



Κινητές επικοινωνίες

Κεφάλαιο 2

Αρχιτεκτονική GSM

[Ιστορία του GSM]

- 1982 Ομάδα επιστημόνων (Group Special Mobile) για τον καθορισμό διεθνούς Προτύπου κινητών επικοινωνιών
- 1990 Μετά από απαίτηση της Μεγάλης Βρετανίας, προστέθηκε στους στόχους ο καθορισμός έκδοσης στα 1800 MHz – DCS 1800 (Digital Cellular System 1800)
- 1992 Επίσημη έναρξη (Global System for Mobile communications)
Υιοθετήθηκε η κυψελωτή δομή

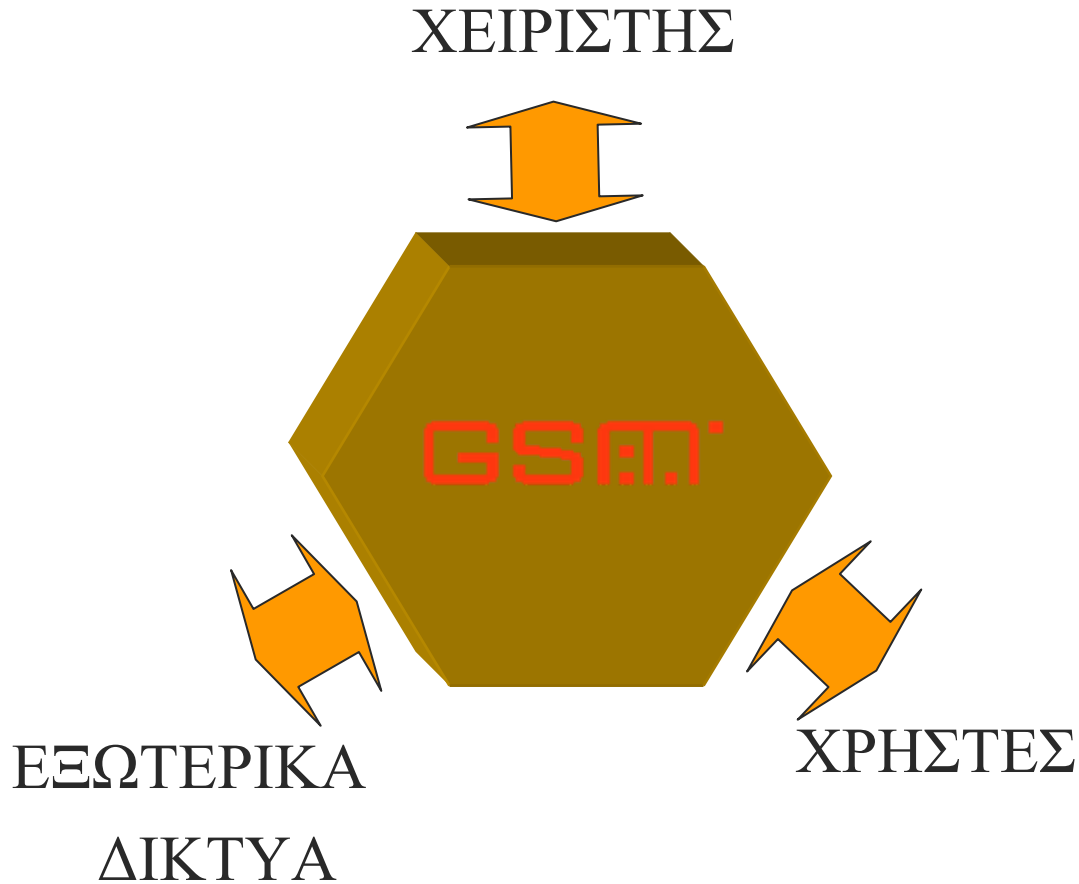
Ζώνες συχνοτήτων στο GSM

MS→BTS BTS→MS

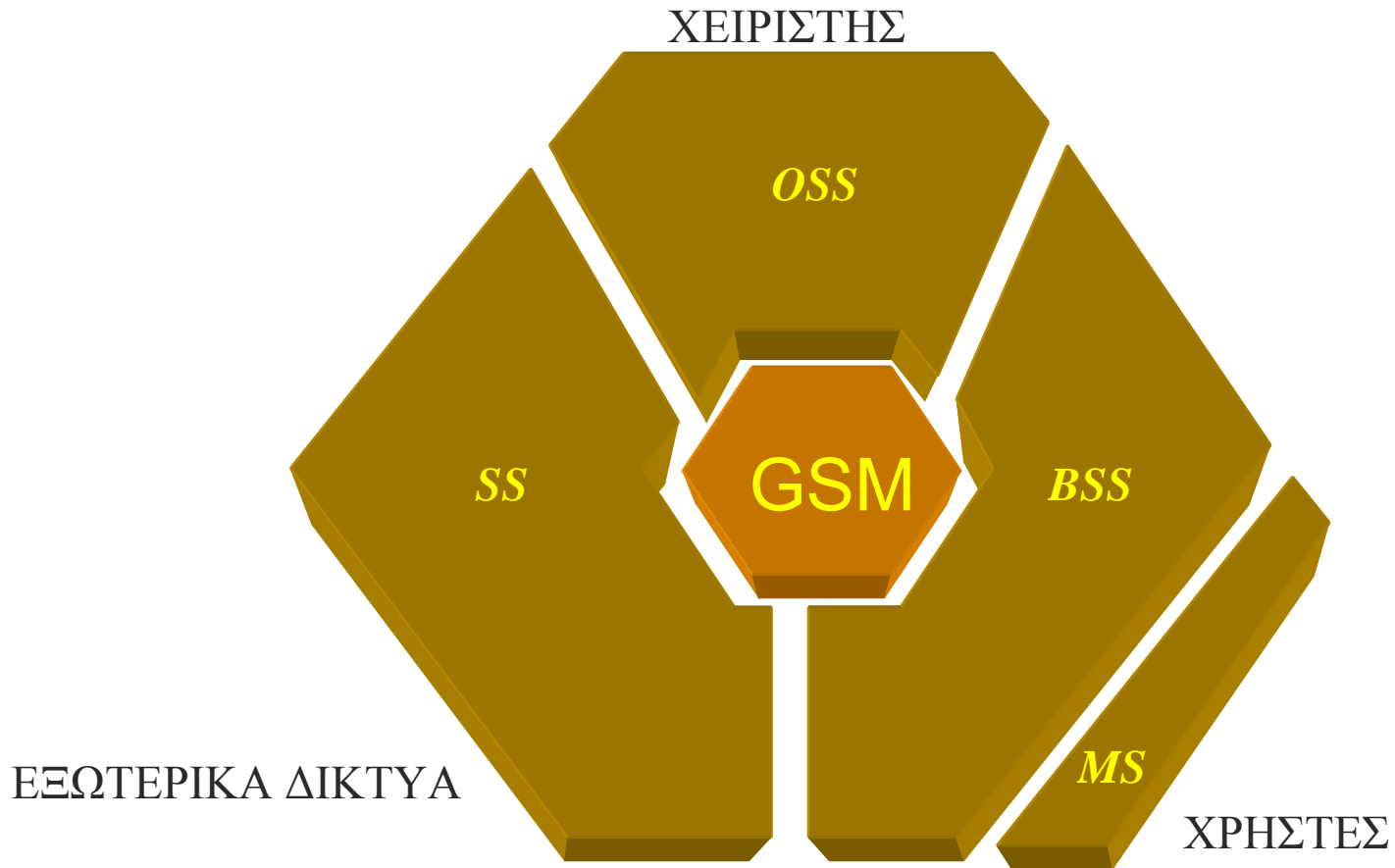
E-GSM	880-890 / 925-935 MHz (2X10 MHz)
GSM 900	890-915 / 935-960 MHz (2X25MHz)
GSM 1800	1710-1785 / 1805-1880 MHz (2X75MHz)
GSM 1900	1850-1910 / 1930-1990 MHz (2X60MHz)

Στη συνέχεια των διαλέξεων, θα συγκεκριμενοποιηθεί η κατανομή των καναλιών στις αντίστοιχες συχνότητες ανά πάροχο

