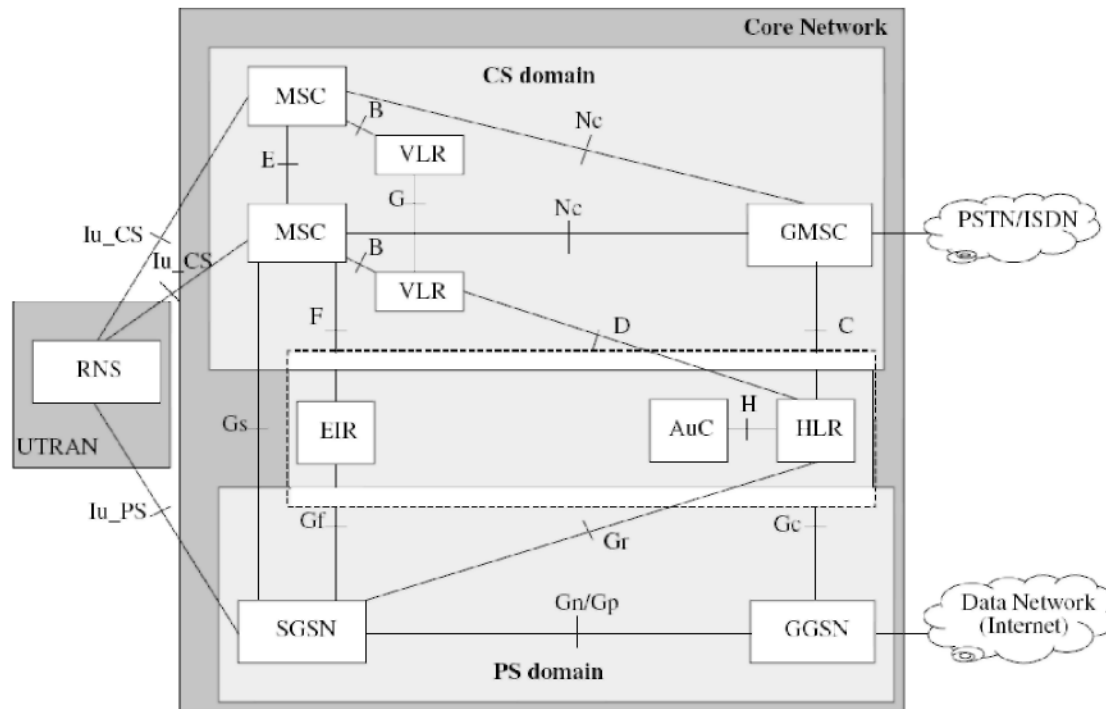
Αποτελείται από τα δύο εξής τμήματα:

- Mobile Equipment
- USIM

Το Mobile Equipment αποτελεί το υλικό (hardware) της συσκευής με τη βοήθεια του η οποίου, το UE μπορεί και κάνει κάποιες απαραίτητες διαδικασίες. Μερικές από αυτές είναι η επεξεργασία του σήματος, η διόρθωση λαθών, η διαμόρφωση (modulation) και η διάχυση (spreading). Επίσης, και με βάση τα τωρινά δεδομένα, στις περισσότερες συσκευές είναι ενσωματωμένη μια κάμερα ώστε να είναι δυνατή η εγγραφή και η αποστολή πολυμεσικών δεδομένων. Βέβαια, αν και οι απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ και σε ενέργεια είναι ακόμα υψηλές, είναι γεγονός ότι για να μπορέσει μια συσκευή να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές των κινητών 3ης γενιάς, θα ήταν καλό να υλοποιηθεί με τη βοήθεια φορητού υπολογιστή καθώς αυτό θα διευκόλυνε τους χρήστες στο να εκμεταλλεύονται περισσότερες φορές τις υπηρεσίες του δικτύου.

## CN

Το Core Network (CN) είναι το δίκτυο κορμού του UMTS συστήματος. Καλύπτει όλες εκείνες τις λειτουργίες του δικτύου που δε σχετίζονται με πρόσβαση στο ασύρματο κανάλι. Μερικές από τις λειτουργίες μπορούν να είναι η εγκαθίδρυση και η διαχείριση μιας σύνδεσης καθώς και η παρακολούθηση της γεωγραφικής θέσης του UE με σκοπό την ταχύτερη δρομολόγηση των κλήσεων.



**Σχήμα 8: Η αρχιτεκτονική του CN δικτύου**

Σε ότι αφορά το σχεδιασμό και την υλοποίηση του CN δικτύου (Σχήμα 8) θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτό φέρει αρκετές ομοιότητες με το GSM/GPRS δίκτυο καθώς έχει κατά κάποιο τρόπο επεκτείνει τις λειτουργίες του τελευταίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι δόθηκε περισσότερο βάρος στο σχεδιασμό των διεπαφών και της τεχνολογίας για την ασύρματη πρόσβαση στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίζονται οι υπηρεσίες που θα προσέφερε ένα σύστημα 3ης γενιάς. Βέβαια στη συνέχεια εμφανίστηκαν κάποιες σημαντικές αλλαγές στην αρχιτεκτονική του CN δικτύου δίνοντας την εντύπωση, για τον ερχομό ενός πλήρους IP-δικτύου.

Το CN δίκτυο αποτελείται από δύο μέρη. Το Circuit Switched (CS) τμήμα και το Packet Switched τμήμα.

- Το CS τμήμα υποστηρίζει τη μεταφορά φωνής καθώς η δρομολόγηση γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος που σημαίνει ότι είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός δεσμευμένου μονοπατιού από το ένα άκρο μέχρι το άλλο. Μέσω του δικτύου αυτού, υπάρχει επίσης διασύνδεση με PSTN και ISDN δίκτυα. Το CS μέρος του δικτύου περιλαμβάνει τα εξής: **Mobile Services Switching Center (MSC)**. Ο κόμβος MSC αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNC τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Επίσης είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Home Location Register (HLR) και την Visitor Location Register (VLR). Τέλος μια άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου MSC είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

- **Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC)**. Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC. Η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.

- **Visitor Location Register (VLR)**. Ο κόμβος VLR είναι μια βάση δεδομένων. Συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

Από την άλλη πλευρά, το PS τμήμα, υποστηρίζει τη μεταφορά δεδομένων μέσω της μεταγωγής πακέτου. Για το λόγο αυτό δεν είναι απαραίτητο να δεσμευτεί κάποιο μονοπάτι κατά μήκος της σύνδεσης από τη στιγμή που οποιοσδήποτε σύνδεσμος (link) μπορεί να

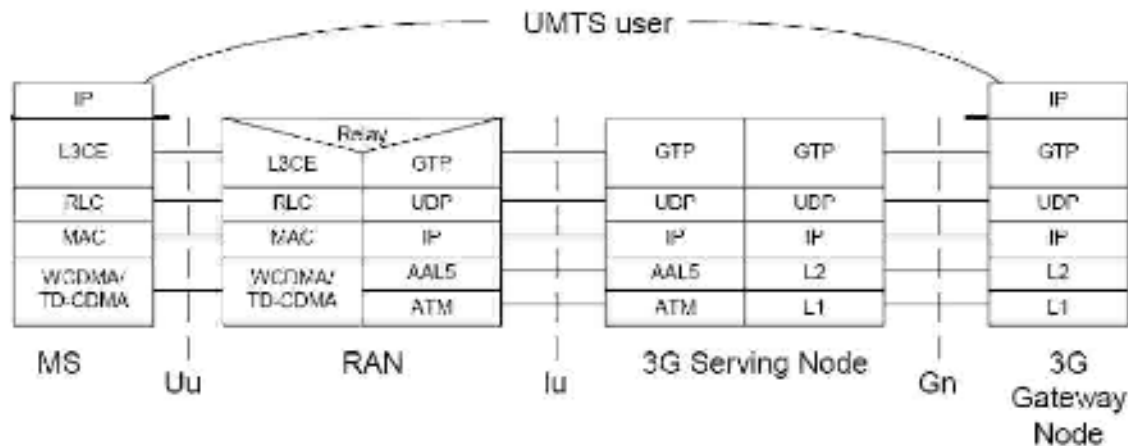
χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά πακέτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το PS τμήμα, να μπορεί να συνδέεται με το Internet όπου η πληροφορία μεταδίδεται με την βοήθεια των IP-πακέτων. Το PS μέρος αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **Serving GPRS Support Node (SGSN).** Αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο τμήμα CS. Αυτό σημαίνει ότι αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον διαχειρίζεται τους κόμβους RNC οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu\_PS. Επίσης αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως η βάση HLR. Τέλος ο κόμβος SGSN είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών και για τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN).** Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSN με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το X.25 και το Internet.

Τέλος, υπάρχουν οι κόμβοι HLR και AuC οι οποίοι είναι κοινοί και για τα δύο μέρη CS και PS. Σε ότι αφορά τον Home Location Register, πρόκειται για μια βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο. Ο κόμβος AuC αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR. Ο κόμβος αυτός αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές.

### **3.3 Διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικότερες διεπαφές του UMTS (Σχήμα 9). Γίνεται μια περιγραφή των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και σηματοδότησης (signaling) για κάθε διεπαφή, για την επικοινωνία των κόμβων που αλληλεπιδρούν.



**Σχήμα 9: Η στοίβα πρωτοκόλλων στο UMTS δίκτυο**

## Η διεπαφή Uu

Η διεπαφή Uu παρεμβάλλεται μεταξύ του UE και του Node B και για το λόγο αυτό είναι ασύρματη. Η Uu θεωρείται η πιο σημαντική ίσως διεπαφή για το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων ενός κινητού δικτύου, καθώς αυτά έχουν άμεση σχέση με τα επίπεδα φυσικού μέσου, ζεύξης δεδομένων και δικτύου σε αντιστοιχία με το μοντέλο OSI.

Στο επίπεδο φυσικού μέσου γίνεται η μετάδοση δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Για το επίπεδο αυτό οι προδιαγραφές του UMTS καθορίζουν την χρήση των τεχνολογιών FDD και TDD του WCDMA.

