



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών

## Radio Resource Management

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

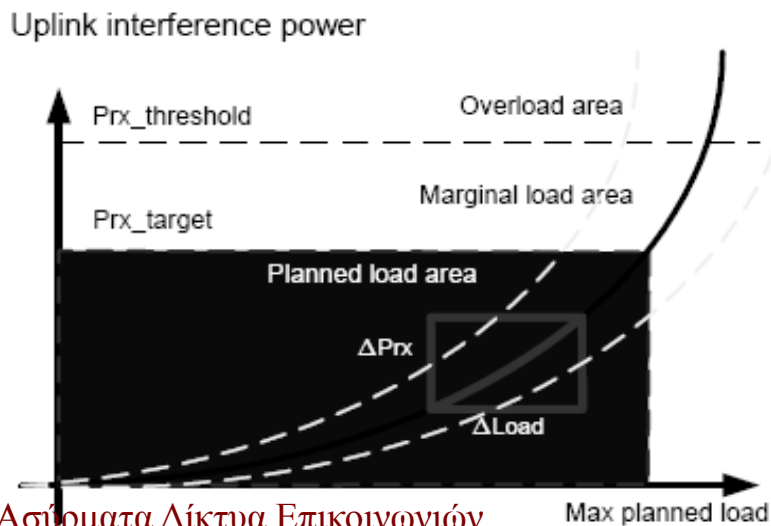
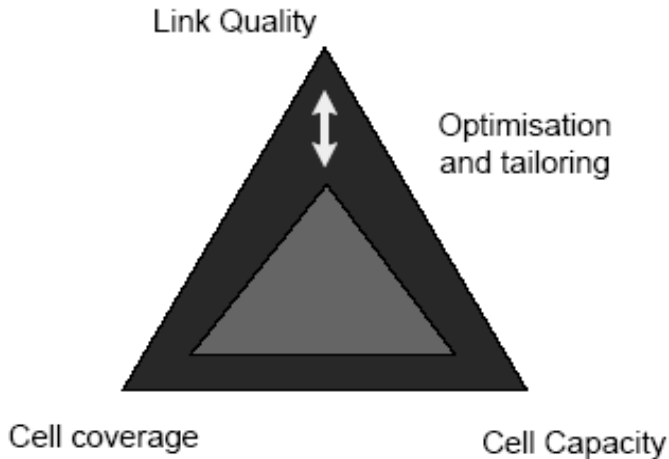
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Τεχνικές Radio Resource Management (RRM)

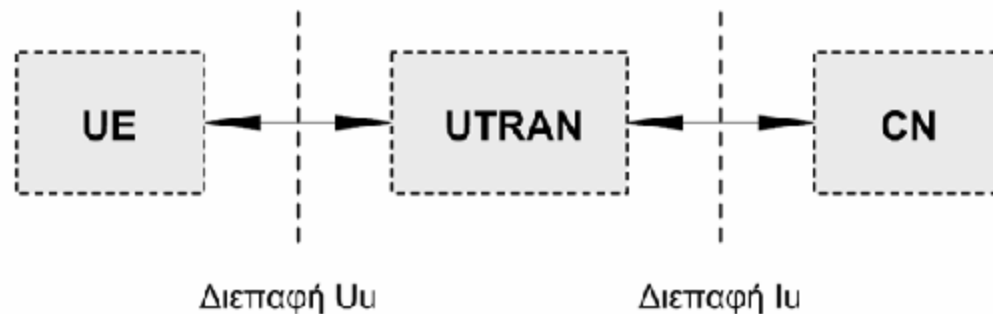
- ◆ Changing capacity
- ◆ Admission control
- ◆ Packet scheduling
- ◆ Load Control
- ◆ Resource management
- ◆ Power control
- ◆ Handover control

# Changing Capacity



- ◆ Resource Management purpose.
  - Ensure planned coverage for each service.
  - Ensure required connection quality.
  - Ensure planned (low) blocking.
  - Optimize the system usage in run time.
- ◆ Real-time Resource Management and Optimization functions.
  - Interference measurements.
  - Soft capacity utilization.
  - Scheduling in radio interface.
  - Actions to load change.
  - Real-time interference minimization strategies:
    - Handover control.
    - Service prioritization.
    - Connection parameter settings.
    - Admission control.

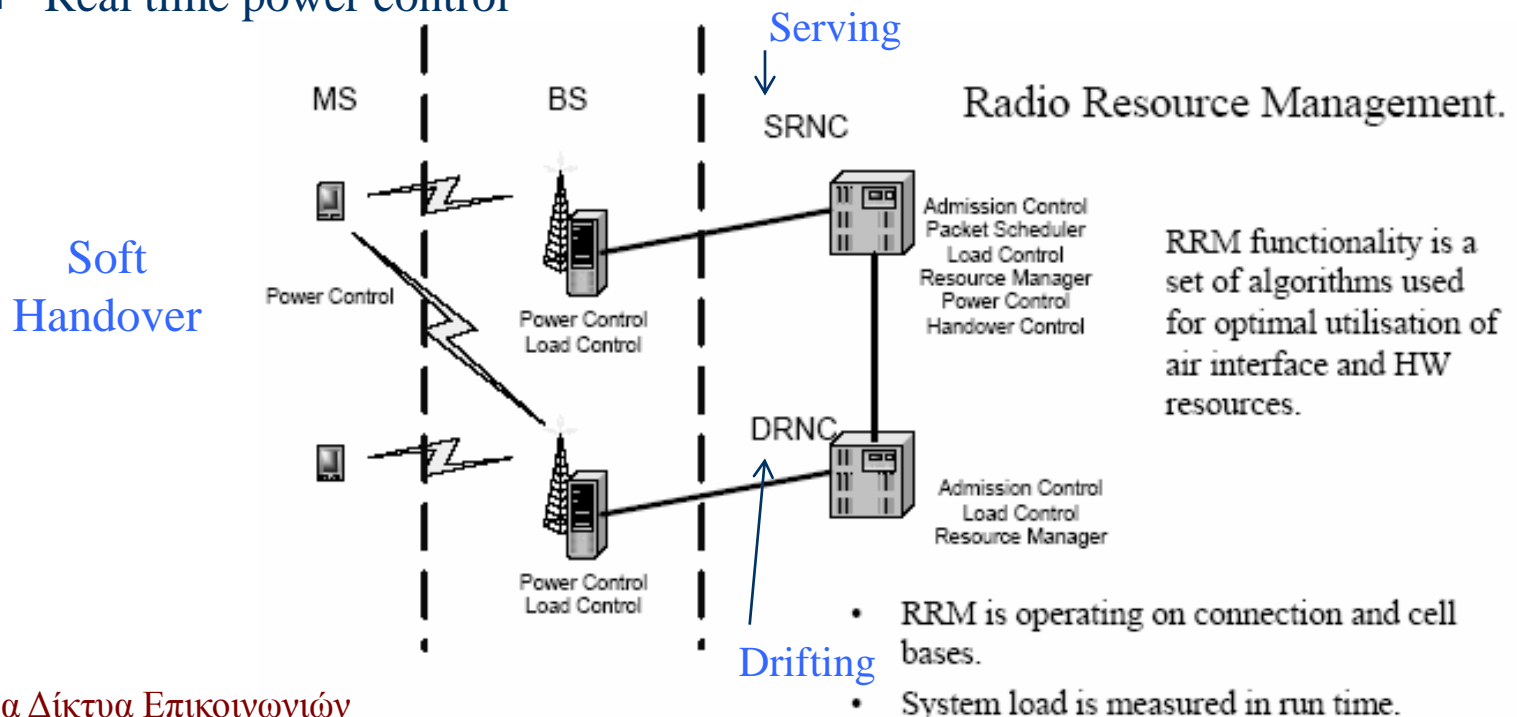
# Αρχιτεκτονική UMTS



- User Equipment: έννοια της φορητής συσκευής πχ κινητό τηλέφωνο, φορητός υπολογιστής κλπ
  - Mobile Equipment: hardware της συσκευής
  - Κάρτα USIM
- Core Network: δίκτυο κορμού του UMTS, υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών
  - Πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS)
  - Πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS)

# WCDMA radio network control

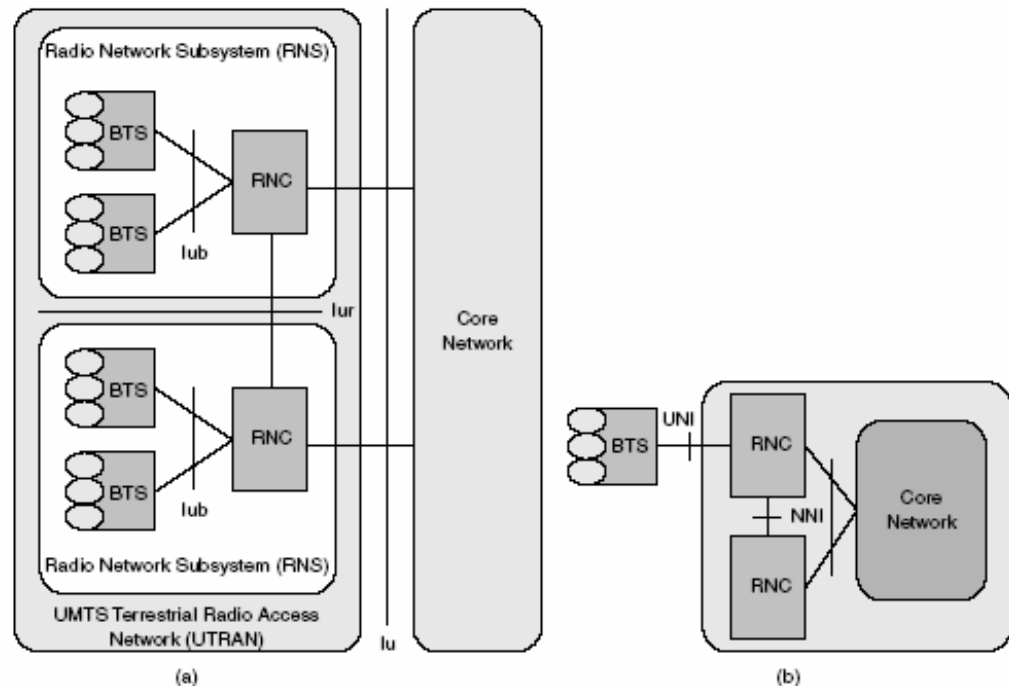
- ◆ In WCDMA QoS will be controlled by:
  - Radio Network Planning (RNP) (Network Parameters)
  - Real time RRM (Radio Resource Management) operations in RNC BS
  - Real time power control



# UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

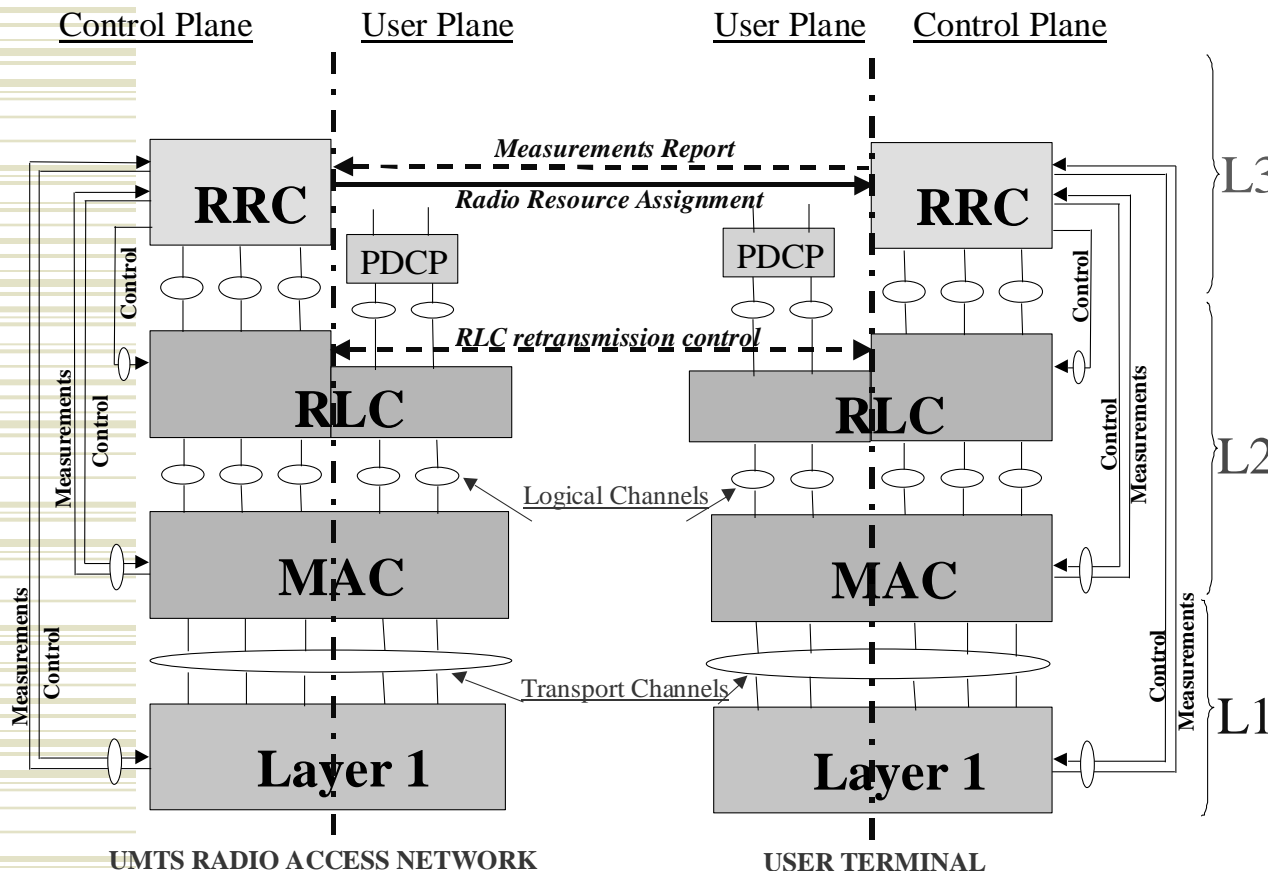
## ■ UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

- Radio Network Controllers (RNCs)
- Node Bs
  - ◆ μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος
  - ◆ κάνει μετρήσεις πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs





# UTRA Radio interface protocol layers



PDCP: Packet Data Convergence Protocol

- ♦ The radio interface of the UTRA is layered into three protocol layers:
  - Physical Layer (L1)
  - Data link Layer (L2)
    - Radio Link Control (RLC)
    - Medium Access Control (MAC).
  - Network Layer (L3).
- ♦ The RLC and Layer 3 protocols are partitioned in two planes, namely the User plane and the Control plane.
- ♦ Control plane, Layer 3 is partitioned into sublayers where only the lowest sublayer, denoted as Radio Resource Control (RRC), terminates in the UTRAN.

# RRM aims and functionality

- ◆ Aim
  - optimization of the radio interface utilization, considering the differences among the different services, not only in terms of QoS requirements but also in terms of the nature of the offered traffic, bit rates, etc.
- ◆ The RRM functions include:
  - 1. Admission control:
    - it controls requests for setup and reconfiguration of radio bearers.
  - 2. Congestion control:
    - it faces situations in which the system has reached a congestion status and therefore the QoS guarantees are at risk due to the evolution of system dynamics (mobility aspects, increase in interference, etc.).
  - 3. Mechanisms for the management of transmission parameters:
    - are devoted to decide the suitable radio transmission parameters for each connection (i.e. transport format, target quality, power, etc.).
  - 4. Code management:
    - for the downlink it is devoted to manage the OVSF code tree used to allocate physical channel orthogonality among different users.

# Radio Bearer

- ◆ Whenever a certain service should be provided under certain guarantees QoS, a bearer service with clearly defined characteristics and functionality must be set up from the source to the destination of the service, maybe including not only the UMTS network but also external networks.

# RRM Μέθοδοι

- ◆ Connection based functions.
  - **Handover Control (HC).**
    - Handles and makes the handover decisions.
    - Controls the active set of BS of MS.
  - **Power Control (PC).**
    - Maintains radio link quality.
    - Minimizes and controls the power used in radio interface.
- ◆ Network based functions.
  - **Admission control (AC).**
    - Handles all new incoming traffic. Check whether new connection can be admitted to the system and generates parameters for it.
    - Occurs when new connection is set up as well during handovers and bearer modification.
  - **Load control (LC).**
    - Manages situation when system load exceeds the threshold and some counter measures have to be taken to get system back to a feasible load.
  - **Packet scheduling (PS).**
    - Handles all non real time traffic, (packet data users). It decides when a packet transmission is initiated and the bit rate to be used.
  - **Resource Manager (RM).**
    - Controller over logical resources in BTS and RNC and reserves resources in terrestrial network.

# RRM στο UMTS

- ◆ Μεγιστοποίηση της απόδοσης (**throughput**) όλων των χρηστών με πλήρη κάλυψη και χωρητικότητα, ανεξάρτητα από το ποια υπηρεσία θέλουν να χρησιμοποιήσουν
- ◆ Εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (**QoS**) για διαφορετικές εφαρμογές
- ◆ Διατήρηση της προβλεπόμενης κάλυψης (**coverage**)
- ◆ Βελτιστοποίηση της χωρητικότητας (**capacity**) του συστήματος

# RRM στο UMTS

- ◆ Το RRM συνδέεται άμεσα με το QoS
  - Το UMTS υποστηρίζει κίνηση
    - πολύ διαφορετικό εύρος ζώνης (bandwidth) και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS)
  - Η κίνηση που παράγεται από υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και υπηρεσίες Internet
    - Απρόβλεπτη
  - Η 3GPP έχει καθορίσει τέσσερις κλάσεις για παροχή ποιότητας υπηρεσίας στο UMTS δίκτυο

# RRM Classes στο UMTS

- ◆ **Conversational** : υψηλή ευαισθησία στην καθυστέρηση και στο jitter.
  - εφαρμογές που εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο (τηλεφωνία, βιντεοκλήση)
- ◆ **Streaming** – κλάση ροής: μεσαία ευαισθησία στην καθυστέρηση και υψηλή στο jitter.
  - εφαρμογές ροής (βίντεο, ήχος, τηλέτυπα κειμένων, πολυμεσικές εφαρμογές και τα λοιπά) όπου έμφαση δίνεται στην αποστολή με σταθερό ρυθμό
- ◆ **Interactive** – κλάση αλληλεπίδρασης: χαμηλή ευαισθησία στην καθυστέρηση, υψηλή ευαισθησία round trip delay (RTD) time and bit error rate (BER)
  - Αναζήτηση πληροφοριών σε ένα φυλλομετρητή
  - Διαδικτυακά παιχνίδια
- ◆ **Background**: καμία ευαισθησία στην καθυστέρηση, υψηλή ευαισθησία στο BER
  - email

# Φάσεις διαχείρισης ράδιο-πόρων

## ◆ Radio resource configuration

- Είναι υπεύθυνη για την κατανομή των πόρων στις νέες αιτήσεις που εισέρχονται στο σύστημα προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του δικτύου, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη σταθερότητα του.
- Μπορεί να συμβεί υπερφόρτωση εξαιτίας της κινητικότητας των χρηστών επηρεάζοντας έτσι το QoS.

## ◆ Radio resource re-configuration

- Είναι υπεύθυνη για την ανακατανομή των πόρων μέσα στο δίκτυο όταν αρχίζει να συγκεντρώνεται το φορτίο ή αρχίζει να παρατηρείται υπερφόρτωση με σκοπό να διατηρηθεί το QoS σε όλο το δίκτυο.
- Επαναφέρει το υπερφορτωμένο δίκτυο στην αρχική επιθυμητή κατάσταση ανακατανέμοντας τους πόρους μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών στο ίδιο δίκτυο.



# Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαχείριση ράδιο-πόρων σε ένα UMTS δίκτυο

- ◆ Διαφορετικές εκδόσεις UMTS
  - Η Release 99 χρησιμοποιεί ως κύρια δομή δικτύου το GSM/GPRS αλλά υιοθετεί ένα νέο δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων, το UTRAN.
  - Στη Release 4, Release 5 εισάγονται νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).
- ◆ Περιορισμοί στην απόδοση του δικτύου
  - Ποιότητα κυψελών λόγω διαλείψεων
  - Περιορισμένη διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων
  - Η χωρητικότητα των δικτύων που βασίζονται στο CDMA περιορίζεται από την παρεμβολή που μπορούν να ανεχθούν οι χρήστες
- ◆ Χαρακτηριστικά γνωρίσματα σχετικά με το CDMA
  - cell breathing όπου η περιοχή κάλυψης της κυψέλης εξαρτάται από την τρέχουσα κατάσταση φόρτου του δικτύου
  - soft χωρητικότητα όπου γειτονικές κυψέλες προκαλούν παρεμβολές στην κεντρική κυψέλη κι έτσι η χωρητικότητα της κεντρικής κυψέλης εξαρτάται και από την κατάσταση φόρτου των γειτονικών κυψελών

# Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαχείριση ράδιο-πόρων σε ένα UMTS δίκτυο

- ◆ Τύποι εξυπηρέτησης και κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS)
  - Ποιότητα υπηρεσίας (BER, max delay, and delay jitter )
  - Χρήση διαδικασιών χρονοδρομολόγησης στο MAC επίπεδο
- ◆ Διαφορετικά κανάλια
  - Ανάλογα με την υπηρεσία εξυπηρέτησης απαιτούνται διαφορετικά διαθέσιμα κανάλια
  - Τα κανάλια μεταφοράς που είναι διαθέσιμα για μετάδοση δεδομένων είναι
    - το dedicated κανάλι (DCH, UL, και DL)
    - το κανάλι τυχαίας πρόσβασης (RACH και UL)
    - το common packet κανάλι (CPCH και UL), το forward access κανάλι (FACH και DL), και
    - το downlink shared κανάλι (DSCH και DL)
- ◆ Υποδομή του δικτύου
  - Χρήση πολλαπλών στρωμάτων κυψελών (micro/macro cell layers) για αποφυγή πολλαπλών μεταπομπών
  - Μηχανισμοί για αύξηση της χωρητικότητας έχει επίπτωση στους scrambling codes του κάθε χρήστη

# Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαχείριση ράδιο-πόρων σε ένα UMTS δίκτυο

- ◆ Συμπεριφορά του χρήστη
  - Η χωρική διανομή της προσφερθείσας κίνησης μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την αρχική εκτίμηση της διανομής, προκαλώντας υπερφόρτωση σε ορισμένες κυψέλες του δικτύου
  - Η κινητικότητα του χρήστη προκαλεί συνεχείς αλλαγές στις συνθήκες του καναλιού
    - απαιτούνται αποδοτικοί αλγόριθμοι ελέγχου ισχύος
  - Η κινητικότητα του χρήστη προκαλεί συχνές μεταπομπές
  - Η τάση των χρηστών να πραγματοποιούν ξανά κλήση αν δεν τους παρέχεται πρόσβαση στο δίκτυο

# Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαχείριση ράδιο-πόρων σε ένα UMTS δίκτυο

- ◆ Κατευθύνσεις μετάδοσης: uplink και downlink
  - Το traffic load στο downlink αναμένεται να είναι υψηλότερο από αυτό στο uplink εξαιτίας της χρήσης ασύμμετρων τύπων υπηρεσιών
  - Στο uplink οι αλλαγές που γίνονται στο UE πρέπει να αναφερθούν στο δίκτυο
  - Οι τεχνικές διαχείρισης ράδιο-πόρων έχουν διαφορετικές επιδράσεις στις ανερχόμενες και στις κατερχόμενες συνδέσεις.

# UTRA Radio interface protocol layers

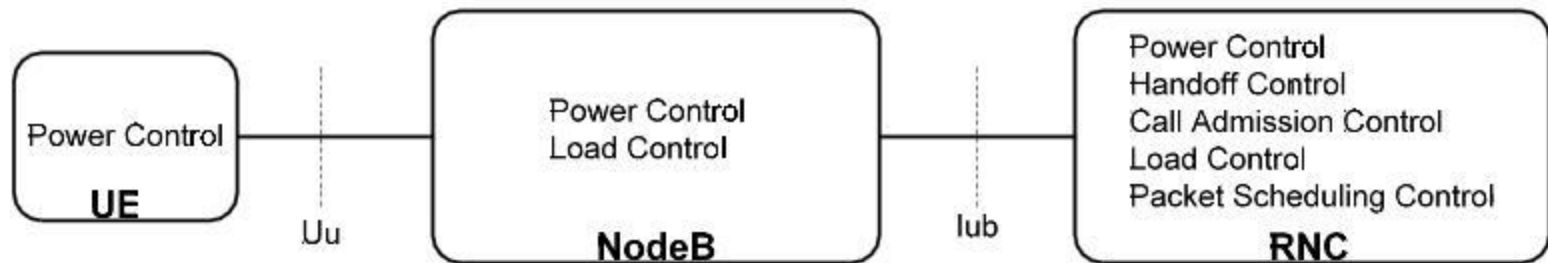
- ◆ Connections between RRC and MAC as well as RRC and L1 provide local inter-layer control services and allow the RRC to control the configuration of the lower layers.
- ◆ In the MAC layer, logical channels are mapped to transport channels. A transport channel defines the way how traffic from logical channels is processed and sent to the physical layer.
- ◆ The smallest entity of traffic that can be transmitted through a transport channel is a Transport Block (TB). Once in a certain period of time, called Transmission Time Interval (TTI), a given number of TB will be delivered to the physical layer in order to introduce some coding characteristics, interleaving and rate matching to the radio frame

# UTRA Radio interface protocol layers

- ◆ Within the UMTS architecture, RRM algorithms will be carried out in the Radio Network Controller (RNC).
- ◆ Decisions taken by RRM algorithms are executed through Radio Bearer Control Procedures (a subset of Radio Resource Control Procedures):
  - Radio Bearer Set-up.
  - Physical Channel Reconfiguration.
  - Transport Channel Reconfiguration.

# Λειτουργίες RRM

- ◆ Υπάρχουν τρεις βασικές λειτουργίες διαχείρισης ράδιο-πόρων
  - Power control - Έλεγχος ισχύος
  - Handover control - Έλεγχος μεταπομπής
  - Congestion control - Έλεγχος συμφόρησης
    - Call admission control - Έλεγχος αποδοχής της κλήσης
    - Load control - Έλεγχος φορτίου
    - Packet scheduling control - Έλεγχος χρονοδρομολόγησης πακέτων



# Power Control

- ◆ Οι κύριοι στόχοι του ελέγχου ισχύος στο UMTS είναι:
  - Παροχή ικανοποιητικής ισχύος για κάθε UE
  - Έλεγχος παρεμβολής
  - Αντιμετώπιση της *near – effect* επίδρασης. Εάν ο χρήστης UE1 εκπέμπει με μεγάλη ισχύ, τότε μπορεί να περιορίσει το σήμα από τον UE2 και η περιοχή κάλυψης του τελευταίου να μειωθεί δραματικά
  - Μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας του UE
- ◆ Τέσσερις μέθοδοι ελέγχου της ισχύος στο UMTS:
  - Η μέθοδος *inner loop*: εκτελείται γρήγορος έλεγχος ισχύος σε όλα τα κανάλια δεδομένων.
  - Η μέθοδος *outer loop*: αργός έλεγχος, προσδιορίζει το target SIR.
  - Η μέθοδος *closed-loop*: ο σταθμός βάσης εκτελεί συχνές εκτιμήσεις του ληφθέντος SIR και το συγκρίνει το target SIR.
  - Η μέθοδος *open-loop*: παρέχει μια πρόχειρη αρχική εκτίμηση ισχύος στον κινητό σταθμό στην αρχή της σύνδεσης.



# Open Loop Power Control

- ◆ The UL and DL frequencies of W-CDMA are within the same frequency band
  - a significant correlation exists between the average path-loss of the two links.
- ◆ This makes it possible for each UE prior to accessing the network, and for each Node B when the radio link is set up, to estimate the initial transmit powers needed in UL (from UE to Node B) and DL based (from Node B to UE) on the path-loss calculations in the DL direction.

# Uplink Open Loop Power Control

- ◆ The **UL open-loop PC** function is located both in the UE and in the UTRAN.
- ◆ Based on the calculation of the open-loop PC, the terminal sets the initial power for the first Physical Random Access Channel (PRACH) preamble and for the UL Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) before starting the inner-loop PC.

$$P_{\text{Preamble\_Initial\_Power}} = C_{\text{PICH\_Tx\_power}} - C_{\text{PICH\_RSCP}} + U_{\text{interference}} + U_{\text{required\_CI}}$$

**RSCP:** Received Signal Code Power  
**CPICH:** Common Pilot Channel

constant value  
(3GPP)

Receiver Total  
Wideband Power

- ◆ The same procedure is followed by the UE when setting the power level of the first Physical Common Packet Channel (PCPCH) access preamble.
- ◆ When establishing the first DPCCH, the UE starts the UL inner-loop PC at a power level according to

$$D_{\text{PCCH\_Initial\_Power}} = D_{\text{PCCH\_Power\_offset}} - C_{\text{PICH\_RSCP}}$$

- $C_{\text{PICH\_RSCP}}$  is measured by the terminal.
- $D_{\text{PCCH\_Power\_offset}}$  is calculated by AC in the RNC and provided to MS during a radio bearer or physical channel reconfiguration.

$$D_{\text{PCCH\_Power\_offset}} = C_{\text{PICH\_Tx\_power}} + U_{\text{interference}} + \text{SIR}_{\text{DPCCH}} - 10 \log (\text{SF}_{\text{DPDCH}})$$

- $\text{SIR}_{\text{DPCCH}}$  is the initial target SIR produced by the AC for that particular connection
- $\text{SF}_{\text{DPDCH}}$  is the spreading factor of the corresponding Dedicated Physical Data Channel (DPDCH).

# Downlink Open Loop Power Control

- ◆ This function is located in both the UTRAN and the UE
- ◆ In the Downlink, the open-loop PC is used to set the initial power of the downlink channels based on the DL measurement reports from the UE.
- ◆ A possible algorithm for calculating the **initial power value of the DPDCH** when the first bearer service is set up is

$$P_{Tx}^{Initial} = \frac{R \cdot (Eb/No)_{DL}}{W} \cdot \left( \frac{CPICH\_Tx\_power}{(Ec/No)_{CPICH}} - \alpha \cdot Ptx\_Total \right)$$

R	is the user bit rate
$(Eb/No)_{DL}$	is the DL planned Eb/No value set during the RNP
W	is the chip rate
$(Ec/No)_{CPICH}$	is reported by the UE
$\alpha$	is the DL orthogonality factor
Ptx_Total	is the carrier power measured at the Node B and reported to the RNC.

$E_c/N_0$ : Ratio of desired receive power per chip to receive power density in the band

# Power Control on Downlink Common Channels

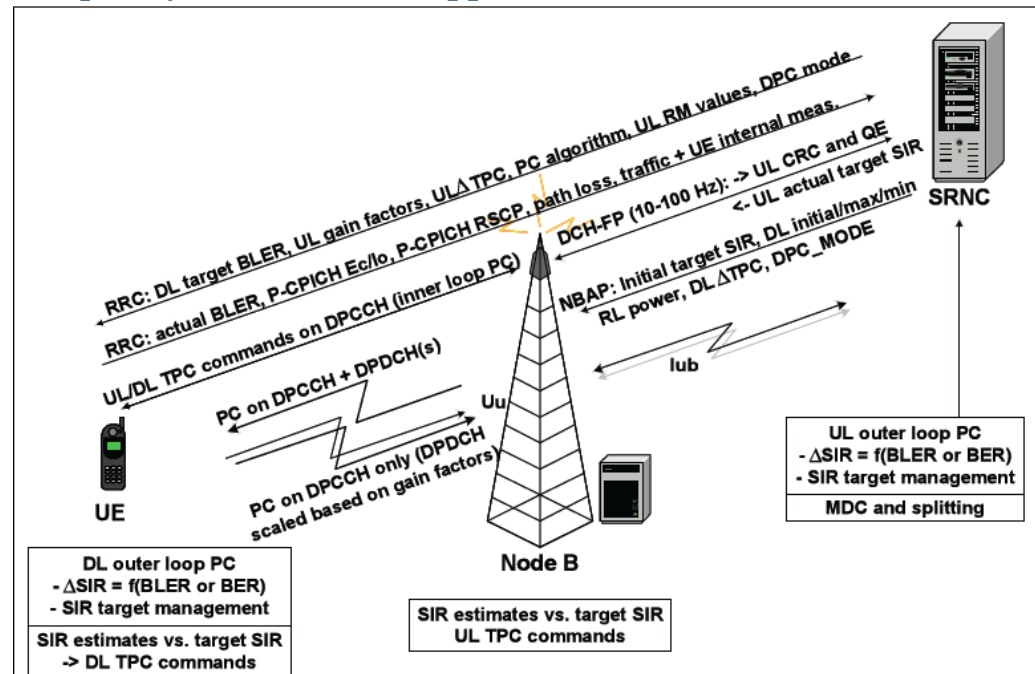
- ◆ Determined by the network.
- ◆ The ratio of the transmit powers between different downlink common channels is not specified in the recommendations.