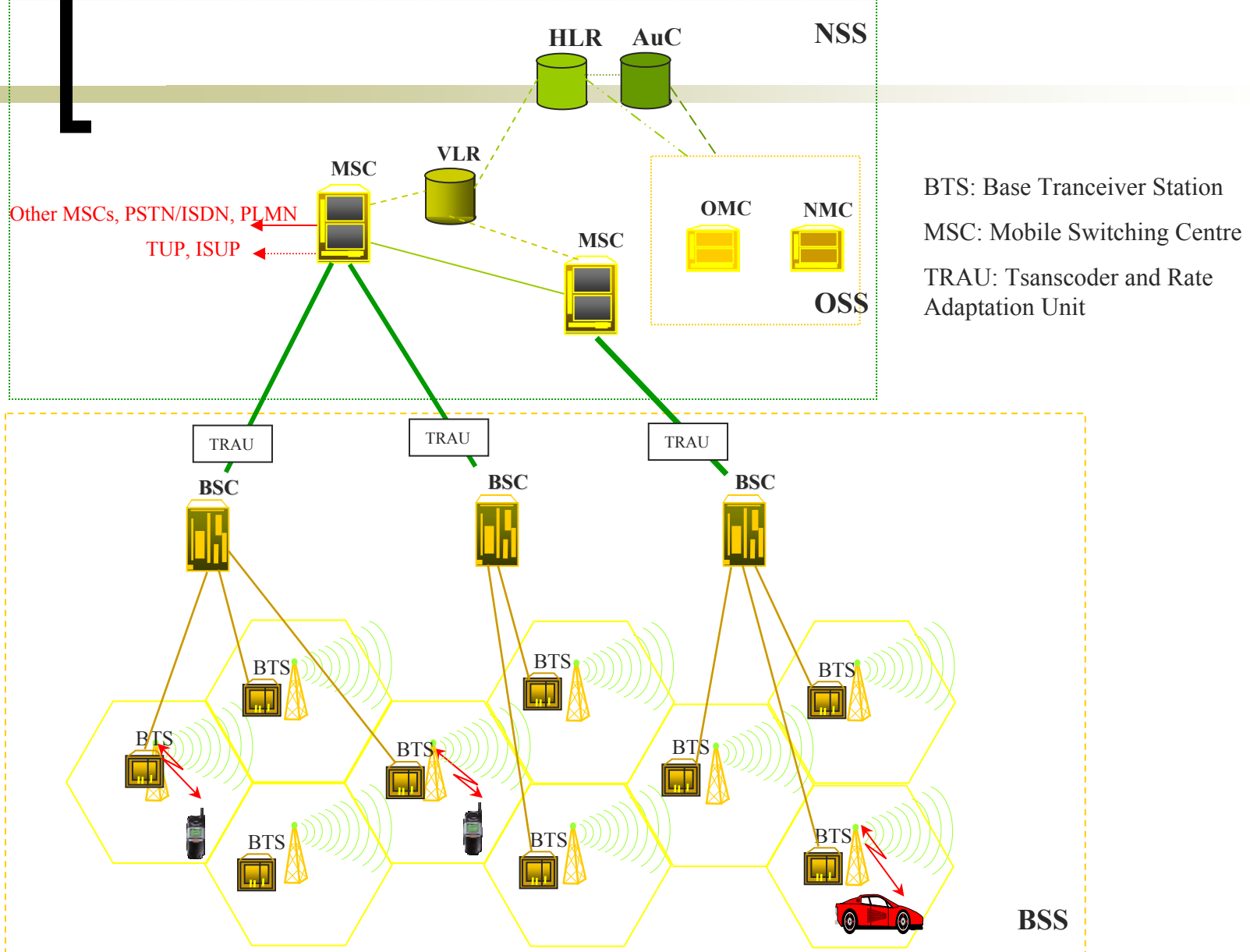
[Εξωτερικές διεπαφές στο GSM]

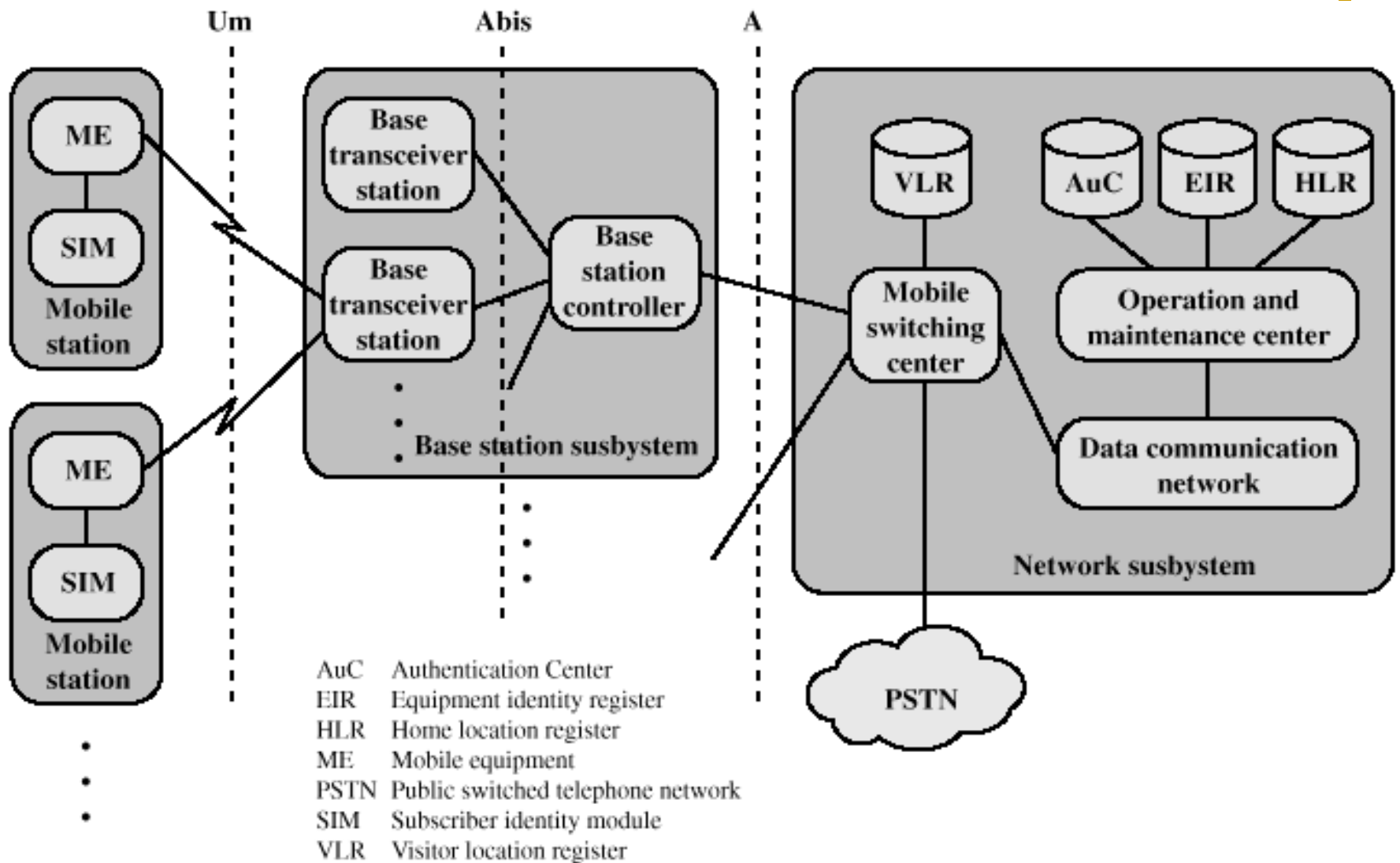


[Εσωτερική δομή του GSM]



Βασική αρχιτεκτονική του GSM





Αρχιτεκτονική GSM (με τις διάφορες διεπαφές)

[Εσωτερική δομή του GSM]

Το GSM μπορεί να οριστεί σαν ένα σύνολο υποσυστημάτων το καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ένα τομέα της επικοινωνίας / διαχείρισης του δικτύου