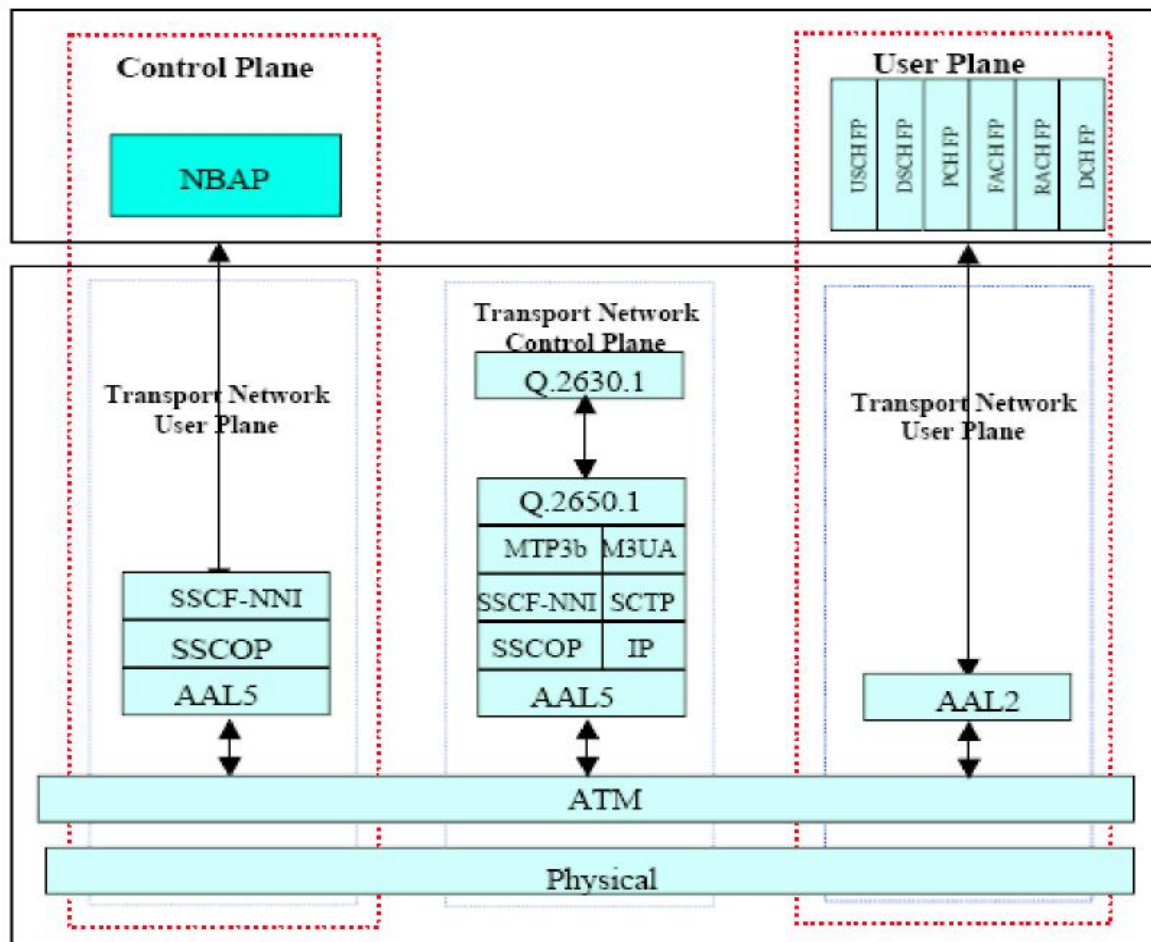
Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, περιέχει τέσσερα υπο-επίπεδα. Τα δύο πρώτα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου και πληροφορίας. Το πρώτο υπο-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) το οποίο βρίσκεται αμέσως μετά το φυσικό επίπεδο. Τα λογικά κανάλια που χρησιμοποιεί τα αντιστοιχίζει σε κανάλια μεταφοράς για την επικοινωνία του φυσικού επιπέδου με τα υψηλότερα επίπεδα. Επίσης το πρωτόκολλο αυτό, διαχειρίζεται τις προτεραιότητες μεταξύ των UE αλλά και μεταξύ των ροών δεδομένων που αφορούν ένα συγκεκριμένο UE. Εν συντομία, κάποιες άλλες λειτουργίες του MAC πρωτοκόλλου είναι ο έλεγχος των κινήσεων, η κρυπτογράφηση και η πολυπλεξία. Στη συνέχεια, ακολουθώντας από κάτω προς τα πάνω τη στοίβα των πρωτοκόλλων συναντάμε το Radio Link Control πρωτόκολλο το οποίο ανήκει στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Το πρωτόκολλο αυτό είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και παρακολούθηση της μεταφοράς δεδομένων καθώς και για τις ρυθμίσεις QoS.



Τέλος, τα πρωτόκολλα Packet Data Convergence Protocol (PDCP) και Broadcast/Multicast Control (BMC) χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας. Το PDCP λειτουργεί μόνο στο PS τμήμα και η κύρια λειτουργία του είναι η συμπίεση της επικεφαλίδας (header compression) των πακέτων και η αποστολή τους πάνω από RLC, MAC και φυσικό επίπεδο στο UE. Το BMC πρωτόκολλο είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες broadcast και multicast του δικτύου.

## **Η διεπαφή Iub**

Η διεπαφή Iub συνδέει τους RNC κόμβους με τους Node B. Το γεγονός ότι η διεπαφή στηρίζεται στην ενσύρματη επικοινωνία, της δίνει την δυνατότητα να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως, το ETSI STM-1, STM-4, SONET STS-3c, ITU STS-1 κ.α. Επίσης πάνω από το επίπεδο αυτό, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων υλοποιείται με το ATM πρωτόκολλο όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Το ATM χρησιμοποιείται σε όλες τις ενσύρματες διεπαφές του UMTS, καθώς αποτελεί ένα πανίσχυρο πρωτόκολλο που μπορεί να χειριστεί όλους τους τύπους των κινήσεων όπως σύγχρονες – ασύγχρονες και μεταγωγή κυκλώματος ή πακέτου.

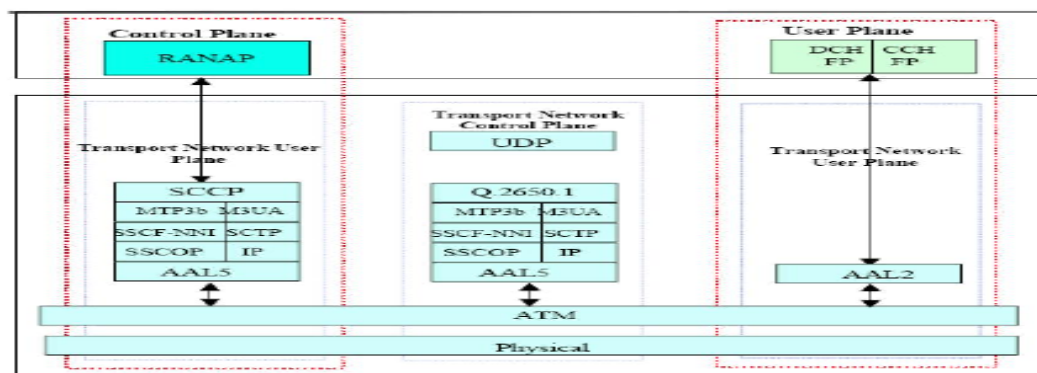


**Σχήμα 10: Η στοίβα των πρωτοκόλλων για την διεπαφή Iub**

Πάνω από το ATM, χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα ATM Adaptation Layer 2 και 5 (AAL2 και AAL5). Το πρώτο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου και πληροφορίας ενώ το δεύτερο μόνο για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά αναλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων από τα υψηλότερα επίπεδα προκειμένου να μπορούν να μεταδοθούν από το επίπεδο ATM.

## Η διεπαφή Iur

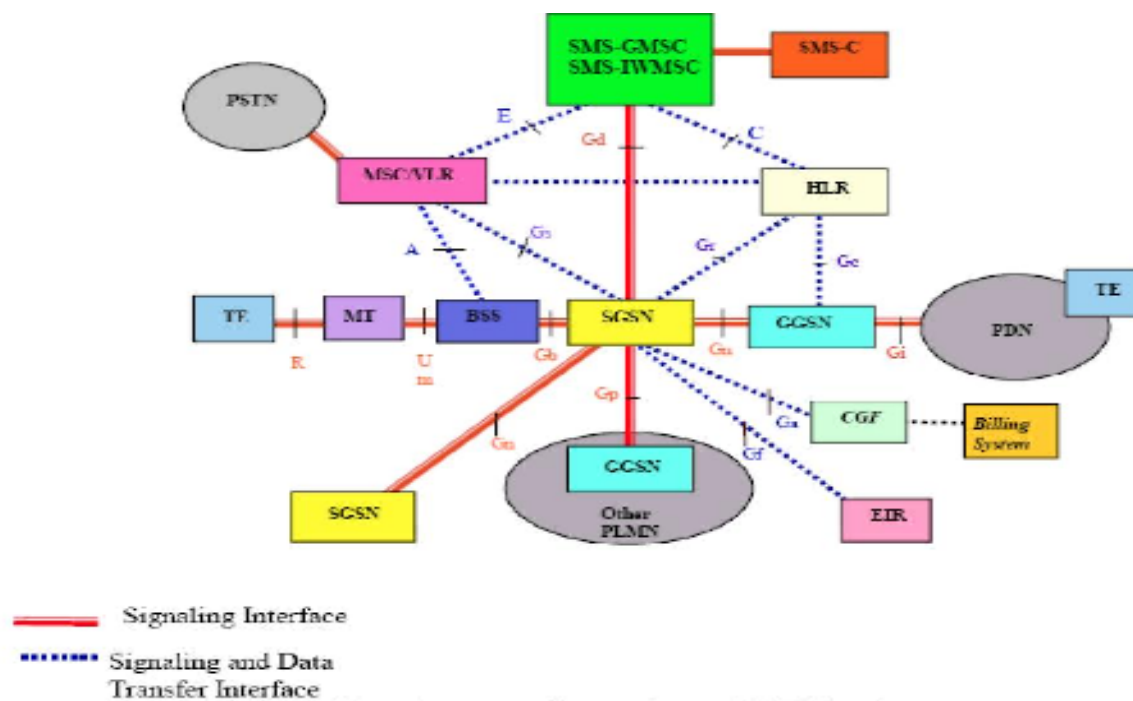
Η διεπαφή Iur θεωρείται ως ένα από τα καινούργια στοιχεία που εισήγαγε το UMTS χωρίς να το υιοθετήσει από το GSM και αφορά την επικοινωνία μεταξύ των RNC. Μέσω της διεπαφής αυτής, γίνεται μεταφορά πληροφορίας ελέγχου (signaling) σε ότι αφορά την διαχείριση των ασυρμάτων πόρων του δικτύου καθώς και η διαδικασία του handover.