DL common channel	Typical power level	Note
P-CPICH	30-33 dBm	5-10% of maximum cell Tx power (20 W) relative to P-CPICH power relative to P-CPICH power relative to P-CPICH power and $N_p = 72$ power of one Acquisition Indicator (AI) compared to P-CPICH power relative to P-CPICH and SF = 256 (15 kbps)
P-SCH and S-SCH	-3 dB	
P-CCPCH	-5 dB	
PICH	-8 dB	
AICH	-8 dB	
S-CCPCH	-5 dB	

**CPICH:** Common Pilot Channel

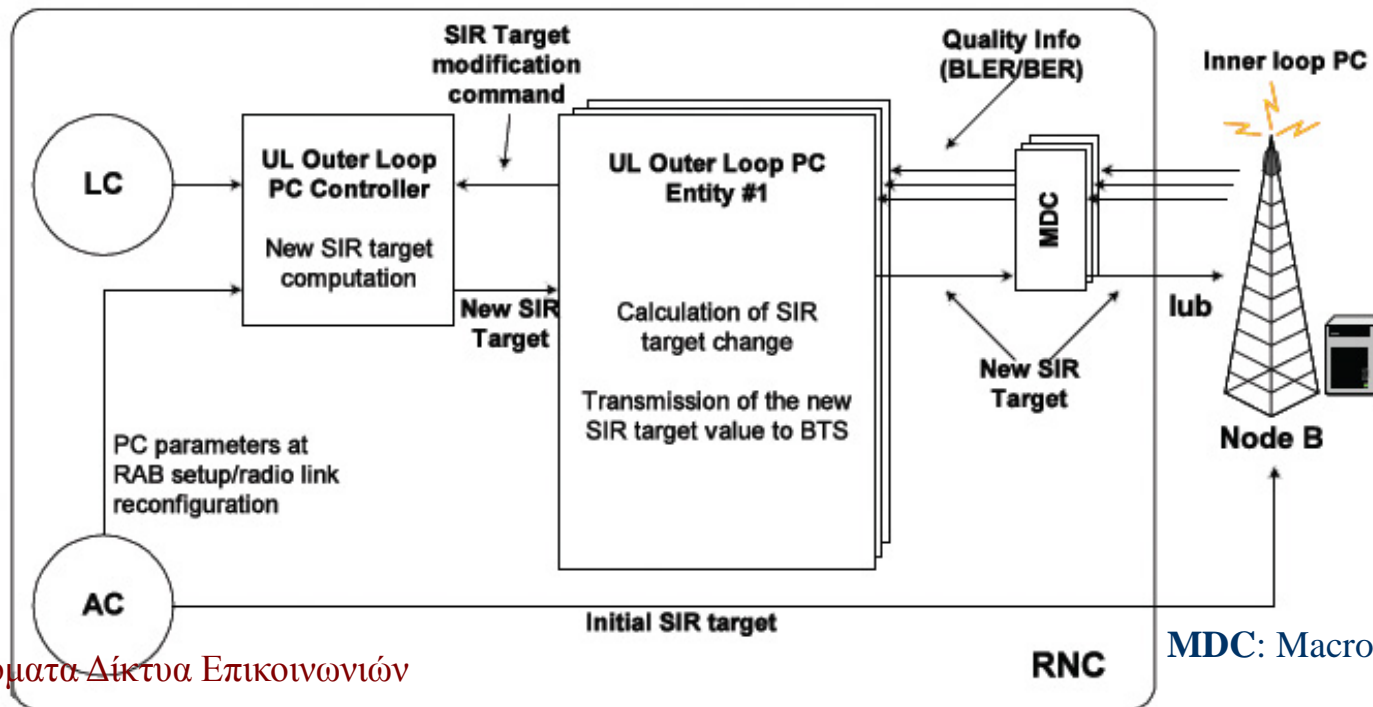
# Inner Loop Power Control

- ◆ The **inner-loop PC** relies on the feedback information at Layer I
- ◆ This allows the UE/Node B to adjust its transmitted power based on the **received SIR level** at the Node B/UE for compensating the fading of the radio channel.
- ◆ The inner-loop PC function in UMTS is **used for the dedicated channels in both the UL and DL directions** and for the **Common Packet Channel (CPCH) in UL**.
- ◆ In W-CDMA fast PC with a frequency of 1.5 kHz is supported

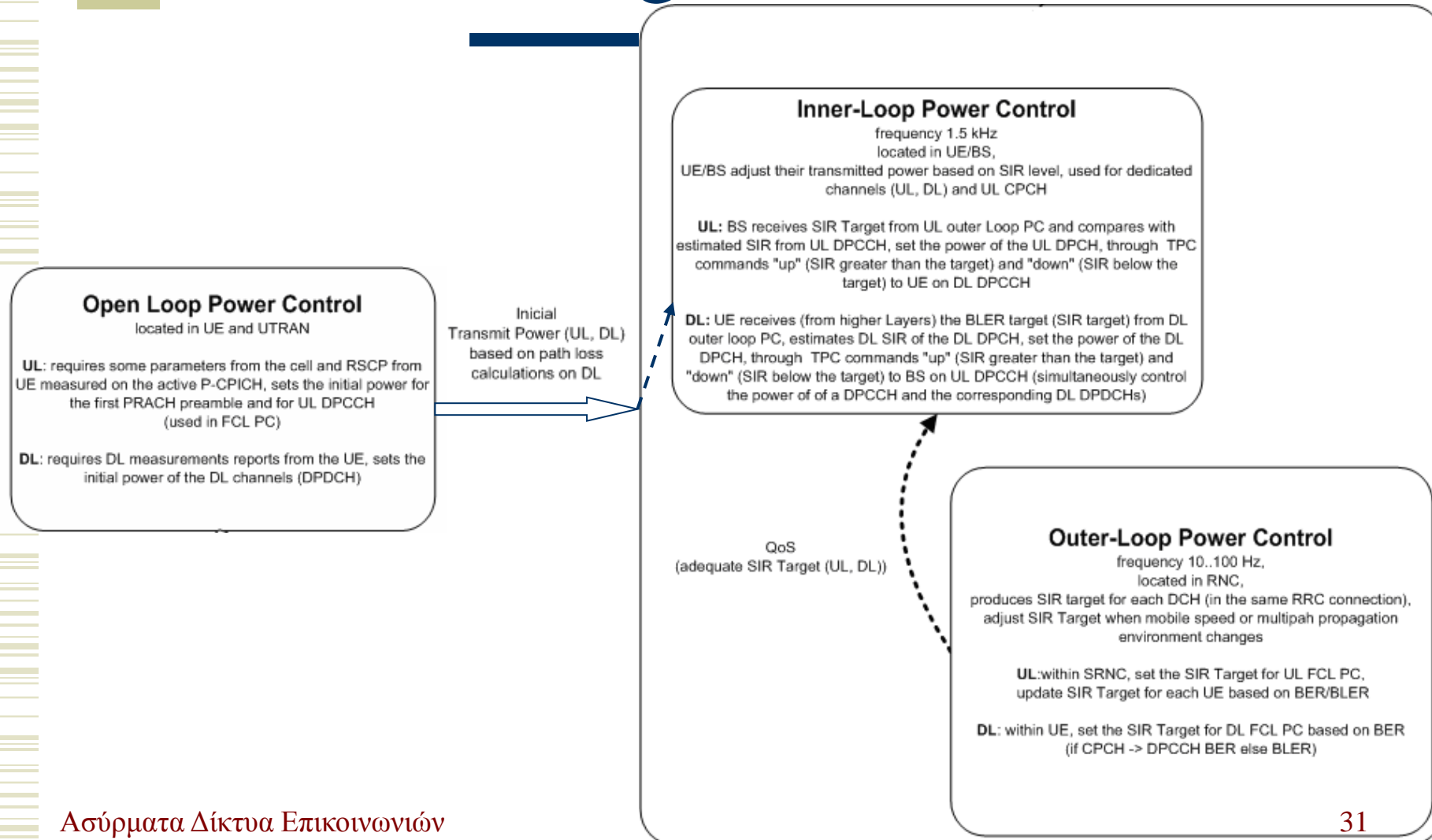


# Outer-loop Power Control

- ◆ The aim of the outer-loop PC algorithm is to **maintain** the **quality** of the communication at the level defined by the quality requirements of the bearer service in question by producing adequate **target SIR for the inner-loop PC**.
- ◆ Done for each DCH belonging to the same RRC connection.
- ◆ The frequency of outer-loop PC ranges typically from 10 to 100 Hz.



# Interaction between PC algorithms



# Handover (HO)

- ◆ Οι κύριοι στόχοι του ελέγχου μεταπομπής είναι:
  - Εξασφάλιση της σταθερότητας των κλήσεων που είναι σε εξέλιξη με την απαιτούμενη ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS)
  - Εγγυημένη ευστάθεια της υπηρεσίας
  - Ελαχιστοποίηση του επιπέδου παρεμβολής από όλο το ασύρματο σύστημα
  - Εξισορρόπηση του φορτίου στο ασύρματο σύστημα
- ◆ Τρεις τύποι μεταπομπής
  - Hard handover: όταν ο UE δεν μπορεί να επικοινωνήσει με περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης εξαιτίας τεχνικών συνθηκών
  - Soft handover: όταν ένα κινητό τερματικό μπορεί να επικοινωνεί με διαφορετικούς σταθμούς βάσης ταυτόχρονα
  - Intersystem handover: μεταπομπή μεταξύ δύο διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, π.χ. GSM και UMTS.



# Handover (HO)

- ◆ The Handover process is one of the **essential** means that guarantees **user mobility** in a mobile communication network, by supporting continuity of service.
  - intra-system handovers
    - intra-frequency
    - inter-frequency
  - inter-system handovers.
- ◆ When a **handover** occurs, **many RRM mechanisms are triggered other than the actual Handover mechanism.**
  - AC handles the downlink admission decision (acceptance and queuing)
  - LC updates downlink load information when a new HO link is admitted
  - PS releases codes for HO branches of NRT (non real-time) and schedules HO addition requests for NRT
  - RM: Activates/deactivates HO branches. Allocates/releases DL spreading codes.
- ◆ The HO mechanism processes the measurements made by a terminal and makes decisions. It also updates reference transmission powers.