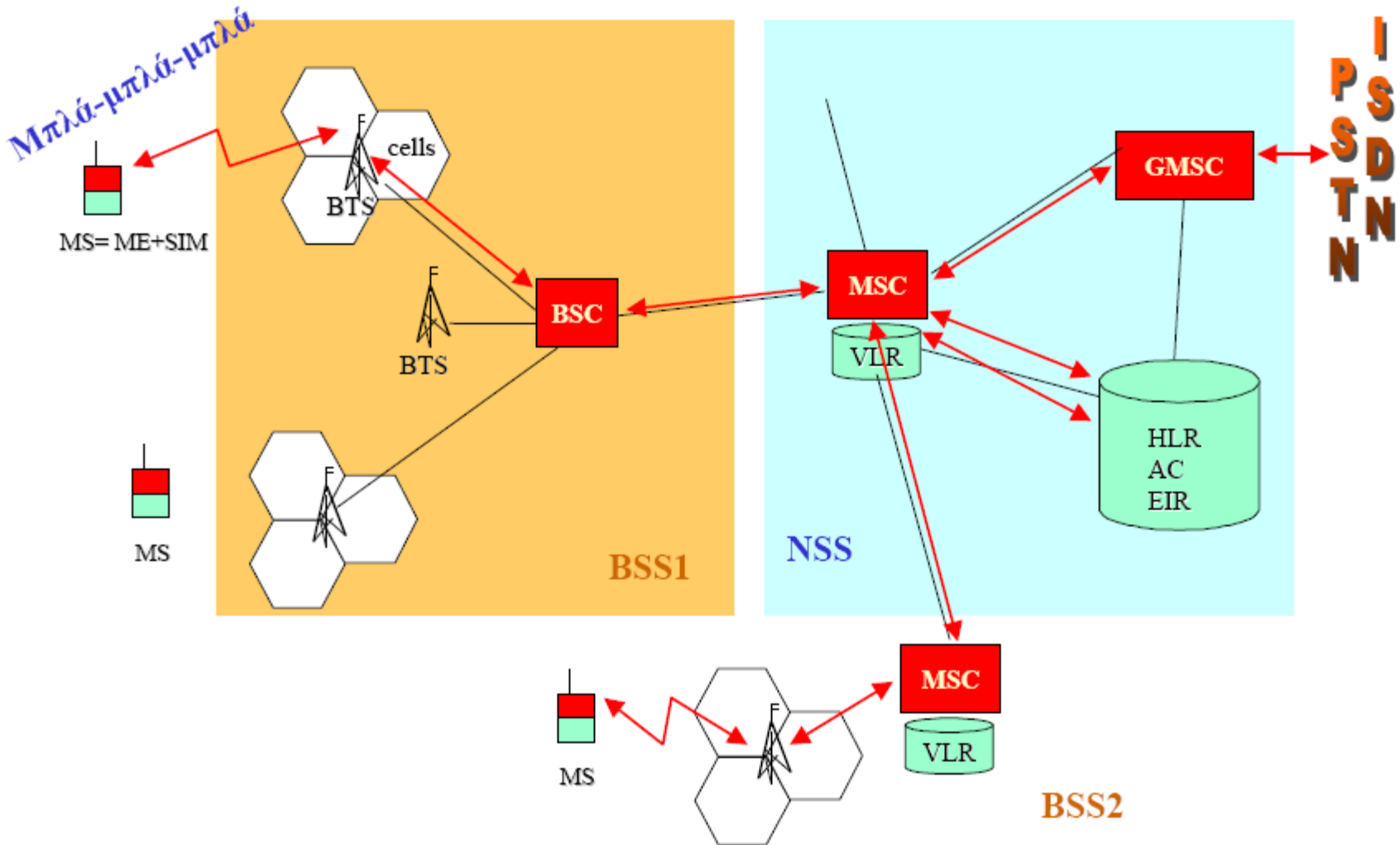
MS-Mobile Station: Ο κινητός σταθμός αναλαμβάνει να κάνει δυνατή την πρόσβαση του χρήστη στο δίκτυο.

OSS-Operation Subsystem: Το υποσύστημα διαχείρισης και λειτουργίας δίνει τη δυνατότητα στον διαχειριστή του δικτύου να ελέγχει το δίκτυο

BSS-Base Station Subsystem: Υποσύστημα σταθμού βάσης το οποίο είναι υπεύθυνο για την παροχή και διαχείριση των μέσων μεταξύ του κινητού σταθμού και των NSS μηχανημάτων (Υπεύθυνο για την διαχείριση της ραδιοεπαφής)

NSS-Network Switching Subsystem: Υποσύστημα (δικτύου) μεταγωγής το οποίο χειρίζεται την επικοινωνία χρηστών με άλλα δίκτυα ή άλλους χρήστες κινητών σταθμών.

GSM Μεταγωγή κυκλώματος



Κινητός Σταθμός (MS) – Κάρτα SIM και Κινητή Συσκευή

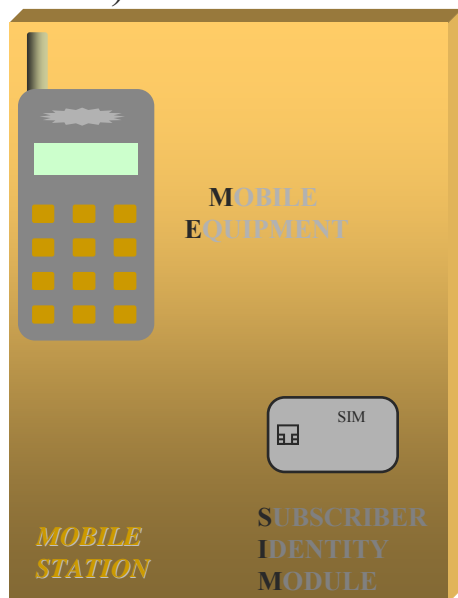
Ο κινητός σταθμός (MS) επιτρέπει την πρόσβαση στο δίκτυο μέσω της ραδιοεπαφής.

Παρέχει τη διεπαφή με τερματικούς εξοπλισμούς (πχ. PC, facsimile, ...)

Παρέχει τα μέσα για την επικοινωνία με το χρήστη (μικρόφωνο, μεγάφωνο, οθόνη κ.τ.λ.).

ΤΥΠΟΙ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

- Οχήματος
- Φορητή συσκευή
- Χειρός



<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</u>	<u>ΤΥΠΟΣ</u>	<u>MAX ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ</u>
2	ΟΧΗΜ/ΦΟΡ.ΣΥΣ.	8 Watts
3	ΦΟΡ. ΣΥΣΚΕΥΗ	5 Watts
4	ΧΕΙΡΟΣ	2 Watts
5	ΧΕΙΡΟΣ	0,8 Watts

Κάρτα SIM



Η κάρτα **SIM (Subscriber Identity Module)** είναι η έξυπνη κάρτα (ακολουθεί τα πρότυπα ISO) που παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με το συνδρομητή και αποθηκεύονται από την πλευρά αυτού.

Η SIM υλοποιεί και λειτουργίες ασφαλείας όπως:

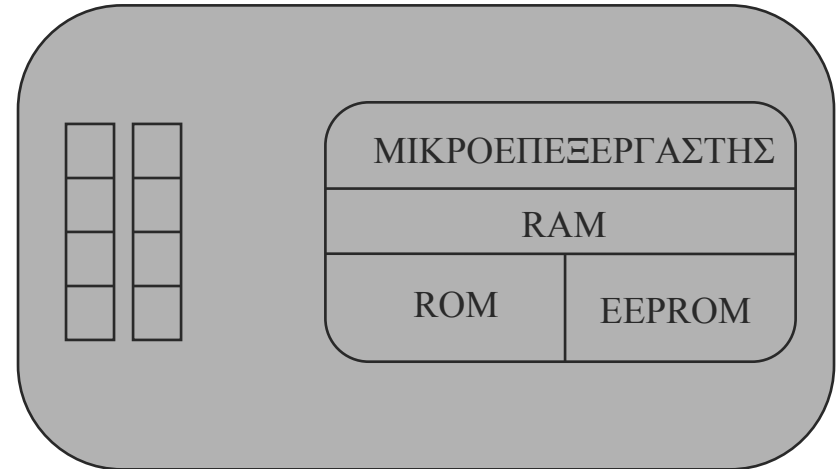
- Πιστοποίηση της ταυτότητας του συνδρομητή.
- Κρυπτογράφηση.
- Προστασία της ταυτότητας του συνδρομητή.

Τα πλεονεκτήματα της SIM είναι πολλά και ένα από τα βασικότερα είναι το ότι κάθε χρήστης μπορεί να δανείσει ή να δανειστεί ένα κινητό για ένα μικρό διάστημα, χωρίς να χάσει τη δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο, με την χρήση της προσωπικής του κάρτας. Με αυτόν τον τρόπο ο συνδρομητής αποκτά μια αυτονομία σε σχέση με τη συσκευή.

Εσωτερική οργάνωση της SIM

ROM: περιέχει κρυπτογραφημένα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την SIM και τον συνδρομητή (όπως για παράδειγμα ο σειριακός αριθμός, η έκδοση του λειτουργικού συστήματος κ.α.), την κατάσταση της SIM (δηλαδή αν είναι κλειδωμένη ή όχι) και τον προσωπικό αριθμό αναγνώρισης **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)** ο οποίος εκπέμπεται όταν ανοίξουμε ή κλείσουμε το κινητό για να φαίνεται στο δίκτυο αν είναι ενεργοποιημένο ή όχι έτσι ώστε να μη γίνονται άσκοπες κλήσεις και καταλήψεις καναλιών επικοινωνίας.

EEPROM: επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύει δικά του δεδομένα όπως νέο προσωπικό κωδικό PIN, τηλεφωνικό κατάλογο κ.α.