Σχήμα 11: Η στοίβα πρωτοκόλλων για την διεπαφή Iur

Σε σχέση και με τη διεπαφή Iub παρατηρούμε ότι στην Iur διεπαφή και πάνω από το επίπεδο AAL5, γίνεται χρήση των IP και UDP πρωτοκόλλων (Σχήμα 11). Η υλοποίηση αυτή αφορά το IP over ATM μέσω του οποίου η πληροφορία μεταδίδεται με το IP πρωτόκολλο χρησιμοποιώντας ATM τεχνολογία. Επίσης, χρησιμοποιούνται και κάποια άλλα πρωτόκολλα σηματοδότησης όπως είναι το Message Transfer Part Level 3 (MTP3-b) για τον έλεγχο της δρομολόγησης των μηνυμάτων, το MTP3 User Adaptation Layer (M3UA), το Signaling Connection Control Part (SCCP) και το Radio Network Application Part (RANAP). Το τελευταίο είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει όλες τις

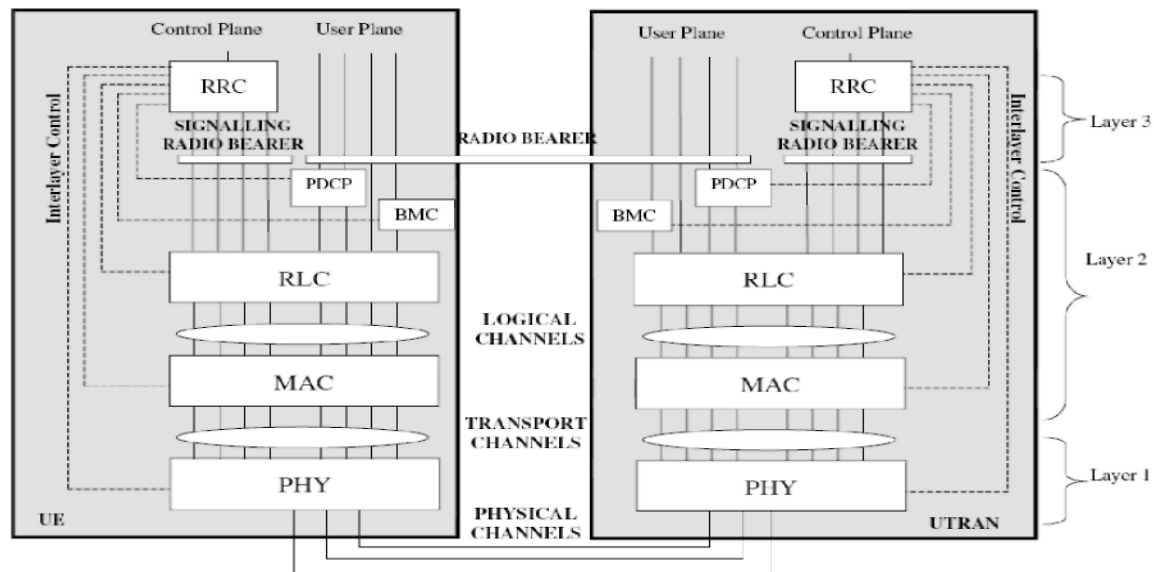
λειτουργίες για τη διαχείριση των ασυρμάτων πόρων και την υποστήριξη των διαδικασιών του handover και SRNS relocation



Σχήμα 13: Μερικές από τις διεπαφές του UMTS δικτύου

## Τα κανάλια του UTRAN

Υπάρχουν τριών ειδών κανάλια που χρησιμοποιούνται από το UTRAN: (α) τα λογικά κανάλια, (β) τα κανάλια μεταφοράς και (γ) τα φυσικά κανάλια. Στην συνέχεια ακολουθεί μια περιγραφή με τα χαρακτηριστικά των καναλιών αυτών.



Σχήμα 14: Τα κανάλια του UTRAN δικτύου

## Λογικά κανάλια

Τα λογικά κανάλια του UTRAN δικτύου διακρίνονται σε δύο τύπους (α) Control Logical Channels και Traffic Logical Channels ανάλογα. Ο καθορισμός τους γίνεται στη διεπαφή μεταξύ των επιπέδων RLC και MAC ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που μεταφέρουν. Η κατηγοριοποίηση τους βασίζεται στο γεγονός εάν μεταφέρουν πληροφορία που αφορά τον έλεγχο των λειτουργιών του δικτύου ή το χρήστη. [2]

Τα Control Logical Channels διακρίνονται στα εξής κανάλια:

- **Broadcast Control Channel (BCCH)** το οποίο μεταφέρει *control* πληροφορία η οποία γίνεται *broadcast* σε όλους τους χρήστες μιας συγκεκριμένης κυψέλης με τη μορφή System Information μηνυμάτων. Αυτού του είδους η πληροφορία περιέχει παραμέτρους που αφορούν χαρακτηριστικά της κυψέλης όπως το ID της κυψέλης, τους spreading κώδικες που πρέπει να είναι γνωστά στο χρήστη πριν αυτός δοκιμάσει να εξυπηρετηθεί από τη

συγκεκριμένη κυψέλη. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται μόνο ως downlink κανάλι προς τον χρήστη.

- **PCCH (Paging Control Channel).** Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται μόνο για να ενημερώσει τους χρήστες για τις εισερχόμενες κλήσεις ή μηνύματα. Όλοι οι χρήστες «ακούν» περιοδικά το κανάλι αυτό, το οποίο όπως και πριν, χρησιμοποιείται μόνο ως downlink.
- **Dedicated Control Channel (DCCH).** Το κανάλι αυτό μεταφέρει μόνο πληροφορία για σηματοδότηση (signaling) σε αντιστοιχία με ένα συγκεκριμένο χρήστη. Σε κάθε χρήστη αναλογεί ένα τέτοιο κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται για την εγκαθίδρυση της σύνδεσης, τον έλεγχο των πόρων του δικτύου ή για αναφορές σχετικά με μετρήσεις. Χρησιμοποιείται και προς τις δυο κατευθύνσεις downlink ή uplink.
- **Common Control Channel (CCCH).** Με το κανάλι αυτό στέλνονται τα πρώτα μηνύματα από τον UE για την εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης και ως απάντηση από το δίκτυο στο αίτημα για δέσμευση καναλιού. Χρησιμοποιείται και προς τις δυο κατευθύνσεις downlink ή uplink.

Τα Traffic Logical Channels διακρίνονται στα εξής κανάλια:

- **Dedicated Traffic Channels (DTCH).** Αυτό το κανάλι ορίζεται από την πλευρά του χρήστη και μεταφέρει πληροφορία που αντιστοιχεί σε κάποια υπηρεσία αφιερωμένη στον UE. Επίσης είναι δυνατό στον ίδιο UE να αντιστοιχούν περισσότερα από ένα τέτοια κανάλια. Χρησιμοποιείται και προς τις δυο κατευθύνσεις downlink ή uplink.
- **CTCH (Common Traffic Channel).** Αυτό το κανάλι είναι point-to-multipoint και μεταφέρει πληροφορία για όλους ή για μια ομάδα από UE.

### 3.4 Κανάλια μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς ορίζονται από τον τρόπο και από τα χαρακτηριστικά με τα οποία η πληροφορία μεταδίδεται από το MAC επίπεδο μέσω της

ασύρματης διεπαφής. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα κανάλια μεταφοράς δε λαμβάνουν υπό όψη το είδος της πληροφορίας που μεταφέρουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα κανάλι μεταφοράς να μπορεί να μεταφέρει πληροφορία από διάφορα λογικά κανάλια εάν η μετάδοση μέσω της ασύρματης διεπαφής έχει τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η εμφάνιση των καναλιών μεταφοράς στο UMTS με τις διαφορές που αυτά έχουν από τις προδιαγραφές των συστημάτων 2ης γενιάς, όπου υπάρχουν μόνο λογικά και φυσικά κανάλια, ανταποκρίνεται στην ανάγκη για δυνατότητα εξυπηρέτησης από τις ασύρματες διεπαφές, στους διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών και κάλυψης των αναγκών στην ασύρματη μετάδοση που οι τελευταίες προϋποθέτουν. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων, δεν έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε ότι αφορά την καθυστέρηση και το ρυθμό εμφάνισης λαθών, συγκριτικά με τις υπηρεσίες μεταφοράς φωνής και streaming. Για το λόγο αυτό, λογικά DTCH κανάλια, που εξυπηρετούν διαφορετικές υπηρεσίες θα πρέπει να αντιστοιχίζονται σε κανάλια μεταφοράς με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ενώ η μεταφορά δεδομένων μπορεί να πραγματοποιείται μέσω Common καναλιών, η μεταφορά φωνής πραγματοποιείται μέσω Dedicated καναλιών. Η επαρκής αντιστοίχιση των λογικών καναλιών στα κανάλια μεταφοράς θα πρέπει να ικανοποιεί όσο είναι δυνατόν, τις ανάγκες για σωστή διαχείριση των ασύρματων πόρων από τη μια πλευρά και της επαρκούς λειτουργίας των υπηρεσιών από την άλλη. Με τον τρόπο αυτό βέβαια, εισάγεται στο UMTS δίκτυο η δυνατότητα για παροχή QoS στους χρήστες που το χρησιμοποιούν.

Τα κανάλια μεταφοράς διαχωρίζονται σε δυο είδη αναλόγως αν η μετάδοση γίνεται με dedicated ή common τρόπο. Τα dedicated κανάλια μεταφοράς χαρακτηρίζονται από τη δέσμευση των φυσικών πόρων του δικτύου (συχνότητα και spreading κώδικες) από έναν UE. Το κανάλι παραμένει δεσμευμένο όσο ο UE βρίσκεται στην κυψέλη που του το έχει παραχωρήσει με αποτέλεσμα κανείς άλλος να μη μπορεί να το χρησιμοποιήσει. Απεναντίας, τα common κανάλια μεταφοράς αντιστοιχίζονται σε ένα μέρος των συνολικών πόρων του δικτύου όπου είτε μοιράζονται από ένα σύνολο από UE, είτε δεν απευθύνονται σε κανέναν. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη για πιστοποίηση της ταυτότητας του UE όταν αυτός μεταδίδει ή λαμβάνει πληροφορία εν αντιθέσει με τα dedicated όπου δεν είναι και τόσο αναγκαία.

Στην κατηγορία των dedicated καναλιών, συναντάμε, το Dedicated Channel (DCH), το οποίο προορίζεται για τη μετάδοση πληροφορίας τόσο σε επίπεδο χρήστη αλλά και σε επίπεδο ελέγχου. Χρησιμοποιείται και στα δυο κανάλια (uplink και downlink) καθώς επίσης έχει τη δυνατότητα να μεταδίδεται τόσο σε όλη την κυψέλη όσο και σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο με τη βοήθεια κατευθυντικής κεραίας. Ένα UE μπορεί να έχει δεσμεύσει διάφορα DCH κανάλια ταυτόχρονα, γεγονός που επιτρέπει την προσφορά πολλαπλών υπηρεσιών την ίδια ακριβώς στιγμή. Πάντως ακόμα και στην περίπτωση παροχής μόνο μιας υπηρεσίας, είναι γεγονός ότι χρησιμοποιούνται δυο DCH κανάλια, ένα για την μεταφορά του λογικού traffic καναλιού (DTCH) και ένα για τη σηματοδότηση (DCCH).