# Handover Reasons

- ◆ The basic reason behind a HO is that the air interface does not fulfil the desired criteria set for it anymore and thus either the UE or the UTRAN initiates actions in order to improve the connection.
- ◆ The HO execution criteria depend mainly upon the HO strategy implemented in the system.
  - Signal Quality
    - Constant signal measurements carried out by both the UE and the Node B aim to detect any signal deterioration.
    - When the quality or the strength of the radio signal falls below certain parameters set by the RNC, a HO is initiated. This holds for both the UL and the DL radio links.
  - Traffic level
    - HO is also initiated when the intra-cell traffic is approaching the maximum cell capacity or a maximum threshold.
    - The HO usually occurs when the UE approaches the edges of the cell with high load.
    - This sort of HO helps to distribute the system load more uniformly and to adapt the needed coverage and capacity efficiently meeting the traffic demand within the network.
  - User mobility
    - The number of HOs is proportional to the degree of UE mobility.
    - To avoid undesirable HOs, UE's with high motion speed may be handed over from micro cells to macro cells. In the same way, UE's moving slowly or not at all, can be handed over from macro cells to micro cells.

# Handover Process

- ◆ A basic HO process consists of three main phases

- measurement phase

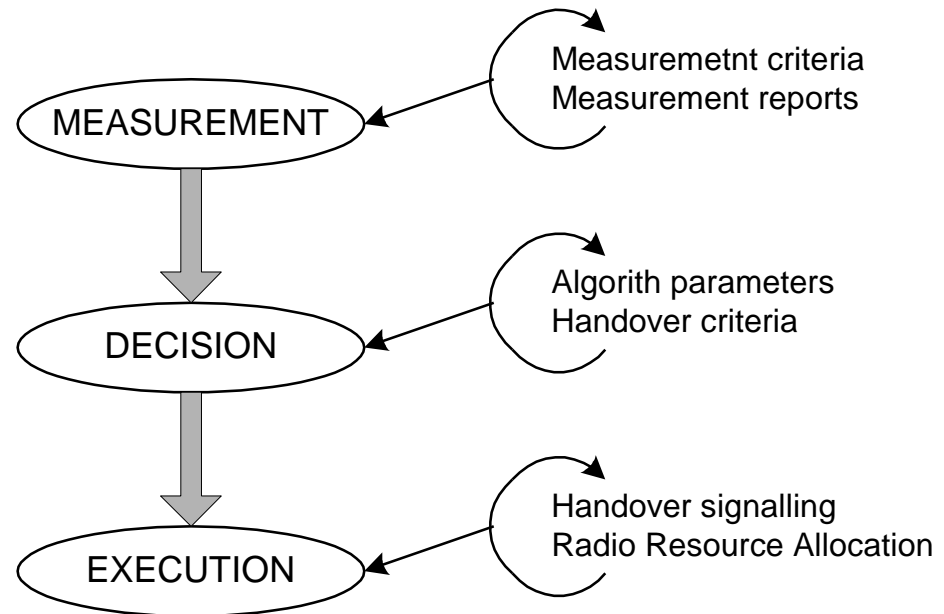
- *Intra-frequency*
- *Inter-frequency*
- *Traffic volume*
- *Quality*
- *Internal*

- decision phase

- Change of best cell.
- Changes in the SIR level.
- Changes in the ISCP level.
- Periodical reporting.
- Time-to-trigger.

- execution phase.

- Network Evaluated Handover (NEHO)
- Mobile Evaluated Handover (MEHO)

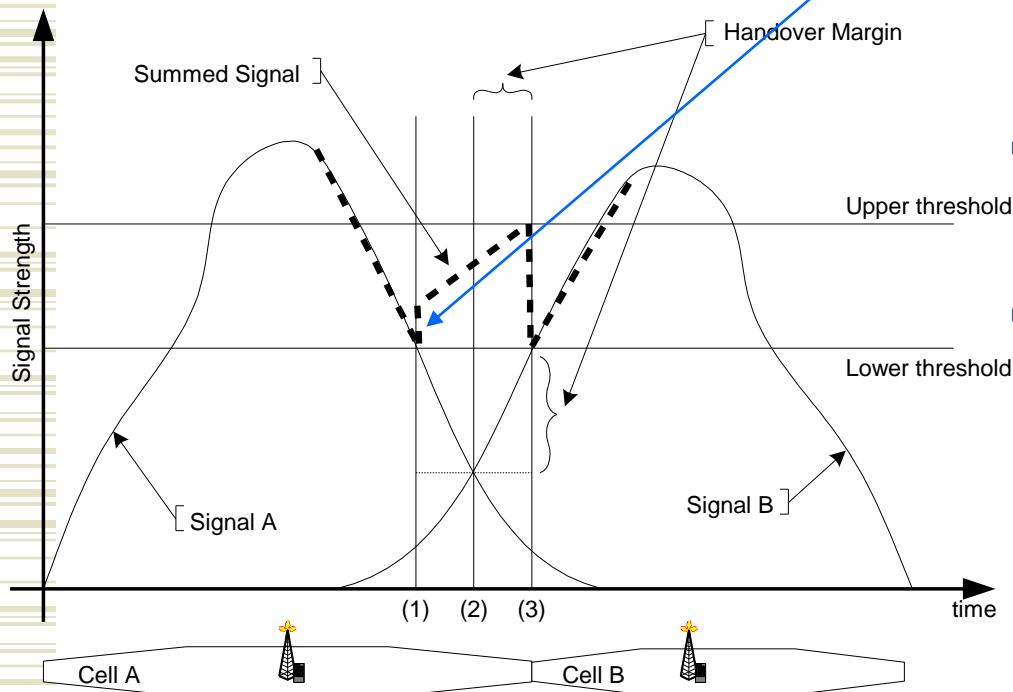


# Handover in UMTS

## Handover Algorithm

Assumption: a UE, currently connected to signal A, is located in cell A and moving towards cell B.

Pilot signal A, deteriorates, approaching lower threshold  $\rightarrow$  Handover Triggering



### ■ Signal A equals lower threshold.

- Based on UE measurements, RNC recognises an available neighbouring signal (signal B), with adequate strength to improve quality of connection. RNC adds signal B to Active Set.
- UE has two simultaneous connections to UTRAN and benefits from summed signal (signal A + B)

### ■ When quality of signal B becomes better than signal A

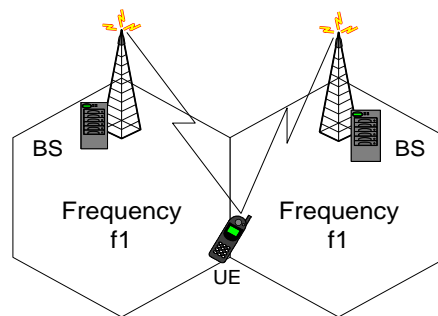
- RNC keeps this as starting point for HO margin calculation.

### ■ Signal B greater than defined lower threshold.

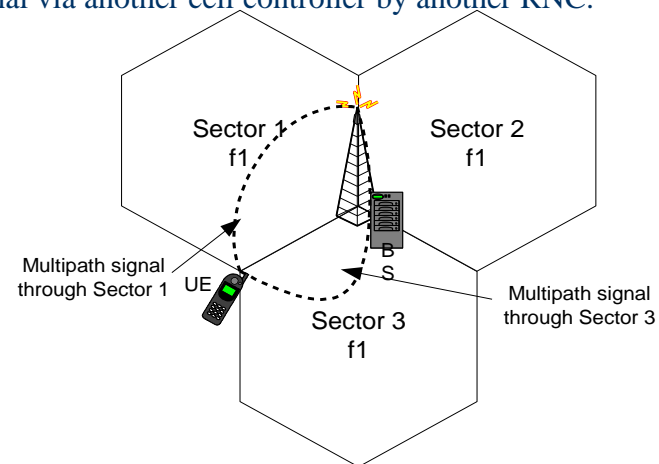
- strength adequate to satisfy required QoS.
- strength of summed signal exceeds defined upper threshold, causing additional interference. RNC deletes signal A from Active Set.

# Handover Types (1/2)

- ◆ **Soft Handover**
  - Takes place when a new connection is established before the old connection is released.
  - In Soft HO the neighbouring Node B involved in the HO transmits on the same frequency.
  - Soft HO is performed between two cells belonging to different Node B's but not necessarily on the same RNC. The RNC involved in the Soft HO must co-ordinate the execution of the Soft HO over the Iur interface.
- ◆ **Softer Handover**
  - When a new signal is either added to or deleted from the Active Set, or replaced by a stronger signal within the different sectors under the same Node B
  - The Node B transmits through one sector but receives from more than one sector.
- ◆ **Soft-Softer Handover**
  - When soft and softer HO occur simultaneously.
  - A soft-softer HO may occur for instance, in association with inter-RNC HO, while an inter-sector signal is added to the UE's Active Set along with adding a new signal via another cell controller by another RNC.



(a)

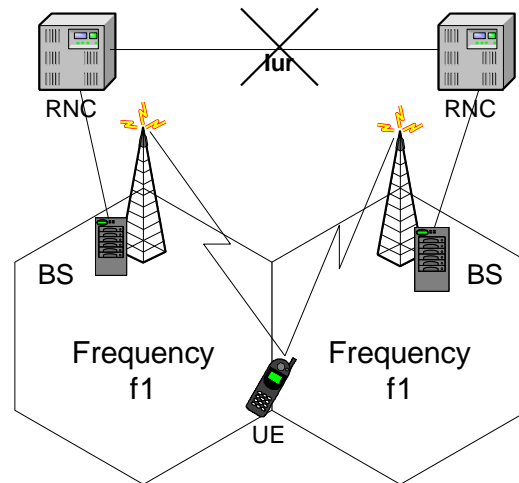


(b)

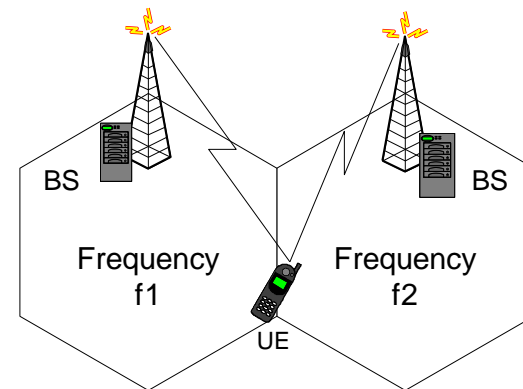
# Handover Types (2/2)

## ◆ Hard Handover

- During the HO process, the old connection is released before making a new connection.
- Lack of simultaneous signals
- Very short cut in the connection, which is not distinguishable for the mobile user.
- Inter-frequency hard handover
  - the carrier frequency of the new radio access is different from the old carrier frequency to which the UE is connected.
- Intra-frequency hard handover
  - the new carrier, to which the UE is accessed after the HO procedure is the same as the original carrier