Αποθηκευμένες πληροφορίες στη SIM

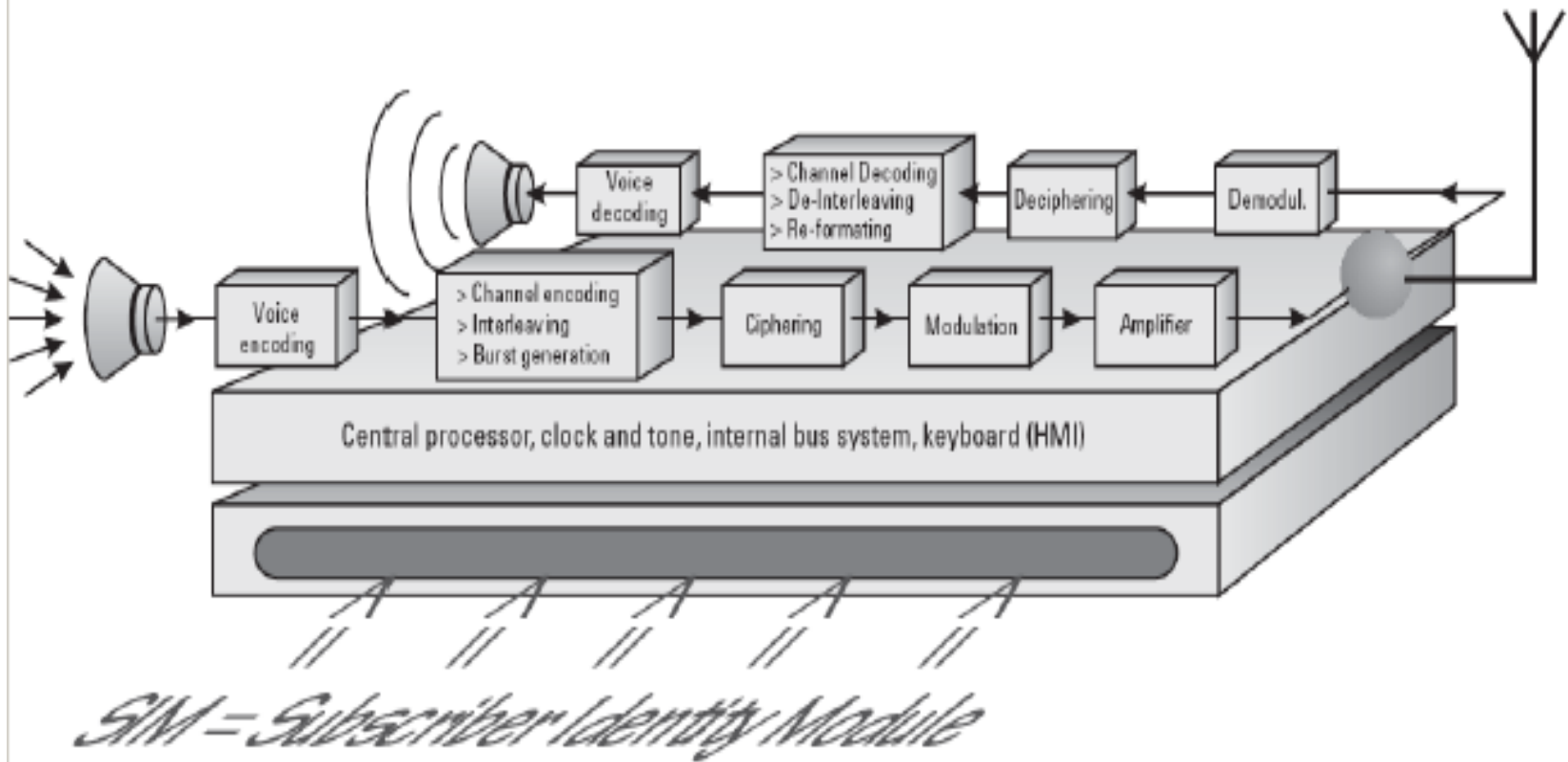
Administrative data

PIN/PIN2	Personal identification number, provides access to the SIM
PUK/PUK2	PIN unblocking code
SIM service table	List of the optional functionality of the SIM
Last dialed numbers	Redial
Charging meter	Charges and time counter
Language	Determines the language
Security related data	
Algorithm A3 and A8	Required for authentication and to determine Kc
Key Ki	Known only on SIM and the HLR
Key Kc	Result of the A8, Ki and a random number (RAND)
CKSN	Ciphering key sequence number

Roaming data

TMSI	Temporary mobile subscriber identity
Value T3212	For location update
Location update Status	
LAI	Location area identification
Network color codes of restricted PLMNs	Maximum 4 PLMNs can be stored on a SIM
NCCs of preferred	What PLMNs should the MS select
NCC, mobile country code (MCC), mobile network of the home PLMN	Network identifier
Absolute radio frequency channel numbers of home PLMN	Frequencies for which PLMN is licensed

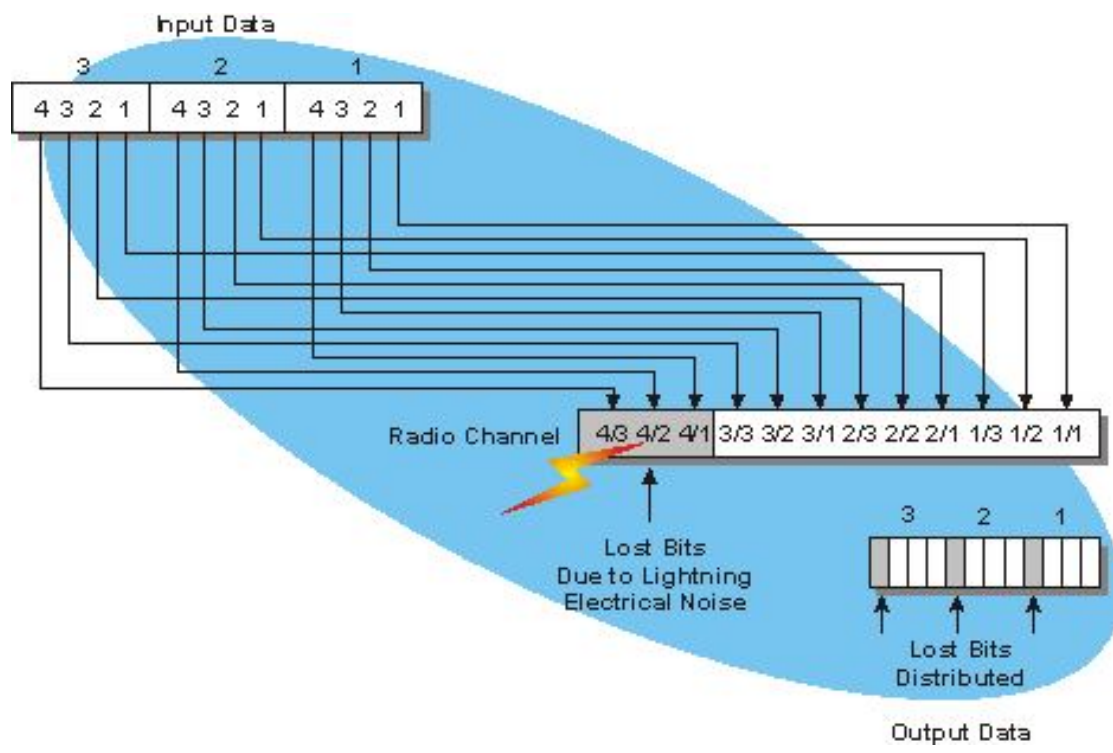
Κινητή συσκευή



Περιέχει μοναδικό Equipment IMEI number

Λειτουργίες κινητής συσκευής

- Στην uplink κατεύθυνση (από τη MS στον BTS), ο ήχος στο μικρόφωνο (φωνή) δειγματολειτουργείται με συγκεκριμένο ρυθμό.
- Τα δείγματα τροφοδοτούν τον κωδικοποιητή φωνής (speech encoder) ο οποίος συμπιέζει τα δεδομένα με ρυθμό 1/10.
- Ακολουθεί κωδικοποίηση καναλιού για τη διόρθωση των σφαλμάτων. Αποτελείται και από block κώδικα και από συγκεραστικό κώδικα.
- Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η διαδικασία της διεμπλοκής (interleaving) των δεδομένων, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις των ριπών σφαλμάτων (τα οποία δεν διορθώνει ο συγκεραστικός κώδικας).
- Τέλος, τα δεδομένα κρυπτογραφούνται, διαμορφώνονται και μεταδίδονται στην κατάλληλη συχνότητα
- Στην downlink κατεύθυνση (από τον BTS στην MS) γίνονται οι αντίστροφες διαδικασίες (για την αποκωδικοποίηση καναλιού χρησιμοποιείται ο πολύ διαδεδομένος αλγόριθμος του Viterbi).