Τα common κανάλια διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

**Broadcast Channel (BCH).** Αυτό το κανάλι λειτουργεί μόνο ως downlink και απευθύνεται σε ένα πλήθος από UE, και όχι σε κάποιον συγκεκριμένα. Παρέχει το μέσο μεταφοράς για το BCCH λογικό κανάλι το οποίο μεταφέρει πληροφορία σχετική με το σύστημα. Για το λόγο αυτό, το κανάλι θα πρέπει να λαμβάνεται από όλα τα UE σε οποιοδήποτε σημείο της κυψέλης και αν βρίσκονται. Η ανάγκη αυτή έχει κάνει το συγκεκριμένο κανάλι να μεταδίδει σε χαμηλή ισχύ, αλλά με χαμηλό ρυθμό.

**Paging Channel (PCH).** Όπως και με το BCH, το κανάλι αυτό λειτουργεί μόνο ως downlink και θα πρέπει να λαμβάνεται από όλους τους χρήστες σε μια δεδομένη κυψέλη. Αποτελεί το μέσο μεταφοράς για το PCCH λογικό κανάλι το οποίο περιέχει paging πληροφορία από το δίκτυο προς συγκεκριμένους χρήστες.

**Random Access Channel (RACH).** Λειτουργεί μόνο ως uplink και θα πρέπει να λαμβάνεται από οποιαδήποτε σημείο της κυψέλης. Η μετάδοση μέσω του RACH καναλιού ακολουθεί τους κανόνες του S-ALOHA/CDMA πρωτοκόλλου, και για το λόγο αυτό υπάρχει περίπτωση να εμφανιστούν συγκρούσεις (collision) λόγω της ταυτόχρονης μετάδοσης από πολλούς χρήστες. Χρησιμοποιείται από υπηρεσίες με πολύ χαμηλές απαιτήσεις ή για σηματοδότηση κατά την αρχική πρόσβαση στο σύστημα.

**Forward Access Channel (FACH).** Λειτουργεί μόνο ως downlink και θα πρέπει να λαμβάνεται σε οποιοδήποτε σημείο της κυψέλης. Έχει τη δυνατότητα για μετάδοση με διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων και συνήθως μεταφέρει λογικά κανάλια ελέγχου τα οποία απευθύνονται σε συγκεκριμένους UE.

•**Common Packet Channel (CPCH).** Το κανάλι αυτό λειτουργεί ως uplink, και θεωρείται μια επέκταση του RACH καναλιού για τη μετάδοση μεγαλύτερων πακέτων δεδομένων. Η μετάδοση μέσω του



CPCH ακολουθεί τους κανόνες DSMA/CD (Digital Sense Multiple Access / Collision Detection) πρωτοκόλλου. Σαν αποτέλεσμα συγκρούσεις μπορεί να συμβούν κατά την αρχή της μετάδοσης με το κανάλι αυτό.

■ **Downlink Shared Channel (DSCH)**. Αυτό το κανάλι μεταφοράς λειτουργεί ως downlink και αντιστοιχίζεται σε ένα σύνολο από φυσικούς πόρους του δικτύου που δεσμεύονται για κάποιο χρονικό διάστημα από διαφορετικούς χρήστες. Σύμφωνα με κάποια πολιτική που ακολουθείται, διαφορετικοί χρήστες μπορούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα με το ίδιο DSCH κανάλι αρκεί να χρησιμοποιήσουν διαφορετικούς κώδικες όπως ορίζει το CDMA πρότυπο.

• **High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)**. Είναι μια προέκταση του DSCH καναλιού προκειμένου να παρέχει στο HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) ένα καινούργιο χαρακτηριστικό. Μπορεί να πετύχει ρυθμούς μετάδοσης θεωρητικά μέχρι και 14 Mb/s .

#### **Φυσικά κανάλια**

Τα φυσικά κανάλια αποτελούνται από τα φυσικά τηλεπικοινωνιακά σήματα που μεταδίδονται μέσω του ασύρματου καναλιού και προς τις δυο κατευθύνσεις uplink, downlink. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά της προς μετάδοση

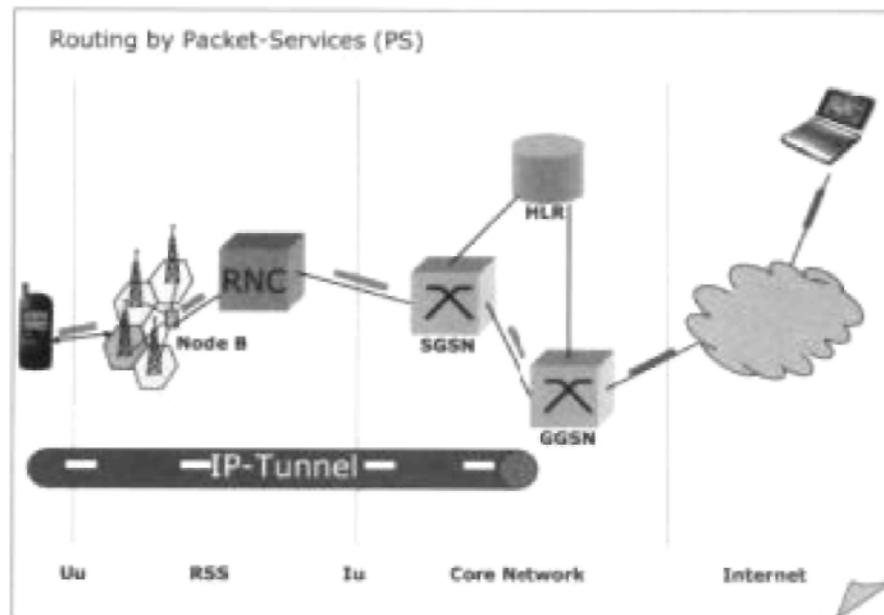
πληροφορίας, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φυσικών καναλιών οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες θα μοιραστούν τους πόρους του δικτύου. Οι προδιαγραφές ενός φυσικού καναλιού περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά που αφορούν τη συχνότητα, το χρόνο, και τους κώδικες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Σύμφωνα με την FDD λειτουργία του UTRAN, υπάρχουν τρία ζευγάρια ζωνών συχνοτήτων. Για τις λειτουργίες uplink και downlink διατίθενται ξεχωριστά κανάλια συχνοτήτων. Αντίθετα στη λειτουργία TDD υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων το οποίο χωρίζεται σε χρονοσχισμές. Οι χρονοσχισμές αυτές μοιράζονται μεταξύ uplink και downlink. Με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια.

### **3.5 Μετάδοση δεδομένων**

## PDP και GTP

Ένας κινητός χρήστης στην αριστερή πλευρά του Σχήμα 17 επιθυμεί να ανταλλάξει δεδομένα με κάποιο υπολογιστή συνδεδεμένο με το Internet στην δεξιά πλευρά του σχήματος. Προτού ο χρήστης μπορέσει να έχει πρόσβαση στο Internet θα πρέπει να ενεργοποιήσει το Packet Data Protocol (PDP) στο GGSN. Μέσω του PDP θα καθοριστούν κάποια χαρακτηριστικά σχετικά με τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων στα οποία μπορεί ο χρήστης να έχει πρόσβαση. Η λίστα με τα επιτρεπόμενα δίκτυα είναι καταχωρημένη στον HLR κόμβο.



Σχήμα 17: Μετάδοση πακέτων στο UMTS

Αρχικά εγκαθιδρύεται μια σύνδεση μέσω RNC με τον SGSN κόμβο. Ο κόμβος αυτός λαμβάνει ένα αίτημα από τον κινητό χρήστη για πρόσβαση στο Internet, το οποίο προωθεί στον υπεύθυνο GGSN κόμβο. Καθώς ελέγχεται ο HLR για το αν όντως ο χρήστης αυτός μπορεί να συνδεθεί με το Internet και προκύψει θετική απάντηση, ο GGSN ενεργοποιεί τις κατάλληλες λειτουργίες. Ανατίθεται μια προσωρινή IP διεύθυνση στον κινητό χρήστη και ταυτόχρονα δημιουργείται ένα IP tunnel (Σχήμα 18) μέσω του οποίου θα περάσουν τα δεδομένα. Στην ουσία το τούνελ αυτό δημιουργήθηκε προκειμένου να μπορεί ο GGSN να αποστέλλει δεδομένα στον RNC πάνω από τον SGSN. Ο RNC αφαιρεί από τα πακέτα τις κατάλληλες επικεφαλίδες (header) και μέσω ενός δεύτερου τούνελ προωθεί τα πακέτα στον κινητό χρήστη.

Το τούνελ το οποίο χρησιμοποιεί ο GGSN για να στείλει τα πακέτα, είναι στην ουσία ένα πρωτόκολλο το οποίο λέγεται και GPRS Tunnel Protocol User Part (GTP-u). Δημιουργήθηκε και προτυποποιήθηκε από το ίδρυμα ETSI για το GSM. Στη συνέχεια το 3GPP ενσωμάτωσε το GTP στο πρότυπο του UMTS. Το επίπεδο του GTP αντιστοιχεί στο επίπεδο πάνω από το UDP. Ουσιαστικά πρόκειται για το πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των δομών του PDP καθώς και για τη μεταφορά των δεδομένων που αντιστοιχούν σε κάθε σύνοδο. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές του πρωτοκόλλου: το GTP-c, το GTP-u και η GTP'.

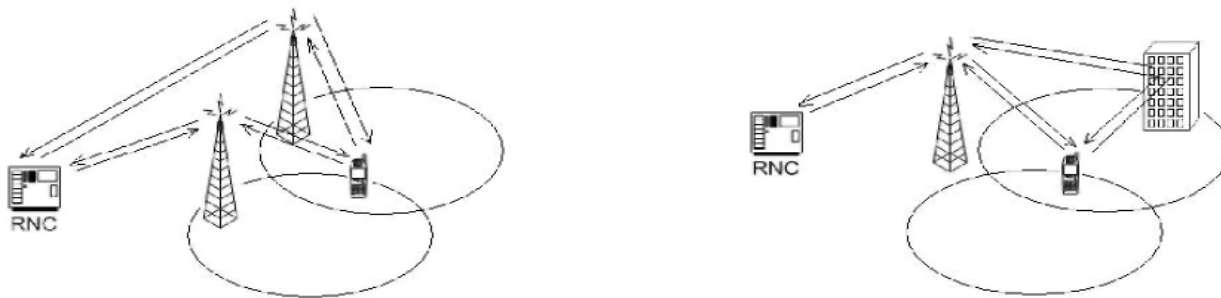
Το GTP-c χρησιμοποιείται στο CN για τη σηματοδότηση μεταξύ των SGSN και GGSN. Το GTP-u χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των πακέτων πληροφορίας μέσα στο CN ή μεταξύ του UTRAN και του CN. Η μεταφορά των δεδομένων μπορεί να γίνει με την μορφή IPv4, IPv6 ή PPP. Το GTP' χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων χρέωσης του συνδρομητή από τους κόμβους SGSN και GGSN προς το μηχανισμό χρέωσης του δικτύου.