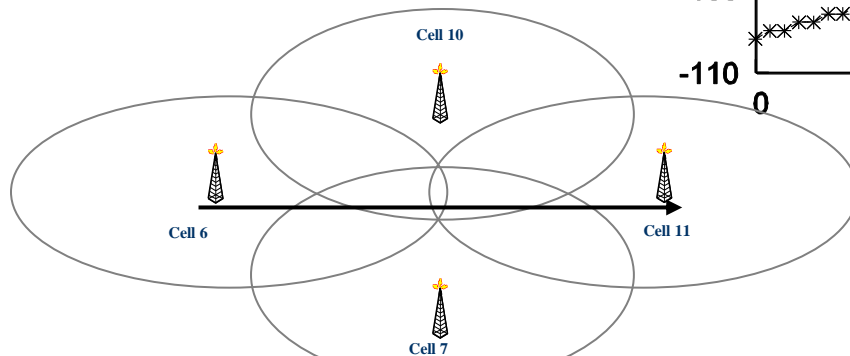
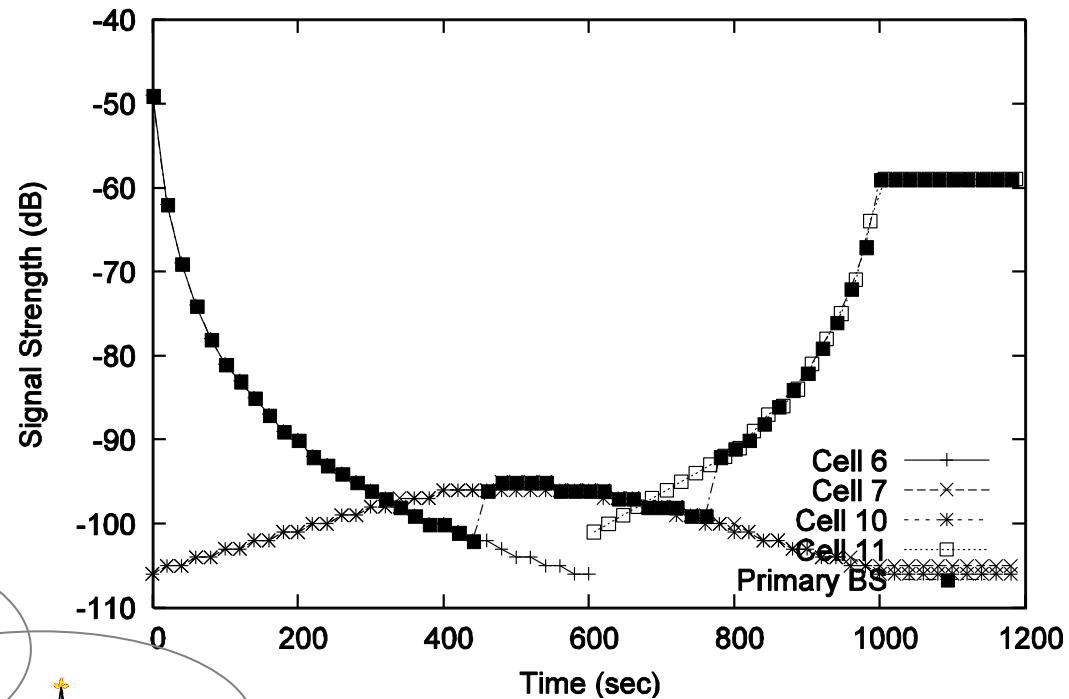
(a)



(b)

# Handover and Power Control Results

Handover Process



# Admission Control

- ◆ Στόχος του admission control (ελέγχου αποδοχής) είναι να αποφευχθεί το ανώφελο μπλοκάρισμα εισερχόμενων κλήσεων και την ίδια στιγμή να γίνει προσπάθεια διατήρησης της ποιότητας υπηρεσίας QoS των κλήσεων που έχουν ήδη απαντηθεί.
- ◆ Ο έλεγχος αποδοχής κλήσης ενεργοποιείται (triggered):
  - Κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης
  - από το soft/softer/intersystem handover
  - εναλλαγή τύπου καναλιού



# Admission Control (AC)

- ◆ Decides whether new Radio Access Bearer (RAB) is admitted or not.
  - Real-Time (RT) traffic admission to the network is decided.
  - Non-Real-Time (NRT) traffic after RAB has been admitted the optimum scheduling is determined.
- ◆ Used when the bearer is
  - Set up
  - Modified
  - During the handover
- ◆ Estimates the load and fills the system up to the limit.
- ◆ Used to guarantee the stability of the network and to achieve high network capacity.
- ◆ Separates admission for UL and DL.
  - Load change estimation is done in the own and neighbouring cells.
  - RAB admitted if the resources in both links can be guaranteed.
  - In decision procedure AC will use thresholds set during radio network planning.
- ◆ The functionality located in the RRM of the RNC.

# Throughput based CAC (TCAC)

- ◆ With TCAC algorithm, admission decisions are taken based on the capacity required by the requesting call in conjunction with current capacity usage due to on-going connections.
- ◆ The condition that needs to be met for new connection admission is that aggregate throughput in both directions of the wireless link (uplink and downlink) does not exceed certain respective maximum thresholds and therefore smooth network operation is ensured.
- ◆ Given the QoS requirements of the new connection in terms of data rate and BLER as well as the applied WCDMA encoding type (e.g convolutional codes) and rate (e.g half/third rate), it is possible to compute the load increase that would occur

# Throughput based CAC (TCAC)

$$\frac{E_b}{N_o} \text{ (dB)} = \begin{cases} \frac{1}{1.71} \cdot [0.35 + \log_{10}(\text{length}_{SDU}) - \log_{10}(BLER)] & \text{half rate} \\ \frac{1}{1.54} \cdot [-0.67 + \log_{10}(\text{length}_{SDU}) - \log_{10}(BLER)] & \text{third rate} \end{cases}$$

$$\text{Load increase} = \begin{cases} \frac{d_f}{1 + \frac{d_f}{10^{\frac{E_b/N_o + 3.0}{10.0}} \cdot SAF \cdot R_{UL}}}, & \text{uplink} \\ (d_f + \alpha) \cdot \left( 10^{\frac{E_b/N_o + 3.0}{10.0}} \cdot SAF \cdot \frac{R_{DL}}{W} \right), & \text{downlink} \end{cases}$$

# Throughput based CAC (TCAC)

- ◆ where:
  - $E_b/N_0$ : Signal energy per bit divided by noise spectral density to meet predefined QoS
  - $Length\ SDU$ : The time length of a Service Data Unit
  - $BLER$ : The requested BLock Error Rate for the serviced
  - $d_f$ : Downlink other-cell interference factor computed at the edge of the cell
  - $a$ : Downlink spreading codes' orthogonality factor
  - $W$ : WCDMA chip rate (3.84 Mcps)
  - $R_{UL}$ : Requested service data rate in the uplink direction
  - $R_{DL}$ : Requested service data rate in the downlink direction
  - $SAF$ : Service activity factor (1.0 for real-time interactive services like voice and video telephony, < 1.0 for data applications)

# Throughput based Admission Control

- ◆ In throughput-based admission control the strategy is that a new bearer is admitted only if the total load after admittance stays below the thresholds defined by the RNP.

- In the UL the following equation must be fulfilled  $\eta_{UL} + \Delta L \leq \eta_{UL\_threshold}$

- In the DL the must be fulfilled

$$\eta_{DL} + \Delta L \leq \eta_{DL\_threshold}$$

- ◆ The UL Load Factor is obtained using  $\eta_{UL} = \frac{I_{own} + I_{oth}}{Pr \times Total} \Leftrightarrow \frac{I_{own} + I_{oth}}{I_{own} + I_{oth} + PN} \Leftrightarrow \frac{\frac{I}{C}}{\frac{I}{C} + \frac{N}{C}}$

- ◆ The DL Load Factor is obtained using  $\eta_{DL} = \frac{\sum_{j=1}^N R_k}{R_{x \max}}$

- ◆ To obtain the load increase caused by the new user

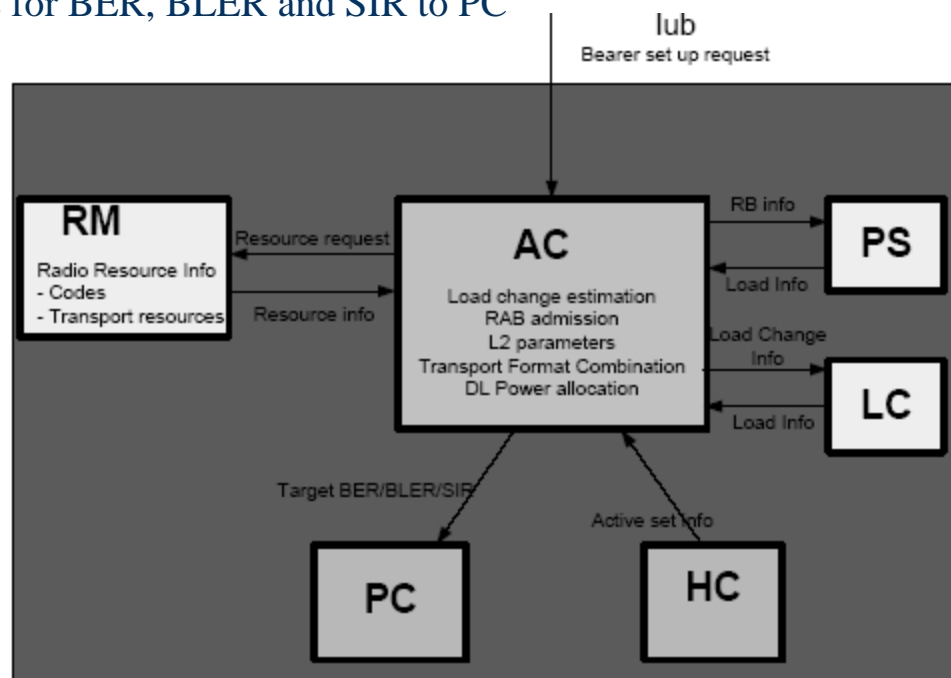
$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{w}{\rho \cdot R \cdot v}}$$

# Wideband Power based Admission Control

- ◆ The UL admission decision is based on cell-specific load thresholds given by the RNP. A RT bearer will be accepted if
  - the non-controllable UL load,  $\text{Pr}x_{NC}$ , fulfils:  $\text{Pr}x_{NC} + \Delta I \leq \text{Pr}x_{Target}$
  - and the total received wideband interference power  $\text{Pr}x_{Total}$  fulfils:  $\text{Pr}x_{Total} \leq \text{Pr}x_{Target} + \text{Pr}x_{Offset}$
- ◆ Power increase is obtain using  $\Delta I \approx \frac{\text{Pr}x_{Total}}{1-\eta} \cdot \Delta L$
- ◆ where  $\eta$  is the uplink LF and can be obtain using  $\eta_{UL} = \frac{I_{own} + I_{oth}}{\text{Pr}x_{Total}}$
- ◆ The fractional load of the new user can be calculated using  $\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{w}{\rho \cdot R \cdot v}}$
- ◆ For the DL direction a similar admission algorithm is defined

# Logical Dependencies of AC

- ◆ AC has some logical dependencies due to its interworking with the rest of the RRM mechanisms.
  - receives load information from PS and LC.
  - receives information about the UE active set from the HC
  - sends PS information about the radio bearers.
  - sends load changes information to LC.
  - sends the target values for BER, BLER and SIR to PC