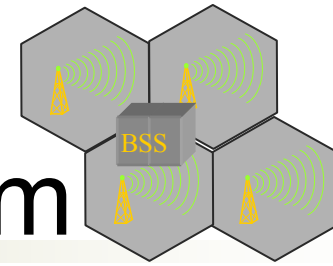


[Απαιτήσεις σε ισχύ]

- Λόγω της μη μετάδοσης αναλογικών σημάτων στο GSM, οι απαιτήσεις σε ισχύ είναι μικρές
- Η μέγιστη ισχύς εξόδου μίας συσκευής είναι μόνο 2 watts. Η ελάχιστη είναι μόλις 20mW

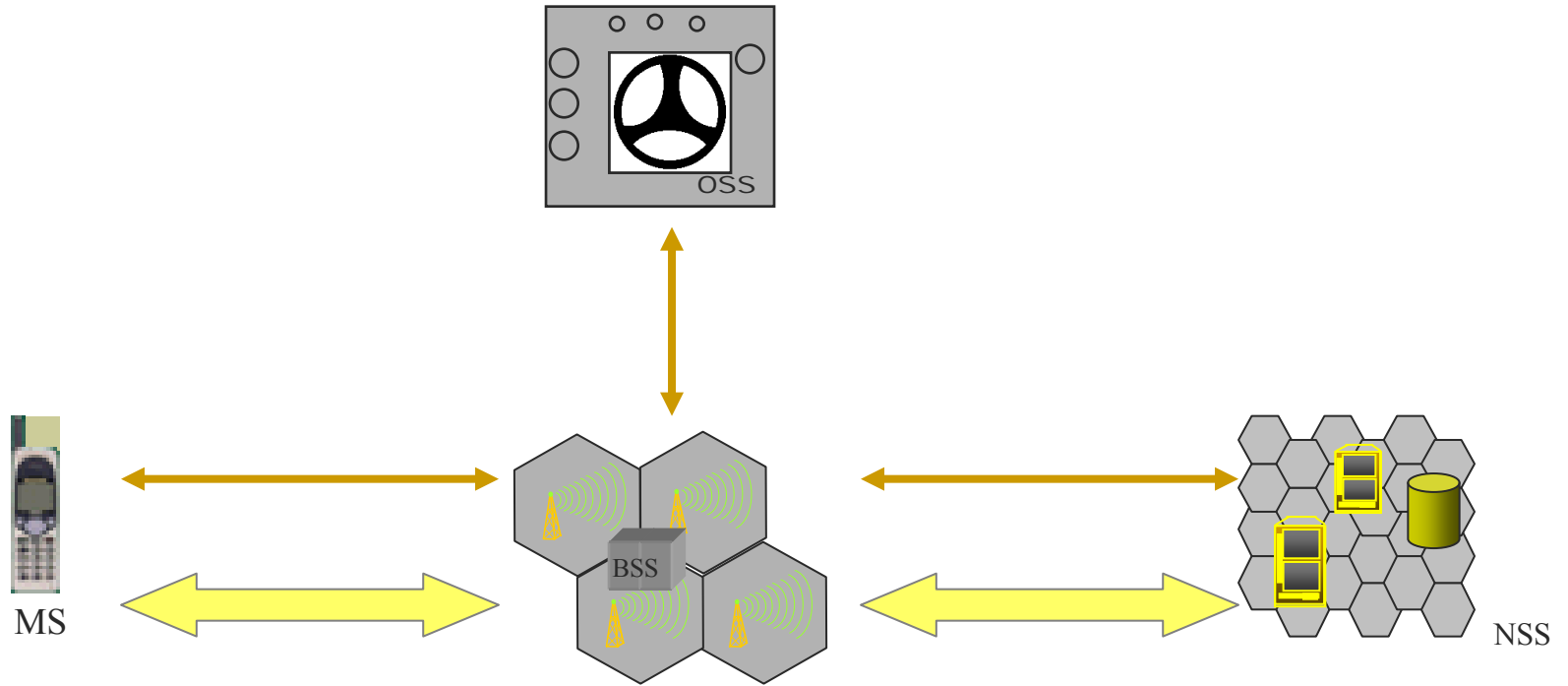
BSS

Base Station Subsystem



- ❑ Το BSS συμπεριλαμβάνει τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη μετάδοση / λήψη του ραδιοσήματος και τη διαχείριση της ραδιοεπαφής
- ❑ Το BSS είναι σε απευθείας επαφή με τους κινητούς σταθμούς μέσω της ραδιοεπαφής
- ❑ Από την άλλη πλευρά το BSS είναι σε επαφή με τα κέντρα μεταγωγής του NSS.
- ❑ Το BSS πρέπει επίσης να ελέγχεται για αυτό είναι σε απευθείας επαφή με το OSS.
- ❑ Ο ρόλος του BSS είναι σε γενικές γραμμές η σύνδεση του κινητού σταθμού με το NSS, και επομένως και με άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα
- ❑ Το BSS συμπεριλαμβάνει δύο τύπων εξοπλισμό:
 - ❑ Base Transceiver Station (BTS) (έναν ή περισσότερους)
 - ❑ Base Station Controller (BSC)

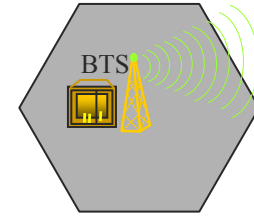
[Διεπαφές του BSS]



- ↔ Ροή δεδομένων
- ↔ Ροή σημάτων ελέγχου

BTS

Base Transceiver Station



- Ο BTS αποτελείται από ηλεκτρο-μηχανολογικό εξοπλισμό για την εκπομπή και λήψη του σήματος, όπως για παράδειγμα την κεραία, καθώς επίσης και όλες εκείνες τις συσκευές που είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία του σήματος, όπως αυτή ορίζεται από τα πρότυπα.
- Οι κεραίες βρίσκονται συνήθως μερικές δεκάδες μέτρα μακριά υπερυψωμένες με τη βοήθεια ιστού και οι συσκευές των BTS συνδέονται με αυτόν μέσω καλωδίου τροφοδοσίας.
- Επιτελούν επίσης κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση, κρυπτογράφηση & αποκρυπτογράφηση
- Αναλαμβάνει τον έλεγχο ισχύος, δηλαδή ρυθμίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής των κινητών της περιοχής του, ώστε όλα τα λαμβανόμενα σήματα να φτάνουν σε αυτόν με το ίδιο περίπου πλάτος (ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές near-far, όπου ένα MS που βρίσκεται κοντά στον BTS επικαλύπτει ένα άλλο που βρίσκεται πιο μακριά).

Μονάδα προσαρμογής ρυθμού Κωδικοποίησης/Αποκωδικοποίησης (TRAU)

- Σημαντικό τμήμα του BSS είναι η Transcoder Rate Adaptation Unit – TRAU
- Μετατρέπει τον ρυθμό του σήματος ομιλίας και δεδομένων των 16 kbps σε 64 kbps και αντίστροφα. Έτσι, 4 κανάλια κίνησης των 16 kbps μπορούν να πολυπλεχτούν σε ένα των 64 kbps για τη μετάδοσή τους από το BSC στο MSC.

BSC

Base Station Controller

Το BSC είναι υπεύθυνο για τη **διαχείριση** της ραδιοεπαφής μέσω του ελέγχου των BTS και MS.

Το BSC είναι υπεύθυνο για

- την διανομή και την απελευθέρωση των καναλιών,
- τη διαχείριση της μεταβίβασης από κυψέλη σε κυψέλη (handover) μεταξύ BTSs που ελέγχει (intra-BSC handover).

Το BSC συνδέεται από τη μια πλευρά με μερικά BTS και από την άλλη πλευρά με το NSS. Το BSC είναι στην πραγματικότητα ένας μικρός μεταγωγέας με μια σημαντική υπολογιστική ισχύ (μπορεί να διαχειριστεί μερικές δεκάδες BTS, ανάλογα με την ποσότητα της πληροφορίας)