### **3.6 Τα handover στο UMTS**

Τα κινητά τηλέφωνα, όπως είναι γνωστό και από το GSM, μπορούν να διατηρούν μια κλήση καθώς αυτά κινούνται μεταξύ δύο κυψελών. Η διαδικασία η οποία είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της κλήσης λέγεται handover και σε ότι αφορά το UMTS, θεωρείται ως η μεταφορά της σύνδεσης από τον ένα Node B στον άλλο. Εντούτοις υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των handover που γίνονται στο UMTS με CDMA και στο GSM με TDMA. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι όλα τα UE στο UMTS χρησιμοποιούν διαρκώς το ίδιο φάσμα συχνοτήτων.

#### **Softer, soft και hard handover**

Στο UMTS υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι handover. Με την βοήθεια του Σχήμα 20 ακολουθεί μια περιγραφή των χαρακτηριστικών τους:



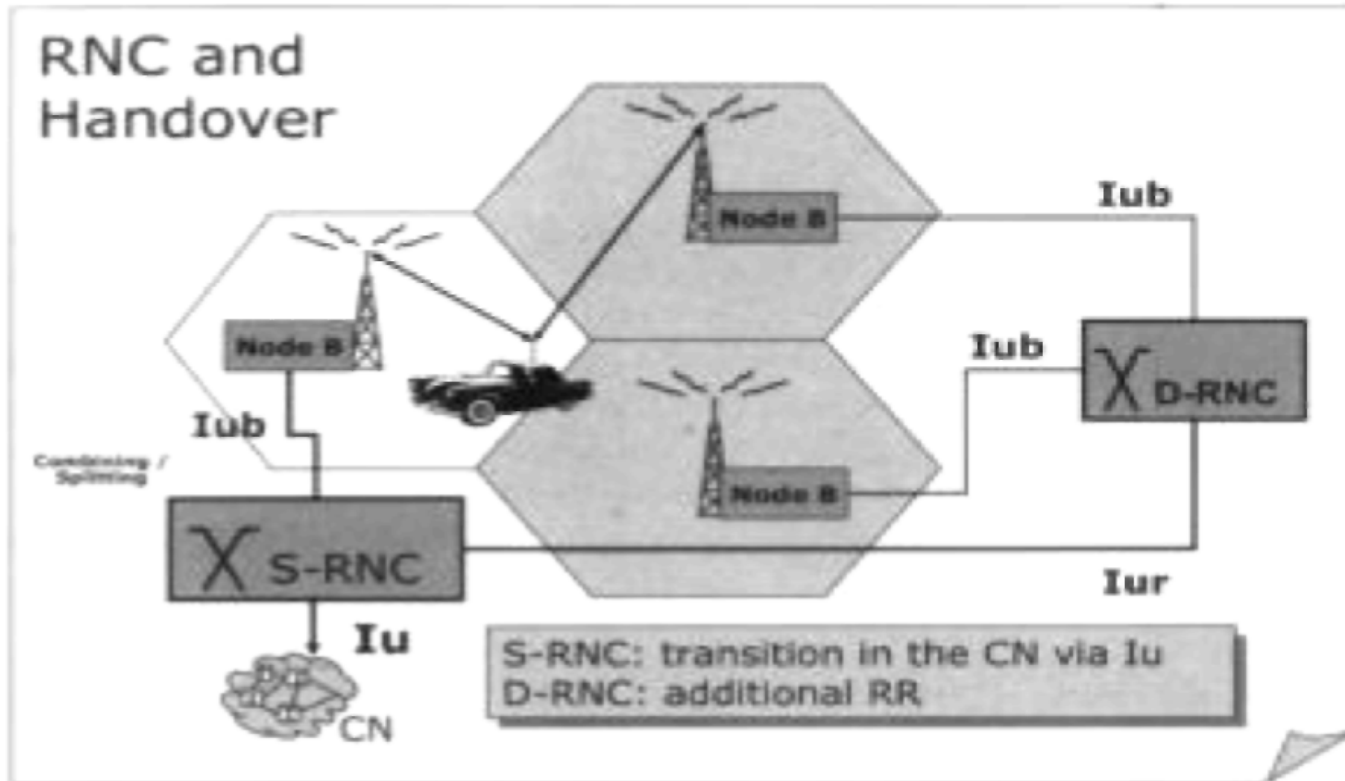
**Σχήμα 20: Soft και softer handover στο UMTS**

1. Στο hard handover, γνωστό και από το GSM, γίνεται αλλαγή μεταξύ TDD και FDD όταν ο UE είναι αναγκασμένος να αλλάξει συχνότητα. Ο χρόνος μετάβασης από την μια κυψέλη στην άλλη θεωρείται αρκετός προκειμένου να προλάβει ο UE να εγκαθιδρύσει μια σύνδεση χρησιμοποιώντας ένα καινούργιο κανάλι καθώς αυτό μπορεί να συμβεί σε χρονικό διάστημα μεταξύ δύο frame.
2. Στο soft handover, ο UE μπορεί να επικοινωνεί ταυτόχρονα μέχρι και με τρεις διαφορετικούς Node B. Τα δεδομένα χωρίζονται μέσα στον RNC και μεταδίδονται μέσω broadcast στους εμπλεκόμενους Node B. Τα δεδομένα που καταφθάνουν στους Node B από το uplink κανάλι προωθούνται στον RNC. Στη συνέχεια ο RNC συνδυάζει δυο ροές δεδομένων και μεταφέρει την πληροφορία προς το CN.
3. Το softer handover θεωρείται μια ειδική έκδοση του soft handover καθώς είναι εφικτή η παράλληλη μετάδοση δεδομένων σε διαφορετικούς τομείς (sector) του ίδιου Node B.

### **Ο ρόλος του RNC στο handover**

Το soft handover είναι μια διαδικασία απλή και σχετικά εύκολη στην περίπτωση που οι συμμετέχοντες Node B ανήκουν στον ίδιο RNC. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα εντοπίζεται όταν οι Node B ελέγχονται από διαφορετικά RNC. Το CN δεν επιτρέπεται να ασχολείται με τα προβλήματα που

απασχολούν το RAN ή να συμμετέχει σε διαδικασίες που αφορούν τις ασύρματες διεπαφές.



**Σχήμα 21: Ο ρόλος του RNC στο handover**

Εντούτοις, αυτό θα ήταν επιθυμητό εάν τα δυο RNC δεν ήταν δυνατό να έχουν μια απευθείας επικοινωνία μέσω της Iur διεπαφής.

Καταφεύγοντας σε ένα παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ο κινητός χρήστης του παραπάνω σχήματος, εξυπηρετείται από την αριστερή κυψέλη. Το RNC που φαίνεται στα αριστερά στο Σχήμα 21 ελέγχει την σύνδεση αυτή μέσω της διεπαφής Iu. Συνεπώς το RNC αυτό καλείται Controlling RNC (CRNC).

Αν ο χρήστης κινηθεί προς τα δεξιά, ένα soft handover θα λάβει χώρα. Ο χρήστης τώρα εξυπηρετείται από δυο Node B. Στην περίπτωση αυτή ο δεύτερος Node B, ελέγχεται από διαφορετικό RNC του οποίου ο CRNC δεσμεύει φυσικούς πόρους για το χρήστη. Καθώς τον έλεγχο της σύνδεσης συνεχίζει να τον έχει ο RNC στα αριστερά, (παίζει το ρόλο του Serving RNC S-RNC), ενώ ο RNC στα δεξιά ελέγχεται με απομακρυσμένο τρόπο μέσω της Iur διεπαφής και αποκαλείται ως Drift RNC (DRNC). Δουλειά του SRNC είναι ο συνδυασμός των δεδομένων που μεταδίδονται με το uplink κανάλι. Ο DRNC προωθεί τα δεδομένα χωρίς να τα επεξεργαστεί στον SRNC. Σε ότι αφορά το downlink κανάλι ο SRNC στέλνει ένα αντίγραφο της πληροφορίας που καταφθάνει από το CN στον DRNC, και αυτός στην συνέχεια την προωθεί μέσω των Node B στον κινητό χρήστη. Καθώς ο χρήστης απομακρύνεται από τον αριστερό Node B, ο ρόλος αυτού μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα κάποια η στιγμή η σύνδεση να τερματιστεί.

Ανάλογα με το πού βρίσκεται τοπολογικά ο νέος Node B σε σχέση με τον αρχικό, υπάρχουν οι εξής τύποι soft handover:

- **Inter-Node B/intra-RNS handover:** Αυτός ο τύπος handover εκτελείται όταν το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B σε ένα κελί άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό.
- **Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Συνεπώς, οι Node B ελέγχονται από διαφορετικούς RNC οι οποίοι όμως συνδέονται με τον ίδιο SGSN.
- **Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Επιπλέον, οι αντίστοιχοι RNC συνδέονται με διαφορετικούς SGSN.

### **SRNS Relocation**

Στην περίπτωση που αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχει μια τεχνική γνωστή ως Serving Radio Network Subsystem (SRNS) relocation. Είναι η διαδικασία κατά την οποία αλλάζει η σύνδεση του UTRAN με το CN για τη σύνδεση που αφορά ένα συγκεκριμένο UE. Η SRNS relocation, συμβαίνει όταν έχει ήδη προηγηθεί ένα inter-RNS soft handover. Καθώς το soft handover έχει εκτελεστεί, ο SRNC αναλαμβάνει να προωθήσει προς τον DRNC τα δεδομένα που απευθύνονται στο συγκεκριμένο UE.