# Load Control

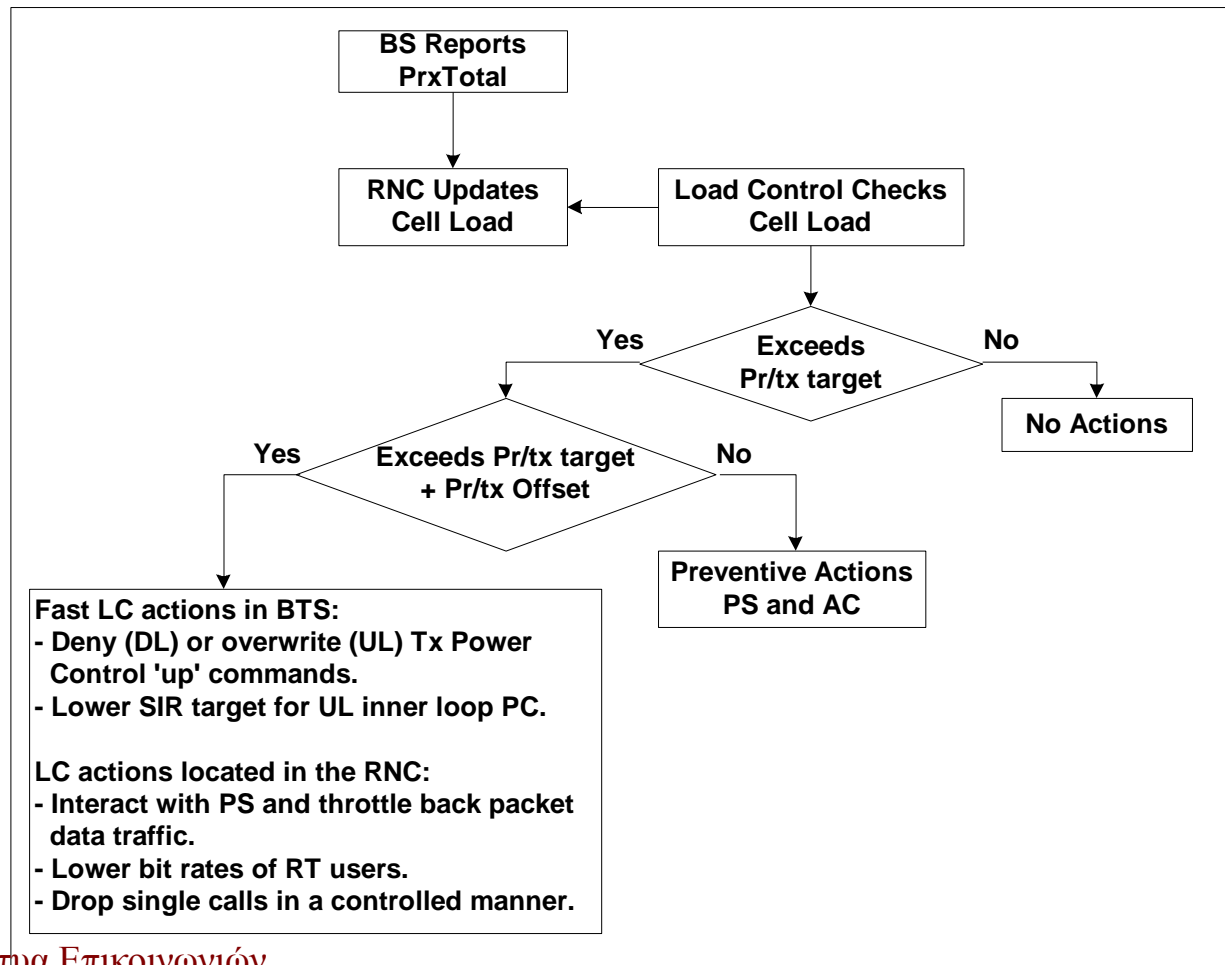
- ◆ Οι κυριότερες δράσεις του ελέγχου φορτίου προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση στον κόμβο B είναι
  - διαχείριση των εντολών μετάδοσης ελέγχου ισχύος
  - χρήση μικρότερου target SIR για uplink inner loop έλεγχο ισχύος
- ◆ Ομοίως, οι βασικές δράσεις ελέγχου φορτίου που συμβαίνουν στο RNC είναι
  - αλληλεπίδραση με τον χρονοδρομολογητή πακέτων
  - υποβίβαση των RT χρηστών ως προς το bit rate τους
  - απόρριψη των κλήσεων με χρήση στρατηγικών απόρριψης που καθορίστηκαν κατά τη σχεδίαση
  - διαχείριση των μεταπομπών προκειμένου να αποφευχθούν οι παρεμβολές ως προς το φορτίο



# Load Control (LC)

- ◆ The purpose of the LC mechanism is to increase the capacity of a cell and prevent overload
  - continuously measures uplink and downlink interference
  - In an overload condition, reduces the load and brings the network back into operating state
- ◆ normal state
  - the power received in the uplink and the transmitted power in the downlink are a target value which is the optimal average of the PrxTotal and PtxTotal for the uplink and downlink.
- ◆ preventive state
  - the PrxTotal in the uplink and PtxTotal in the downlink are below PrxTarget and PtxTarget respectively, plus an Offset value which equals the maximum margin by which the target value can be exceeded.
  - LC ensures that the network is not overloaded and remains stable
- ◆ overload state
  - Anything above the preventive state
  - LC is responsible for reducing the load and bringing the network back into operating state. The actions that can be taken with the objective of reducing the load are:
    - Actions for fast LC located in the Node B:
      - ◆ Denying the DL or overriding the UL Transmit Power “up” commands.
      - ◆ Lowering the reference SIR for the inner-loop PC in the UL.
    - Actions for LC located in the RNC:
      - ◆ Interacting with the Packet Scheduler and reducing the packet data traffic.
      - ◆ Reducing the bit rates of RT users, e.g., voice services.

# Power Based LC algorithm



# Packet Scheduling (PS)

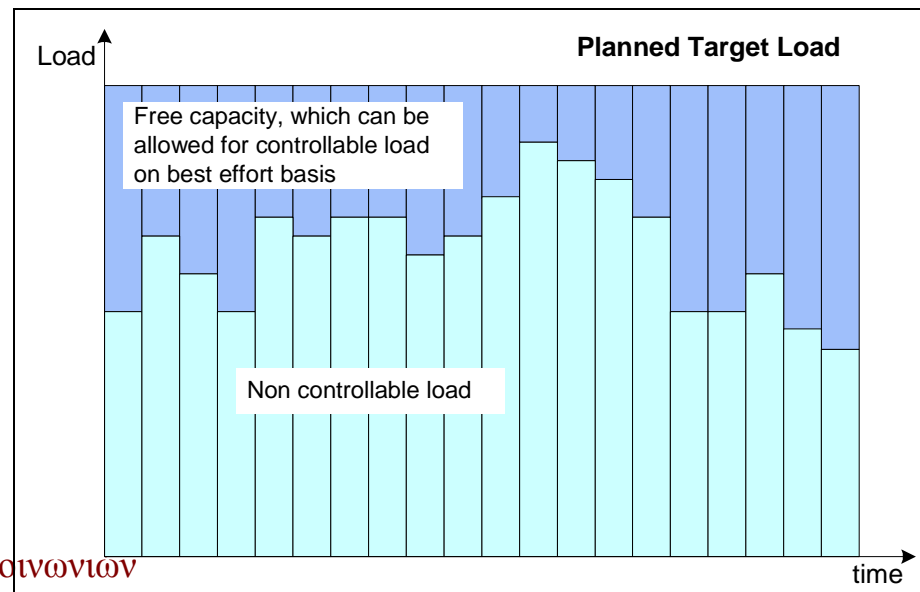
- ◆ Οι κύριοι στόχοι του ελέγχου δρομολόγησης πακέτων είναι
  - Εντοπισμός και διαχωρισμός των προσπελάσιμων ράδιο-πόρων για τις NRT συνδέσεις
  - Έλεγχος της κατανομής NRT
  - Έλεγχος του φορτίου συστήματος
  - Εκτέλεση των λειτουργιών ελέγχου απόδοσης για τις NRT συνδέσεις, όπου απαιτείται
- ◆ Υπάρχουν δυο κύρια μέρη της δρομολόγησης πακέτων
  - User specific packet scheduling, είναι υπεύθυνο για την πλήρη αξιοποίηση των αναφορών ελέγχου ραδιοπόρων, των καναλιών μετάδοσης και των bit rates τους ανάλογα με την ένταση της κίνησης.
  - Channel specific packet scheduling, είναι υπεύθυνος για τον διαμοιρασμό των ράδιο-πόρων σε χρήστες που είναι συνδεδεμένοι ταυτόχρονα.

# Packet Scheduling

- ◆ The Packet Scheduling controls the UMTS packet access and is located in the RNC. The functions of the PS are:
  - To determine the available radio interface resources for Non Real Time radio bearers.
  - To share the available radio interface resources between Non Real Time radio bearers.
  - To monitor the allocation for Non Real Time.
  - To initiate transport channel type switching between common and dedicated channels when necessary.
  - To monitor the system loading.
  - To perform LC actions for Non Real Time radio bearers when necessary.
- ◆ AC and PS both participate in the handling of Non Real Time radio bearers
  - AC takes care of admission and release of radio access bearers (RABs).
    - Radio resources are not reserved for the whole duration of the connection but only when there is actual data to transmit.
  - PS allocates appropriate radio resources for the duration of a packet call, i.e., active data transmission.
- ◆ PS is done on a cell-basis
  - Since asymmetric traffic is supported and the load may vary a lot between UL and DL, capacity is allocated separately for both directions.

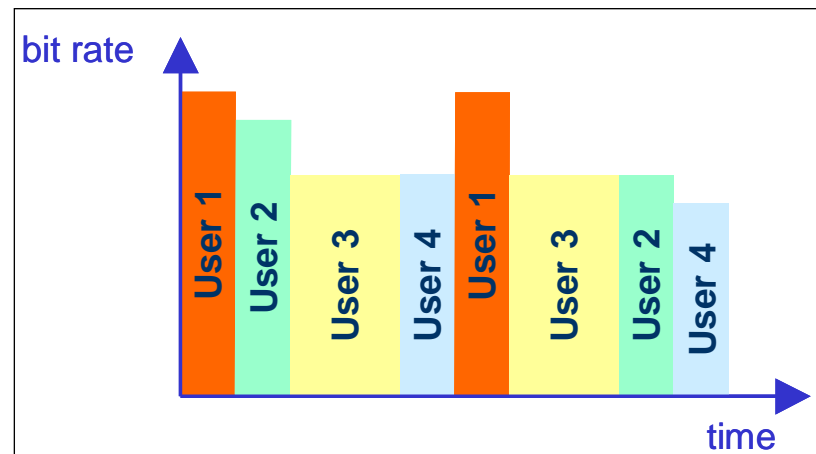
# Packet Scheduling

- ◆ The cell's radio resources are shared between RT and NRT radio bearers.
  - The proportion of RT and NRT traffic fluctuates rapidly.
  - A characteristic of the load caused by RT traffic is that it cannot be efficiently controlled.
    - The load caused by RT traffic, interference from other cell users and noise, is called Non-controllable load.
  - The remaining free capacity from the Planned Target Load can be used for NRT radio bearers on a best-effort basis.
    - The load caused by best-effort NRT traffic is called the Controllable load.