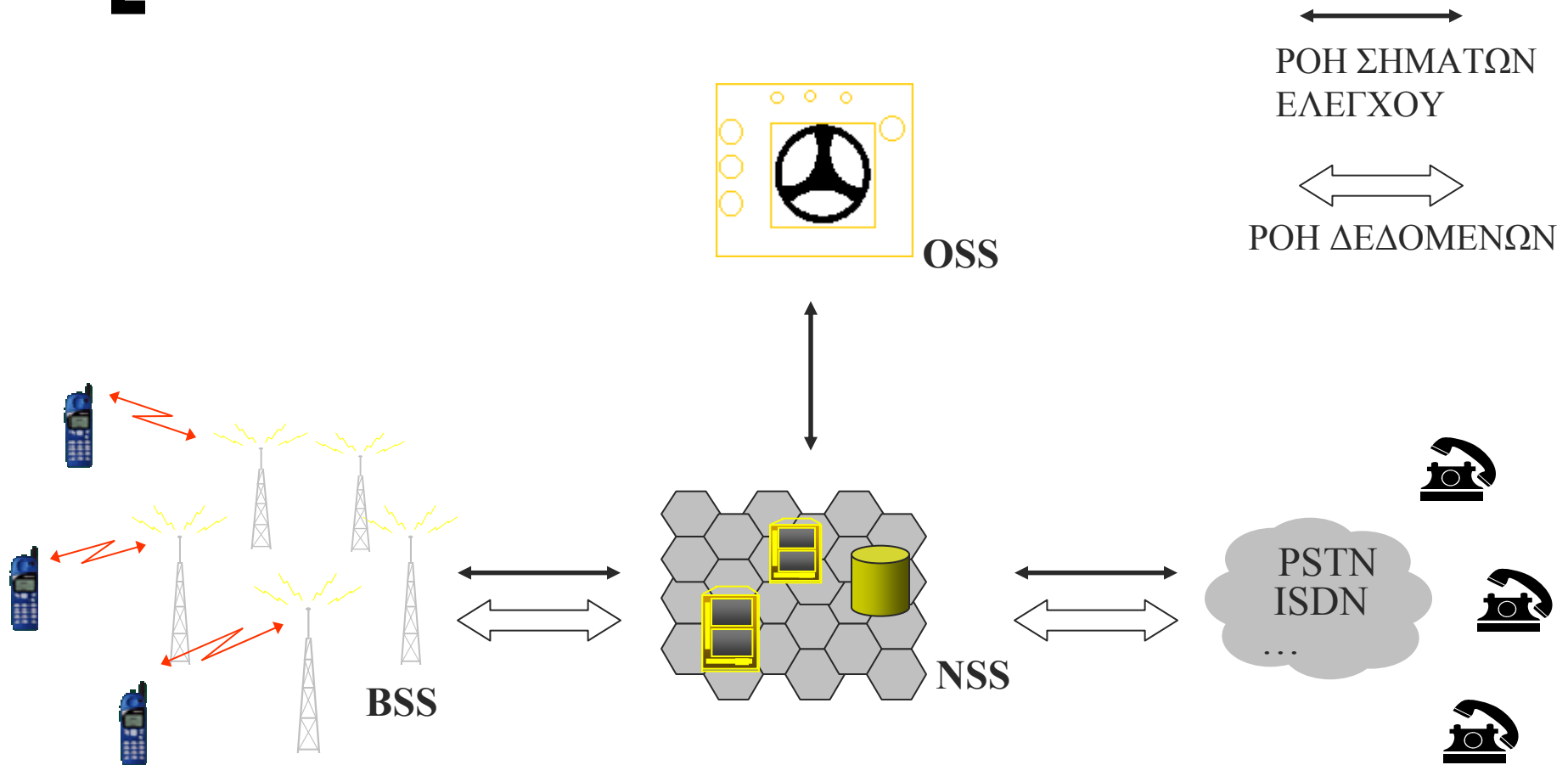
NSS

Network Switching Subsystem

Το υποσύστημα μεταγωγής (SS) περιλαμβάνει τις βασικές διαδικασίες μεταγωγής του GSM, όπως επίσης και τις βάσεις δεδομένων που απαιτούνται για την αποθήκευση των δεδομένων του συνδρομητή και την διαχείριση του κινητού τερματισμού (mobility management).

- ❑ Διαχειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του GSM και των χρηστών άλλων τηλεπικοινωνιακών δικτύων.
- ❑ Προσαρμόζει τα εξωτερικά δίκτυα, έτσι ώστε να κάνει χρήση της ικανότητάς τους να μεταφέρουν δεδομένα ή σηματοδοσία μεταξύ των οντοτήτων του GSM (π.χ. BSC, MSC, κ.α.).

Διασυνδέσεις του NSS



HOME LOCATION REGISTER (HLR)

✧ Στον Οικείο Καταχωρητή Βάσης (**Home Location Register – HLR**) αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικές με τους συνδρομητές.

✧ Το HLR περιέχει επίσης πληροφορίες που σχετίζονται με την τρέχουσα θέση του συνδρομητή.

✧ Σαν μια φυσική οντότητα ένα HLR είναι ένας αυτόνομος υπολογιστής χωρίς ικανότητες μεταγωγής και είναι ικανός να χειριστεί εκατοντάδες χιλιάδες από συνδρομητές.

✧ Μια λειτουργική υποδιαίρεση του HLR είναι το Κέντρο Πιστοποίησης Αυθεντικότητας (AuC-Authentication Centre), ο ρόλος του οποίου περιορίζεται στην διαχείριση των δεδομένων ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στην πιστοποίηση της ταυτότητας του συνδρομητή και την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Διατηρεί ή παράγει δεδομένα (μυστικά) που χρειάζονται για την κρυπτογράφηση.

Home Location Register - αναλυτικότερα

- Περιέχει στατική (μόνιμη) πληροφορία:
 - MSN (Mobile Subscriber number) που είναι ο τηλεφωνικός αριθμός του συνδρομητή
 - IMSI code, ο οποίος αποτελεί τον συνδετικό κρίκο του MSISDN με την κάρτα SIM του πελάτη (Subscriber Identity Module). Ο IMSI (International Mobile Subscriber Identity) κωδικός είναι πλήθους 15 ψηφίων και ταυτοποιεί τον συνδρομητή
 - Πληροφορίες χρέωσης
 - Πληροφορίες για το ποιες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στον πελάτη
 - Το κλειδί για την αυθεντικοποίηση
- Δυναμική πληροφορία
 - Τον τρέχοντα Location Area Code, που αντιστοιχεί στο MSC στο οποίο μπορεί να συνδεθεί η συσκευή.

[EQUIPMENT IDENTITY REGISTER (EIR)]

- ❑ Equipment Identity Register (EIR). Βάση δεδομένων, στην οποία υπάρχει η πληροφορία το ποιες συσκευές είναι έγκυρες και ποιες όχι (π.χ. μη έγκυρες είναι οι συσκευές που έχουν κλαπεί). Οι συσκευές ταυτοποιούνται με τον κωδικό IMEI (International Mobile Station Equipment Identity)
- ❑ Το IMEI αναγράφεται συνήθως στη συσκευή, κάτω από τη μπαταρία
- ❑ Το IMEI μπορεί να το δει κανένας αν πληκτρολογήσει *#06# (στις περισσότερες συσκευές).

VISITORS LOCATION REGISTER (VLR)

- ❑ Ο Καταχωρητής Θέσης Επισκεπτών (VLR) συνδέεται με ένα MSC και είναι υπεύθυνο για
 - ❑ την **προσωρινή** αποθήκευση της συγκεκριμένης θέσης κάθε συνδρομητή
 - ❑ την **προσωρινή** αποθήκευση των δεδομένων του συνδρομητή, ο οποίος βρίσκεται σε περιοχή προσκείμενου (επισκεπτόμενου) MSC.
- ❑ Συνήθως κάθε MSC έχει μια VLR η οποία χειρίζεται μία ή περισσότερες Location-Areas (set of BTSs).
- ❑ Στόχος του να εντοπίζεται εύκολα ένας ανενεργός χρήστης και να επισπεύδεται η ανάκτηση των πληροφοριών του από το MSC. Όταν ένας συνδρομητής επισκέπτεται το χώρο ευθύνης ενός MSC, τότε ο VLR αυτού του MSC ζητά πληροφορίες για το νέο επισκέπτη συνδρομητή από το αντίστοιχο HLR που είναι καταγεγραμμένος ο συνδρομητής. Το VLR θα έχει καταγεγραμμένες στις μνήμες του αρκετές πληροφορίες για τον συνδρομητή, ώστε να μην χρειάζεται κάθε φορά που ο συνδρομητής ζητά κάποια υπηρεσία (π.χ. σύνδεση, εισερχόμενη κλήση κλπ.) να ρωτά το οικείο του HLR.
- ❑ Ο VLR περιέχει εν γένει λιγότερα δεδομένα από τον HLR). Ο VLR εξυπηρετεί στο να μην υπερφορτώνεται ο HLR με αιτήσεις (παίζει δηλαδή, θα λέγαμε απλοϊκά, τον ρόλο μνήμης cache). Περιέχει επιπλέον **την προσωρινή ταυτότητα συνδρομητή (TMSI)**.

VISITORS LOCATION REGISTER (VLR) - συνέχεια

- ❑ Το VLR υλοποιείται πάντα μαζί με το MSC. Έτσι η περιοχή ευθύνης ενός MSC ταυτίζεται επίσης με την περιοχή ευθύνης του αντίστοιχου VLR.
- ❑ Ουσιαστικά τα δεδομένα χρήστη σε HLR και VLR είναι πάνω κάτω τα ίδια και «ακολουθούν» το χρήστη στην κίνησή του. Ο HLR γνωρίζει το VLR στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης, και το VLR γνωρίζει τη Location Area που βρίσκεται ο χρήστης. Όταν ο χρήστης αλλάζει περιοχή, ο HLR αιτείται τη διαγραφή του από τον αντίστοιχο VLR.