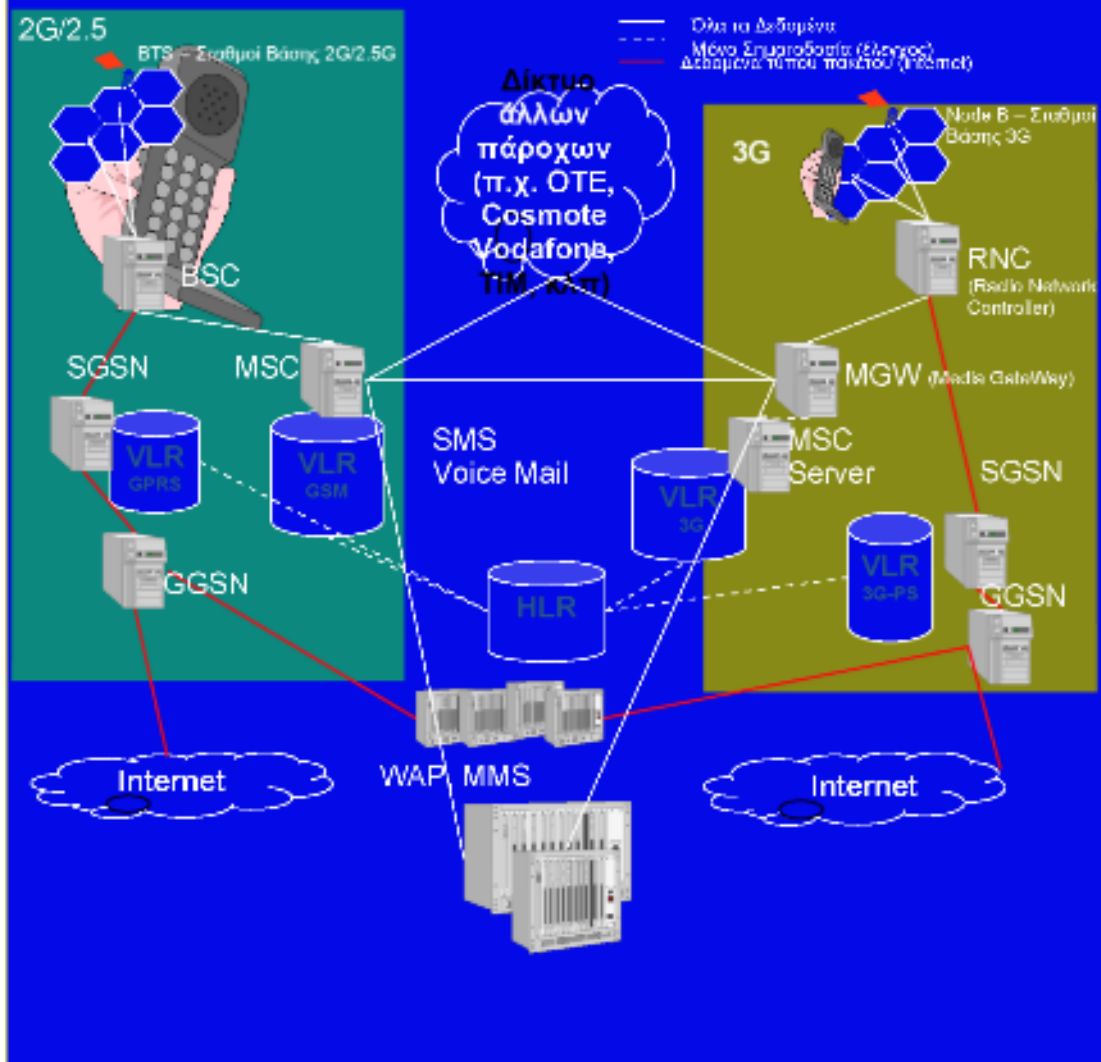
Ανάλογα με την σχετική θέση του αρχικού ως προς τον τελικό SRNC υπάρχουν δυο είδη διαδικασιών SRNS relocation. Η intra-SGSN SRNS relocation και η inter-SGSN SRNS relocation. Η πρώτη συμβαίνει όταν οι δυο RNC είναι συνδεδεμένοι με τον ίδιο κόμβο SGSN του CN. Είναι μια διαδικασία που ακολουθεί ένα inter-RNS/intra-SGSN handover. Από την άλλη πλευρά, η δεύτερη διαδικασία ακολουθεί ένα inter-RNS/inter-SGSN, γεγονός που σημαίνει ότι οι δυο RNC συνδέονται με διαφορετικούς SGSN.

Η ενεργοποίηση της διαδικασίας SRNS relocation πετυχαίνει οικονομία στους πόρους του δικτύου. Όσο διαρκεί το soft handover ο UE λαμβάνει την ίδια πληροφορία από κεραιές που ελέγχονται από τον SRNC αλλά και από κεραιές που ελέγχονται από τον DRNC. Καθώς ο UE απομακρύνεται από τον SRNC η ισχύς του σήματος πέφτει. Επειδή η εκπομπή του σήματος αυτού δεν πετυχαίνει την επιθυμητή μετάδοση της πληροφορίας προς τον UE και για να μην υπάρχει σπατάλη στους πόρους του κόμβου, κάποιο άλλο RNC αναλαμβάνει τον ρόλο του SRNC για τον UE. Επίσης, η χρήση της διαδικασίας αυτής συνεισφέρει και στην αποφυγή της άσκοπης χρήσης του bandwidth της διεπαφής Iur.

### **Intersystem handover**

Ένα intersystem handover θεωρείται ότι είναι ένα handover μεταξύ δυο διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Προς το παρόν το 3GPP έχει θέσει τις προδιαγραφές για intersystem handover μεταξύ των συστημάτων GSM και UMTS. Κατά συνέπεια υπάρχει ένα handover από UMTS προς GSM και ένα από GSM σε UMTS. Δεδομένου ότι τα δίκτυα UMTS δεν παρέχουν επαρκή κάλυψη σε γεωγραφικές περιοχές, η υποστήριξη της διαδικασίας αυτής κρίνεται απαραίτητη. Έτσι οι χρήστες των δικτύων UMTS θα εξυπηρετούνται σε μεγάλο βαθμό από δίκτυα πρόσβασης GSM.

## Η διάταξη του δικτύου 3G/UMTS





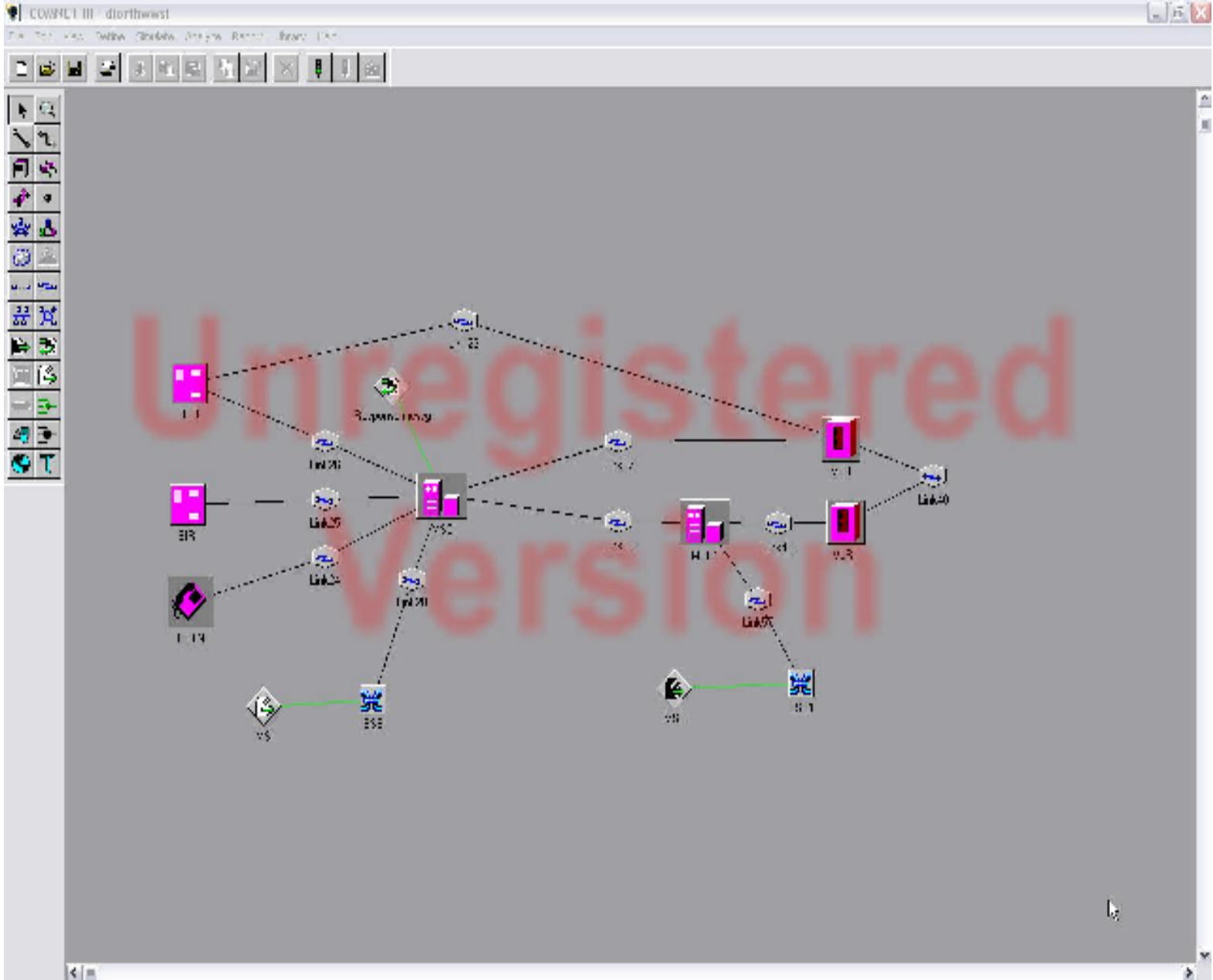
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ**