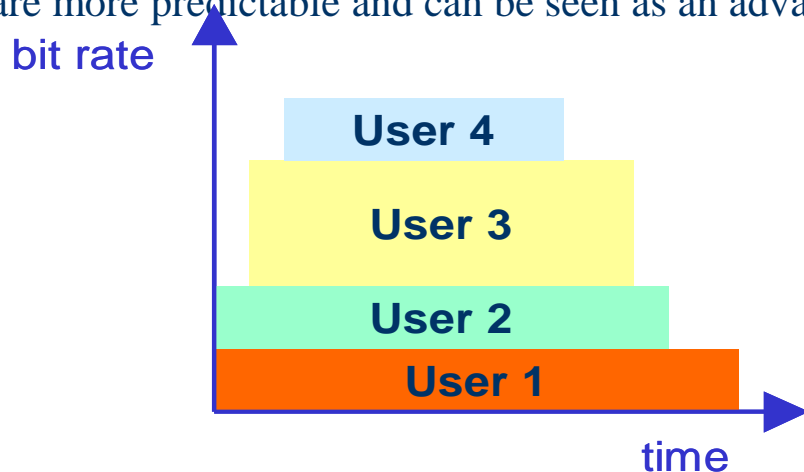
# PS - Time Division Scheduling

- ◆ The available capacity is allocated to one or very few radio bearers at a time.
- ◆ The allocated bit rate can be very high and the time needed to transfer the data in the buffer is short.
- ◆ The allocation time can be limited by setting the maximum allocation time, which prevents one high bit rate user from blocking others.
- ◆ Scheduling delay depends on load, so that the waiting time before a user can transmit data is longer when the number of users is higher.
- ◆ Time division scheduling is typically used for DSCH where the scheduling of PDSCH can happen on a resolution of one 10ms radio frame, but it can also utilised for DCH scheduling.



# PS - Code Division Scheduling

- ◆ The available capacity is shared between large numbers of radio bearers, allocating low bit rate simultaneously for each user.
- ◆ In code-division scheduling all users are allocated a channel when they need it. Allocated bit rates depend on load, so that the bit rates are lower when the number of users is higher.
- ◆ Establishment and release delays cause smaller losses in capacity due to the lower bit rates and long time transmissions.
- ◆ Due to the lower bit rate, allocation of resources takes longer in code division scheduling than in time division scheduling.
  - air interface interferences levels are more predictable and can be seen as an advantage for code division scheduling.



# PS - Transmission Power-based Scheduling

The allocated packet data rate could be based on the required transmission power of the connection

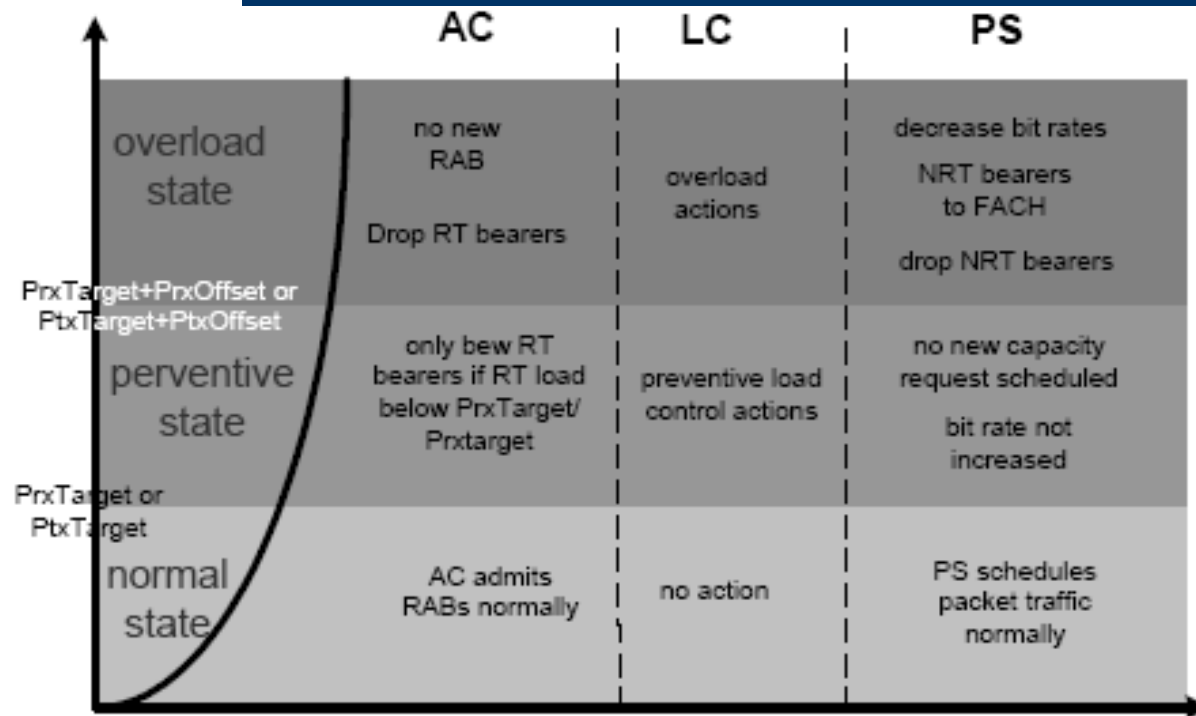
- Higher bit rates for a user requiring less transmission power per transmitted bit. Minimization of :
  - the average required transmission power per bit,
  - the transmitted interference generated in the network,
  - increase of the average cell throughput compared to equal bit rate scheduling.
- ◆ Transmission power based scheduling gives more gain in the average throughput in DL than in UL compared to equal bit rate scheduling.
  - In the UL, typically at least 50% of the interference originates from the users within the same cell, and that interference does not depend on the transmission power but only on the received powers.
  - In the DL the transmission power-based scheduling can clearly increase the average DL throughput.



# PS - Packet Scheduling with QoS Differentiation and Round Robin

- ◆ Packet Scheduling with QoS Differentiation
  - This algorithm is based on the differentiation of users in terms of QoS
    - the network operators will be able to offer different services to the users.
  - The knowledge of the Carrier over Interference (C/I) can increase the CDMA capacity by transmitting mostly when channel conditions are favourable
    - By giving certain users and services high priority, the capacity of the system is increased at the expense of degraded QoS for the rest of the users.
  
- ◆ Round Robin
  - Users get an equal share of the radio resources and the QoS will be fairer distributed among them.
  - In order to get the QoS 100% fairly distributed among users, the users in degraded conditions should get a larger share of the resources than users in good conditions.
  - This is the inverse C/I scheduling. By taking the radio conditions into account one can modify the PS, so that it goes from being C/I-based to inverse C/I-based.

# Interworking actions of AC, PS, and LC



- ◆ In uplink.
  - **PrxTarget**, the optimal average *PrxTotal*
  - **PrxOffset**, the maximum margin by which *PrxTarget* can be exceeded.
- ◆ In downlink.
  - **PtxTarget**, the optimal average for *PtxTotal*.
  - **PtxOffset**, the maximum margin by which *PtxTarget* can be exceeded.

# Resource Management (RM)

- ◆ Purpose: to allocate physical radio resources when requested by the RRC layer.
- ◆ Knows radio network configuration and state data.
- ◆ Sees only logical radio resources.
  - Allocation is a reservation of proportion of the available radio resources according to the channel request from RRC layer for each radio connection.
- ◆ Input comes from AC/PS.
- ◆ RM informs PS about network conditions.
- ◆ Allocates scrambling codes in UL.
- ◆ Allocates the spreading codes in downlink direction.
  - Able to switch codes and code types
    - During soft handover.
    - Defragmentation of code tree.

# Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών 4G

- ◆ Βασικότερο χαρακτηριστικό είναι η **ενοποίηση** τερματικών, δικτύων και εφαρμογών.
- ◆ Βασίζεται σε IP πρωτόκολλο, μηχανισμός ενοποίησης, και παρέχει ασύρματο Internet.
- ◆ Δύο βασικές συνιστώσες τεχνολογιών 4G
  - Ράδιο-τεχνολογίες 4G ή τεχνολογίες μετάδοσης σήματος
  - Υπηρεσίες 4G: εφαρμογές που παρέχονται στον τελικό χρήστη.
- ◆ Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των 4G δικτύων περιλαμβάνουν
  - ALL – IP based αρχιτεκτονικές
  - Υψηλότερο bandwidth
  - Υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών
  - Αδιάλειπτες υπηρεσίες

# Radio Resource Management στα 4G δίκτυα

- ◆ Στόχος: ισχυρότερη ενοποίηση των δικτύων πρόσβασης για αποδοτικότερη διαχείριση των πόρων
- ◆ Απαραίτητες λειτουργίες
  - Κινητικότητα του τερματικού, δυνατότητα roaming μεταξύ ασύρματων δικτύων
    - Διαχείριση θέσης,
      - ◆ το σύστημα ανιχνεύει και εντοπίζει μια τερματική συσκευή για πιθανή διασύνδεση
      - ◆ Διαχείριση όλων των πληροφοριών των τερματικών που εκτελούν roaming
        - Αρχική και νέα κυψέλη του τερματικού
        - Πληροφορίες ταυτοποίησης
        - Δυνατότητες QoS
    - Διαχείριση handoff
      - ◆ Διατήρηση της επικοινωνίας κατά τη διενέργεια handoff, πρότυπο IPV6
        - Προβλήματα: αύξηση στη φόρτιση του δικτύου, καθυστερήσεις στο handover, απώλειες πακέτων δεδομένων
  - Υποδομή δικτύου και QoS
    - Η 3GPP ερευνά για πιο κοινόχρηστους τύπους και αρχιτεκτονικές QoS
  - Ασφάλεια και εμπιστευτικότητα
    - Ετερογενή δίκτυα με ξεχωριστές απαιτήσεις, ευελιξία
  - Ανοχή σφαλμάτων

# Επιλεγμένη Βιβλιογραφία

- ◆ Kandaraj Piamrat, César Viho, Adlen Ksentini, Jean-Marie Bonnin, Resource Management in Mobile Heterogeneous Networks: State of the Art and Challenges
- ◆ Muhammad Abdur Rahman Haider, Abu Bakar Bhatti, Ammar Ahmad Kirmani, “Radio Resource Management In 3G UMTS Networks,” Available at:  
<http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/8a05fd15257c7e58c1256608004f0536/ebf45bb43eee6e3fc12573d70063cb34!OpenDocument>
- ◆ Ayaz Ahmed Shaikh, Dr. B. S. Chowdhry, Dr. A. K. Baloch and Dr. A. H. Pathan, “Radio Resource Management Strategies in 3G UMTS Network” 2004.
- ◆ Sofoklis A. Kyriazakos, George T. Karetzos, Practical Radio Resource Management in Wireless Systems, 2004 Artech House, INC
- ◆ Savo G. Glisic, Advanced Wireless Networks, 4G Technologies, John Wiley & Sons Inc