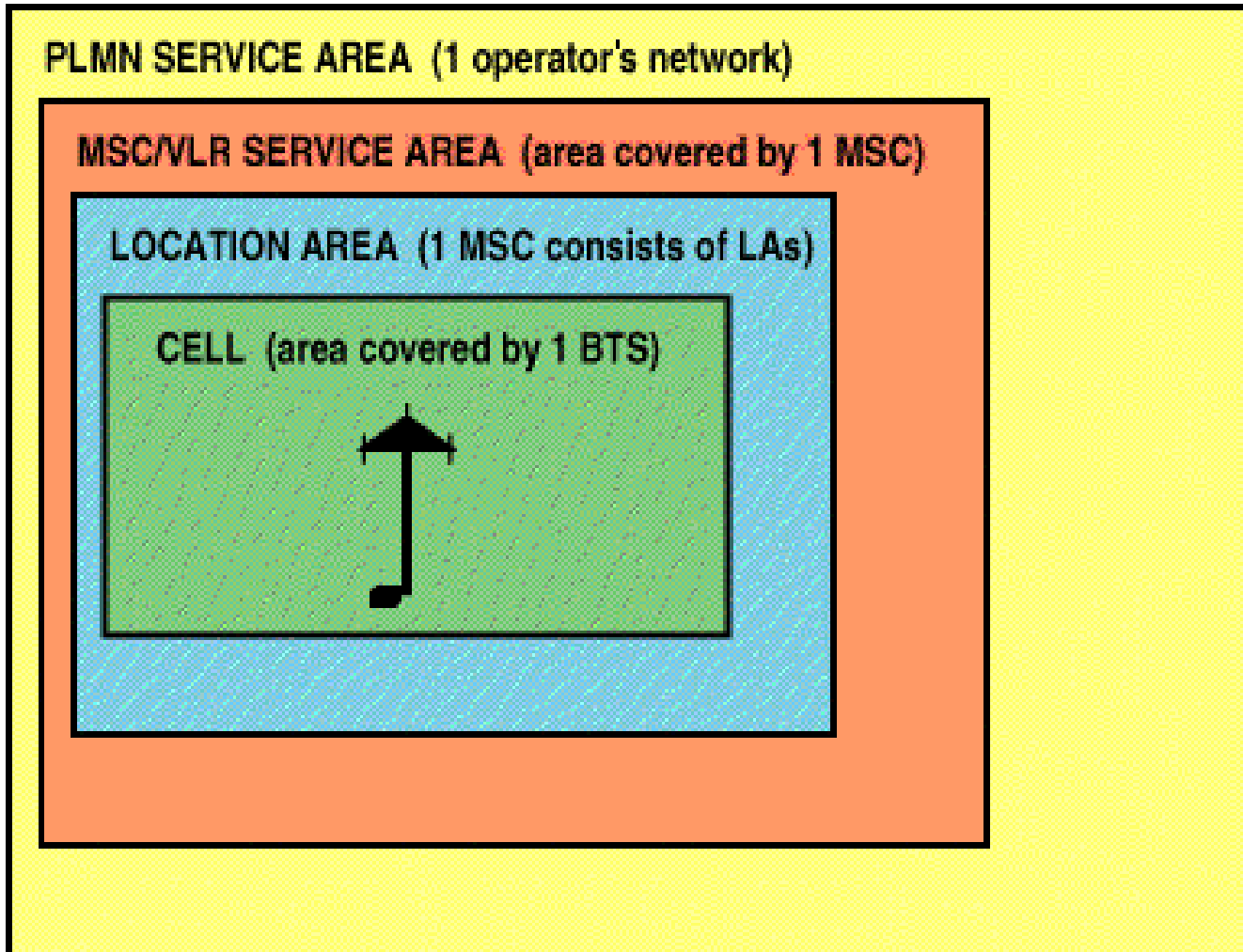
MOBILE SWITCHING CENTER (MSC)

- ❑ Μέσα στο NSS, τις βασικές διαδικασίες μεταγωγής τις εκτελεί το Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας (MSC)
- ❑ Το MSC συντονίζει την εγκαθίδρυση των κλήσεων από και προς τους χρήστες της κινητής τηλεφωνίας.
- ❑ Το MSC έχει μια διεπαφή με το BSS από την μία πλευρά, μέσω της οποίας έρχεται σε επαφή με τους χρήστες του GSM, και με τα εξωτερικά δίκτυα από την άλλη.
- ❑ Η διεπαφή με τα εξωτερικά δίκτυα, για επικοινωνία με χρήστες εκτός GSM, μπορεί να απαιτεί μια γέφυρα (GMSC), η οποία στην ουσία προσαρμόζει τα διάφορα πρωτόκολλα

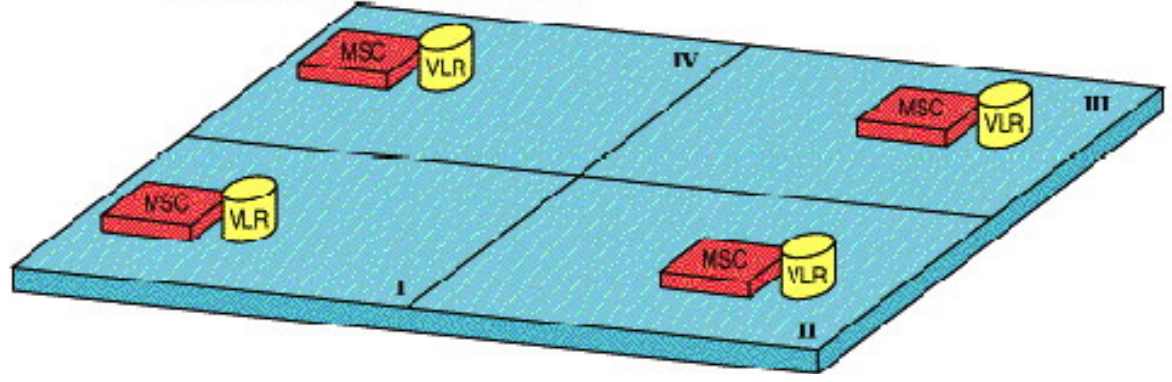
GATEWAY MOBILE SWITCHING CENTER (MSC)

- ❑ Όταν το NSS πρέπει να εγκαθιδρύσει μια κλήση προς ένα χρήστη του GSM, αυτή η κλήση δρομολογείται αρχικά σε μία πύλη μεταγωγής, η οποία ονομάζεται Διαβιβαστικό Κέντρο Κινητής Τηλεφωνίας (GMSC), χωρίς καμία γνώση για το πού βρίσκεται ο καλούμενος συνδρομητής.
- ❑ Στην ουσία, η GMSC είναι ουσιαστικά ένας κόμβος (ψηφιακό κέντρο) που διασυνδέει δύο κέντρα διαφορετικών δικτύων. Το GMSC είναι δηλαδή η διεπαφή για τη διασύνδεση του κυψελοειδούς δικτύου με το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας PSTN ή δίκτυο GSM άλλης εταιρείας.
- ❑ Οι GMSC πύλες είναι υπεύθυνες για την ανάκτηση πληροφοριών θέσης και για την δρομολόγηση της κλήσης προς τα MSC, διαμέσου των οποίων ο συνδρομητής μπορεί να χρησιμοποιήσει μία υπηρεσία την συγκεκριμένη στιγμή.
- ❑ Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να βρεθεί το σωστό HLR, γνωρίζοντας μόνο τον αριθμό ευρετηρίου του συνδρομητή του GSM.
- ❑ Το GMSC έχει ουσιαστικά το ίδιο hardware με το MSC, αλλά πιο εμπλουτισμένο software