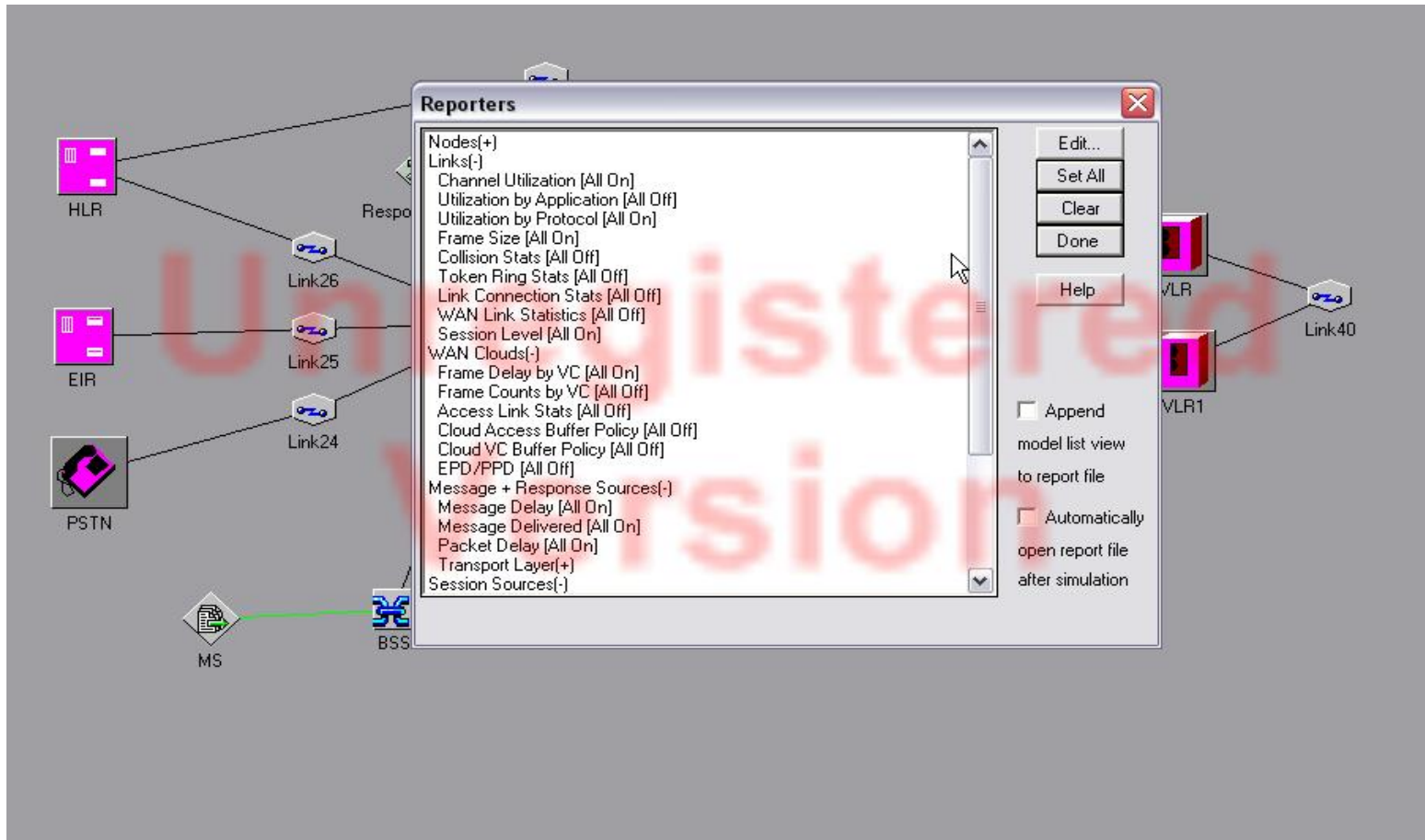
#### **4.1 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

ΟΙ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΕΣ ΚΛΗΣΕΙΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟ MSC ΚΑΤΟΠΙΝ ΤΟ MSC ΑΝΑΚΡΙΝΕΙ ΤΟ HLR ΓΙΑ ΝΑ ΒΡΕΙ ΠΟΙΟ MSC ΚΑΛΥΠΤΕΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗΣ. ΤΟ ΠΡΩΤΟ MSC ΚΑΝΕΙ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ MSC1 ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΕΤΑΙ ΤΟ VLR ΓΙΑ ΝΑ ΛΑΒΕΙ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ. ΜΟΛΙΣ ΔΩΘΕΙ Η ΑΠΑΝΤΗΣΗ Η ΚΛΗΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΕΤΑΙ ΣΤΟ MS.

#### **4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**



ΕΧΩΝΤΑΣ ΦΤΙΑΞΕΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΛΕΓΟΥΜΕ ΤΑ REPORTS ΠΟΥ ΘΑ ΘΕΛΟΥΜΕ ΝΑ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ. ΑΥΤΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ:



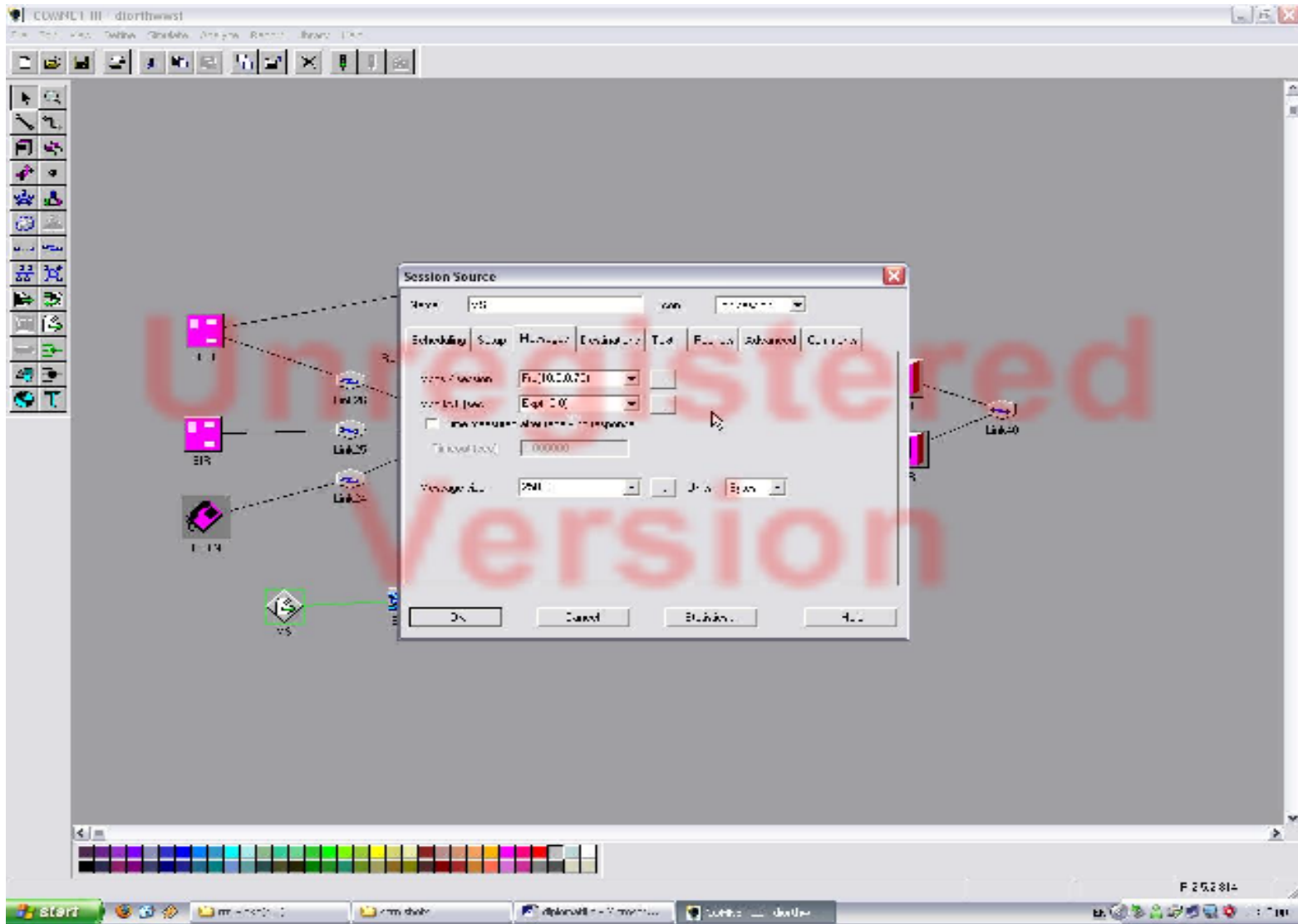
TA REPORTS ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΓΟΥΜΕ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΕΞΗΣ:

- 1.NODE FULL UTILIZATION
- 2.RECEIVED MESSAGE COUNTS
- 3.DISC UTILIZATION
- 4.CHANNEL UTILIZATION
- 5.FRAME SIZE
- 6.SESSION LEVEL
- 7.MESSAGE DELAY
- 8.MESSAGE DELIVERED
- 9.PACKET DELAY
- 10.PACKET SIZE
- 11.SETUP DELAY
- 12.SESSION LENGTH
- 13.SETUP COUNTS

ΤΟ ΕΠΟΜΕΝΟ ΒΗΜΑ ΕΙΝΑΙ ΕΦΟΣΟΝ ΕΧΟΥΜΕ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΟΥΜΕ ΚΑΠΟΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΤΣΙ ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΠΟΡΕΣΟΥΜΕ ΝΑ ΔΟΥΜΕ ΤΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΧΟΥΜΕ ΣΤΑ REPORTS ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΠΟΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΚΑΛΥΤΕΡΟ ΧΡΟΝΟ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ,ΛΙΓΟΤΕΡΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ.

ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΩΤΟ:

ΣΤΟ MOBILE STATION ΒΑΖΟΥΜΕ ΤΑ ΕΞΗΣ PREFERENCES:



## NODES: RECEIVED MESSAGE COUNTS

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

RECEIVER	COUNT	MESSAGE NAME
MSC1	123	MS2
BSS	114	MS
MSC	120	MS

Compuware COMNET III Release 2.5.2.814 Sun Jun 01 22:51:38 2008 PAGE 4

diorthwsi

## LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

LINK	FRAMES	TRANSMISSION DELAY (MS)		%	
	DELIVERED	RST/BRR	AVERAGE		STD DEV

1

ΕΠΙΣΗΣ ΒΛΕΠΩ:

diorthwysi

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: MESSAGES	MESSAGE DELAY			
DESTINATION LIST	ASSEMBLED	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM