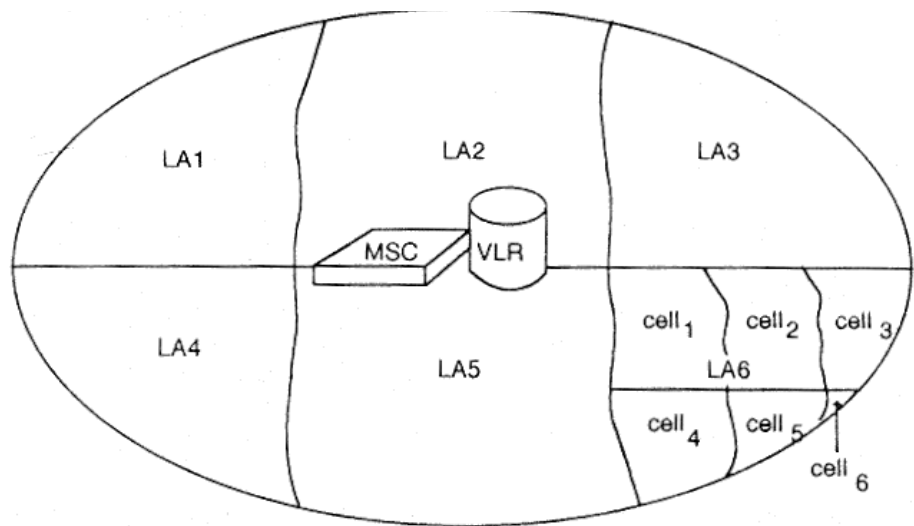
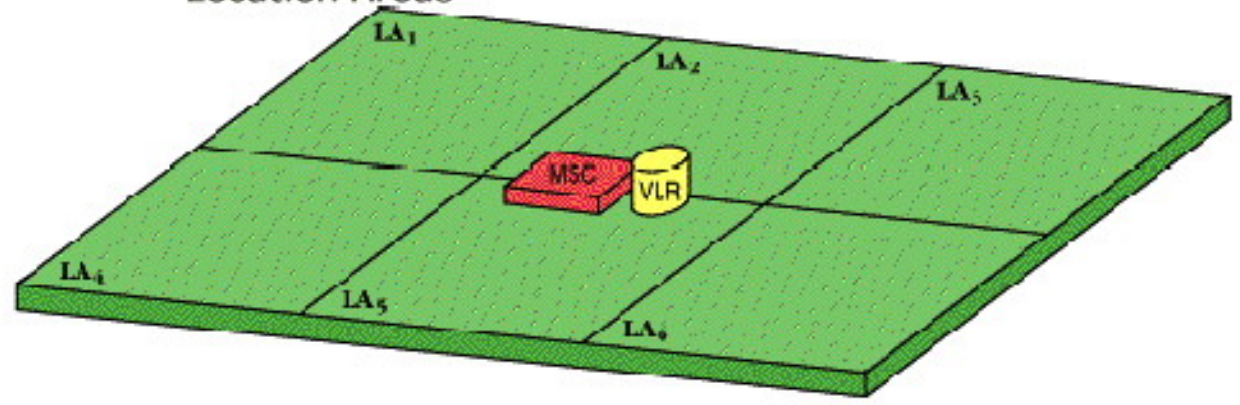
ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ GSM



MSC/VLR Service Areas



Location Areas

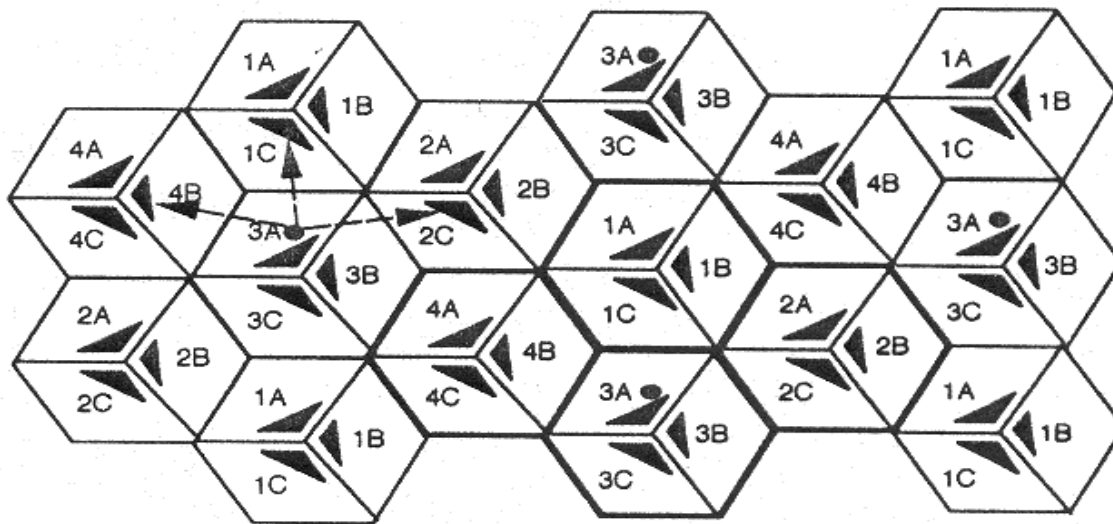


ΤΥΠΙΚΗ ΚΥΨΕΛΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ GSM - ΤΟΜΕΟΠΟΙΗΣΗ

✧ Για την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, το GSM έχει επιλέξει το σχέδιο της επανάληψης ανά τέσσερις κυψέλες.

✧ Στις περισσότερες περιπτώσεις, κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς των 120 μοιρών με ένα υποσύστημα BTS σε κάθε τομέα (με κατευθυντικές κεραίες).

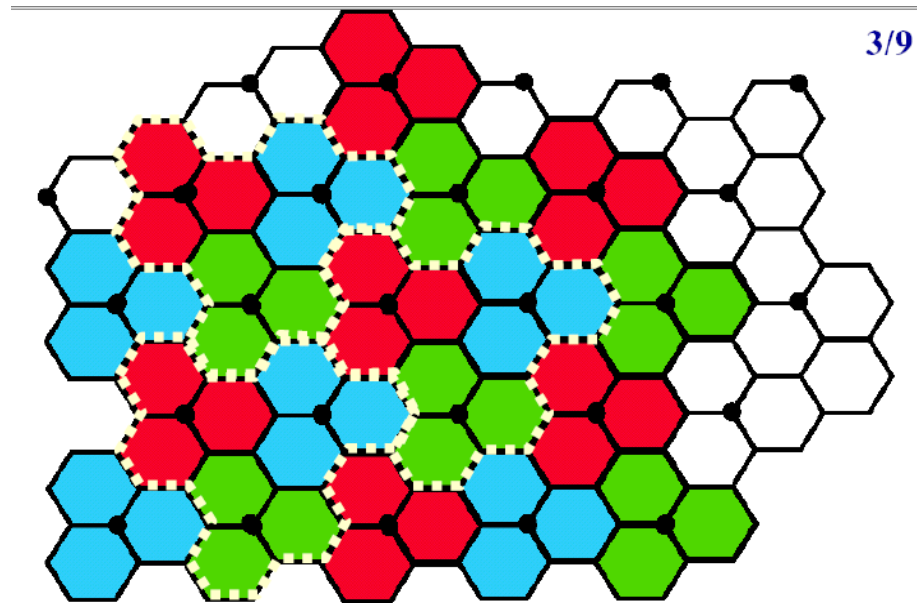
✧ Έτσι, με την επανάληψη ανά τέσσερα, υπάρχουν 12 τομείς στους οποίους ο συνολικός αριθμός των 124 διαθέσιμων καναλιών του GSM πρέπει να διαμοιραστεί από το BSC.



▲ = BTS
● = BSC

Άλλο είδος τομεοποίησης στο GSM

Κάθε συστάδα χωρίζεται σε περιοχές, όπου σε κάθε περιοχή αντιστοιχούν 3 κυψέλες που εξυπηρετούνται από έναν Σταθμό Βάσης



Τυπικά παραδείγματα:

τύπος 7/21 (μέγεθος συστάδας: 21, περιοχές: 7)

τύπος 4/12 (μέγεθος συστάδας: 12, περιοχές: 4)

τύπος 3/9 (μέγεθος συστάδας: 9, περιοχές: 3) – βλέπε Σχήμα

Ενεργοποίηση συσκευής

Steps	MS	BTS	BSC	MSC	VLR	HLR
1. Channel request	→	→	→			
2. Activation response		←	←			
3. Activation ACK		→	→			
4. Channel assigned	←	←				
5. Location update request	→	→	→	→		
6. Authentication request	←	←	←	←		
7. Authentication response	→	→	→	→		
8. Authentication check				↔		
9. Assigning TMSI	←	←	←	←		
10. ACK for TMSI	→	→	→	→		
11. Entry to VLR and HLR				↔		
12. Channel release	←	←				

Εγκαθίδρυση κλήσης

Steps	MS	BTS	BSC	MSC
1. Channel request	→	→	→	
2. Channel assigned	←	←	←	
3. Call establishment request	→	→	→	→
4. Authentication request	←	←	←	←
5. Authentication response	→	→	→	→
6. Ciphering command	←	←	←	←
7. Ciphering ready	→	→	→	→
8. Send destination address	→	→	→	→
9. Routing response	←	←	←	←
10. Assign traffic channel	→	→	→	
11. Traffic channel established	←	←		
12. Available/busy signal	←			
13. Call accepted	←	←	←	←
14. Connection established	→	→	→	→
15. Information exchange	←	←	←	→

[Πηγές]

- Για τη διαμόρφωση των διαφανειών αυτού του κεφαλαίου, χρησιμοποιήθηκε υλικό (εικόνες, διαγράμματα κτλ.) από διάφορες άλλες διαλέξεις του μαθήματος των Κινητών Επικοινωνιών που είναι διαθέσιμες στο Διαδίκτυο:
 - Ν. Πασσάς, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2005)
 - Γ. Ι. Στεφάνου, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Αθηνών