---

MSC / src Response messg:				
ECHO	100	862.277 MS	251.566 MS	1490.375 MS

□

diorthwysi

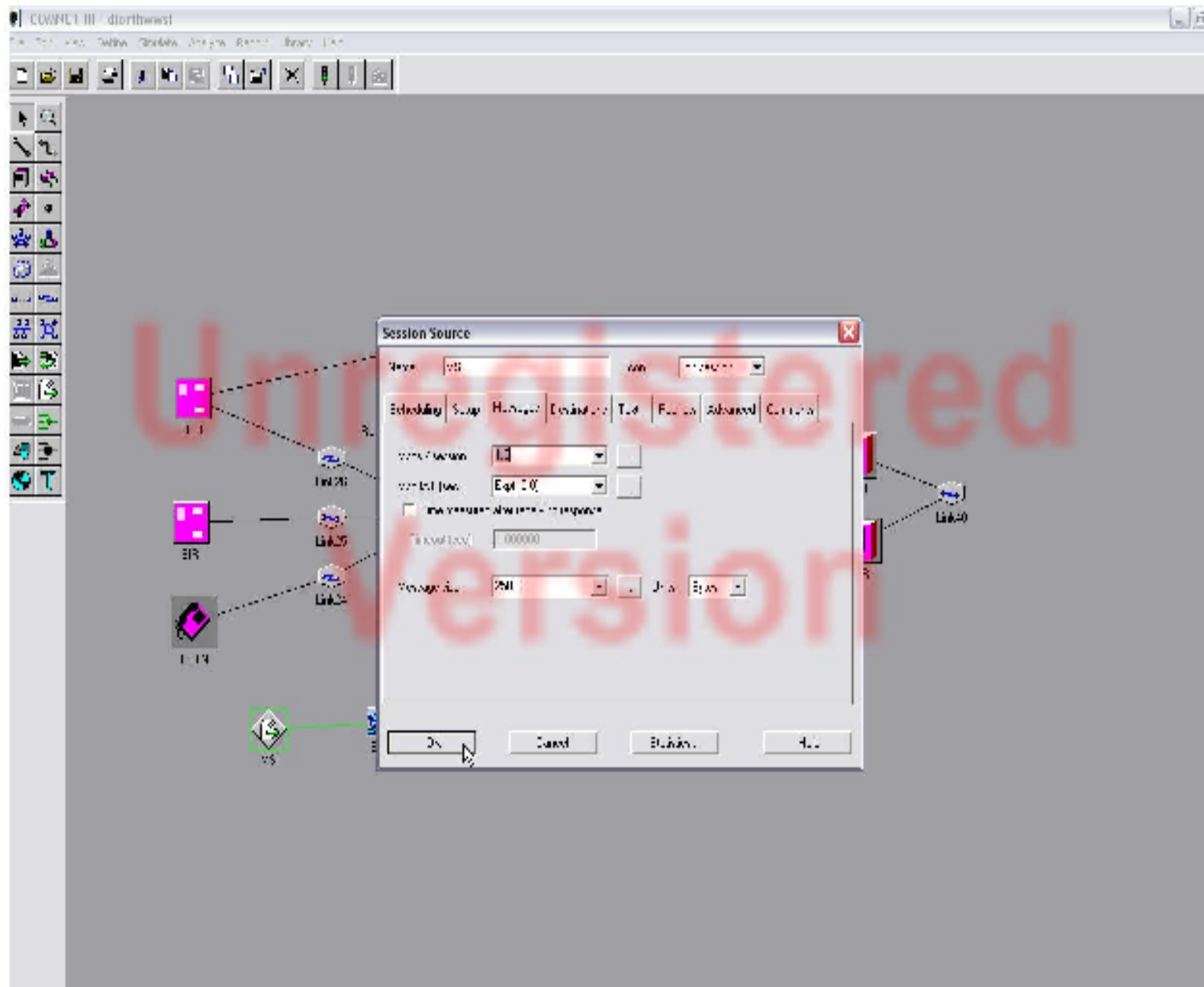
MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS



ΤΩΡΑ ΕΧΩΝΤΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΕΙ ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΝΤΥΠΩΣΗ ΓΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ( RECEIVED MESSAGE COUNTS ΚΑΙ MESSAGE DELAY)  
ΘΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΩ ΕΝΑ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΝΑ ΜΠΟΡΕΣΟΥΜΕ ΝΑ ΔΟΥΜΕ ΚΑΙ ΝΑ ΕΣΤΙΑΣΟΥΜΕ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥΣ:

ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ:



ΤΩΡΑ ΕΦΟΣΟΝ ΕΧΩ ΚΑΝΕΙ VERIFY TO MONTELO TO ΚΑΝΟΥΜΕ SIMULATE:

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

RECEIVER	COUNT	MESSAGE NAME
MSC1	90	MS2
BSS	88	MS
MSC	74	MS

□

ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΣ:

diorthwysi

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 2 FROM 6.0 TO 11.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: MESSAGES	MESSAGE DELAY			
DESTINATION LIST	ASSEMBLED	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM

---

MSC / src Response messg:				
ECHO	120	3032.368 MS	813.458 MS	4089.586 MS

□

diorthwysi

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

ΕΧΩΝΤΑΣ ΑΛΛΑΞΕΙ ΤΑ MSG/SESSION ΠΑΡΑΤΗΡΩ ΟΤΙ ΕΧΩ ΛΙΓΟΤΕΡΑ MSG COUNTS ΑΛΛΑ ΕΧΩ ΑΡΚΕΤΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ MESSAGE DELAY.  
ΚΑΤΟΠΙΝ ΠΑΩ ΣΕ ΕΝΑ ΕΠΟΜΕΝΟ ΣΕΝΑΡΙΟ:

ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΡΙΤΟ:

The background shows a network diagram with several nodes and links. On the left, there are three nodes: HLR (Home Location Register), EIR (Equipment Identity Register), and PSTN (Public Switched Telephone Network). In the center, there is a node labeled MS (Mobile Station). To the right, there are nodes for R1 (Radio Base Station) and R2 (Radio Base Station). Links connect these nodes: Link24 connects PSTN to MS; Link25 connects EIR to MS; Link26 connects HLR to MS; Link40 connects R1 and R2 to MS. A green box highlights the MS node.

**Session Source** [X]

Name: MS Icon: ich.session

Scheduling Setup Messages Destinations Text Packets Advanced Comments

Msgs / session: 1.0 ..

Msg IAT (sec): Exp(10.0) ..

Time measured after receiving response

Timeout (sec): 1.000000

Message size: Exp(10.0) .. Units: Bytes

OK Cancel Statistics... Help

## NODES: RECEIVED MESSAGE COUNTS

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

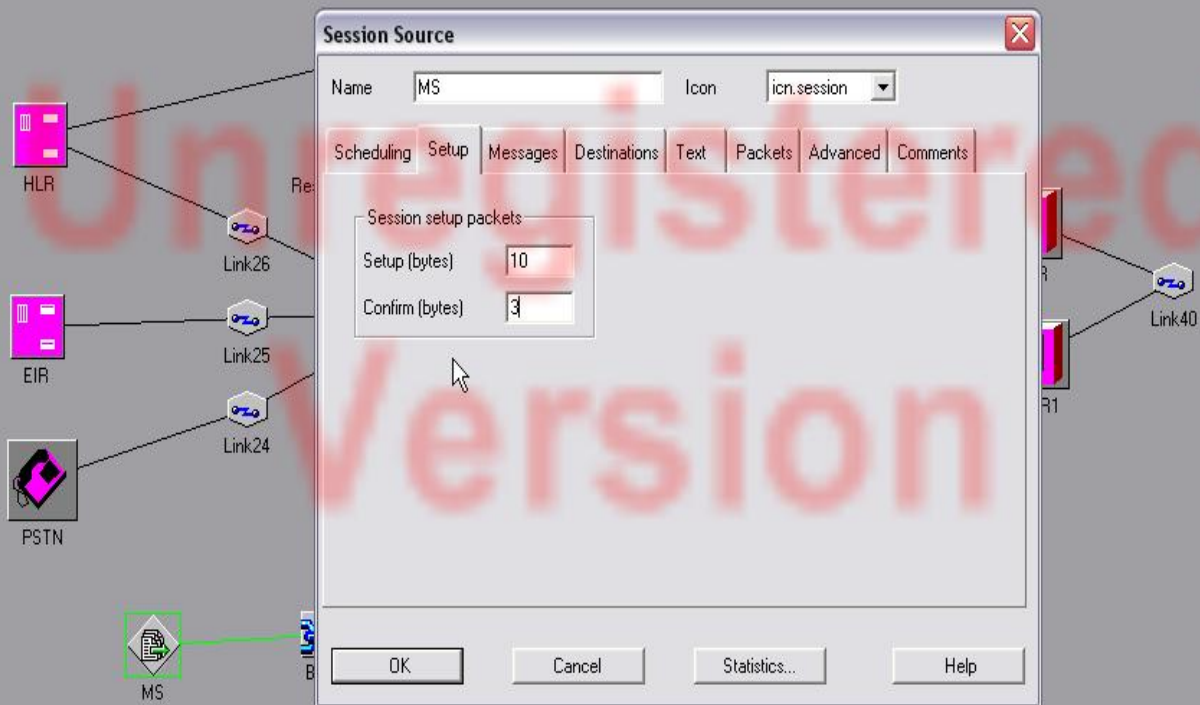
RECEIVER	COUNT	MESSAGE NAME
MSC1	45	MS2
BSS	33	MS
MSC	21	MS

□

ΕΔΩ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕ ΟΤΙ ΕΧΩ ΠΟΛΥ ΛΙΓΟΤΕΡΑ MESSAGE COUNTS.  
ΕΤΣΙ ΚΡΑΤΑΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΡΥΘΜΙΣΗ.

ΚΑΙ ΤΕΛΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΜΕ ΕΝΑ ΤΕΡΑΡΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΠΕΜΒΑΙΝΩ ΣΤΟ MOBILE STATION ΚΑΙ ΑΛΛΑΖΩΝΤΑΣ ΣΤΟ SESSION SETUP PACKETS ΤΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΠΟ 5,5 ΣΕ 10,3 ΠΑΡΑΤΗΡΩ ΟΤΙ ΤΟ PACKET DELAY ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΟΠΩΣ ΕΠΙΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΦΙΞΗΣ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ.  
ΚΡΑΤΑΩ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΡΥΘΜΙΣΗ.





ΒΛΕΠΩ ΤΟ REPORT ΠΟΥ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΝΕΙ ΟΣΑ ΔΙΑΤΥΠΩΘΗΚΑΝ:

MESSAGE - RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

ORIGIN:	NUMBER OF PACKETS	PACKET DELAY (MS)
DESTINATION LIST	CREATED DELIVERED RESENT DROPPED	AVERAGE MAXIMUM

MSC / src Response msgg:

ECHO	333	114	0	0	67.456	320.257
------	-----	-----	---	---	--------	---------

Compuware COMNET III Release 2.5.2.814 Sun Jun 01 22:51:38 2008 PAGE 11

diorthwsi

MESSAGE - RESPONSE SOURCES: PKT SIZE

REPLICATION 1 FROM 1.0 TO 6.0 SECONDS

ORIGIN:	MAX	MAX	PACKET SIZE
DESTINATION LIST	PKT	WINDOW	MIN AVG MAX

MSC / src Response msgg:

ECHO	1460	3	1000	1000	1000
------	------	---	------	------	------

## *Βιβλιογραφία*

*[1] Simulation, Modeling and Analysis, Averill M. Law, W. David Kelton*

*[2] Discrete Systems Simulation, B. Khoshnevis*

*[3] Discrete - Event System Simulation, Jerry Banks, John S. Carson, Barry L. Nelson*

*[4] OPNET Model Guide, MILS Publications*

*[5] COMNET III User's Manual, CACI Publications*

*[6] Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών, Ανδρέας Πομπόρτσης,  
Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ*

*[7] Data and Computer Communications 5<sup>th</sup> Edition, William Stallings*

*[8] Προσομοίωση δικτύων υπολογιστών, Πομπόρτσης*

## *Διευθύνσεις στο Internet*

1. <http://www.lantimes.com>
2. <http://www.networkmagazines.com>
3. <http://www.bvte.com>
4. <http://www.networkworld.com>
5. <http://www.pcworld.com>
6. <http://www.imagenet-cane.com>
7. <http://www.netcracker.com>
8. <http://www.netformx.com>
9. <http://www.analyticalengines.com>
10. <http://www.micrografx.com>

11. <http://www.abstraction.com>
  12. <http://real.cs.cornell.edu>
  13. <http://sheerness.cs.ualberta.ca>
  14. <http://www.ses.com>
-