

# Οριακή Χωρητικότητα κυψέλης WCDMA UL

Κυψέλη CDMA, όλοι με την ίδια υπηρεσία (π.χ. φωνή 12,2kbps)

$P_s$  η ισχύς που λαμβάνεται στον ΣΒ από ένα ΚΣ

$$\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] = \frac{P_s}{R} = \frac{W}{R} \cdot \frac{P_s}{N}$$

Με ιδανικό έλεγχο ισχύος:  $N = N_0 W + I_0 = N_0 W + (k-1) P_s$

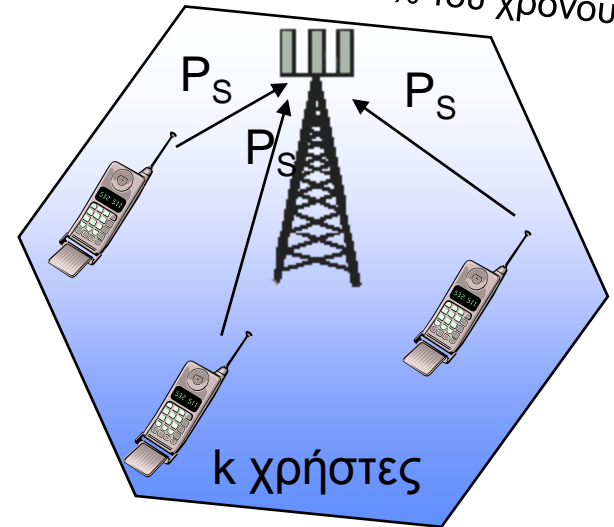
$$\frac{P_s}{N} = \frac{P_s}{N_0 \cdot W + (k-1) \cdot P_s} \text{ και άρα}$$

$$P_s = \frac{N_0 W}{\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - (k-1)}$$

συνεπώς όταν  $P_s \rightarrow \infty$

$$k_{pole} = \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]_{target} + 1$$

Πανκατευθυντική κυψέλη  
Χωρίς γειτονικές κυψέλες  
Όλοι λαμβάνονται με την ίδια ισχύ  
Εκπέμπουν στο 100% του χρόνου

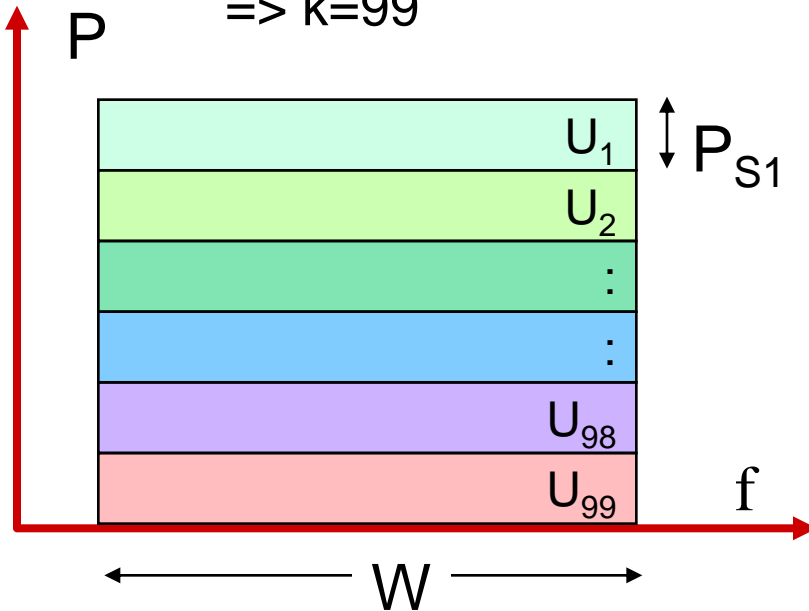


$$k=f(R)$$

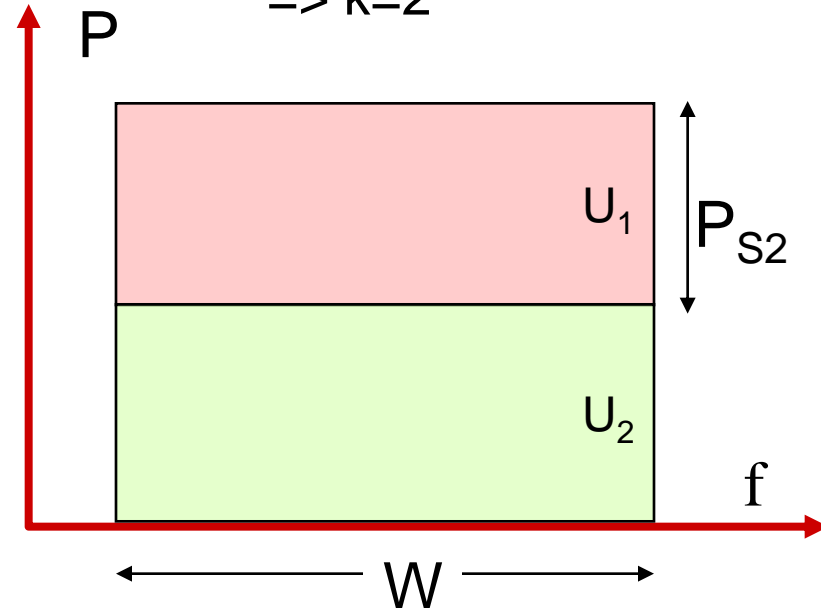
$$k_{pole} = \frac{W/R}{\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]_{target}} + 1$$

με  $W=3.84$  Mcps και  
 $E_b/N_0=5$  dB ή 3,16

$R=12,2$  kbps  
 $W/R=314$   
 $\Rightarrow k=99$



$R=960$  kbps  
 $W/R=4$   
 $\Rightarrow k=2$

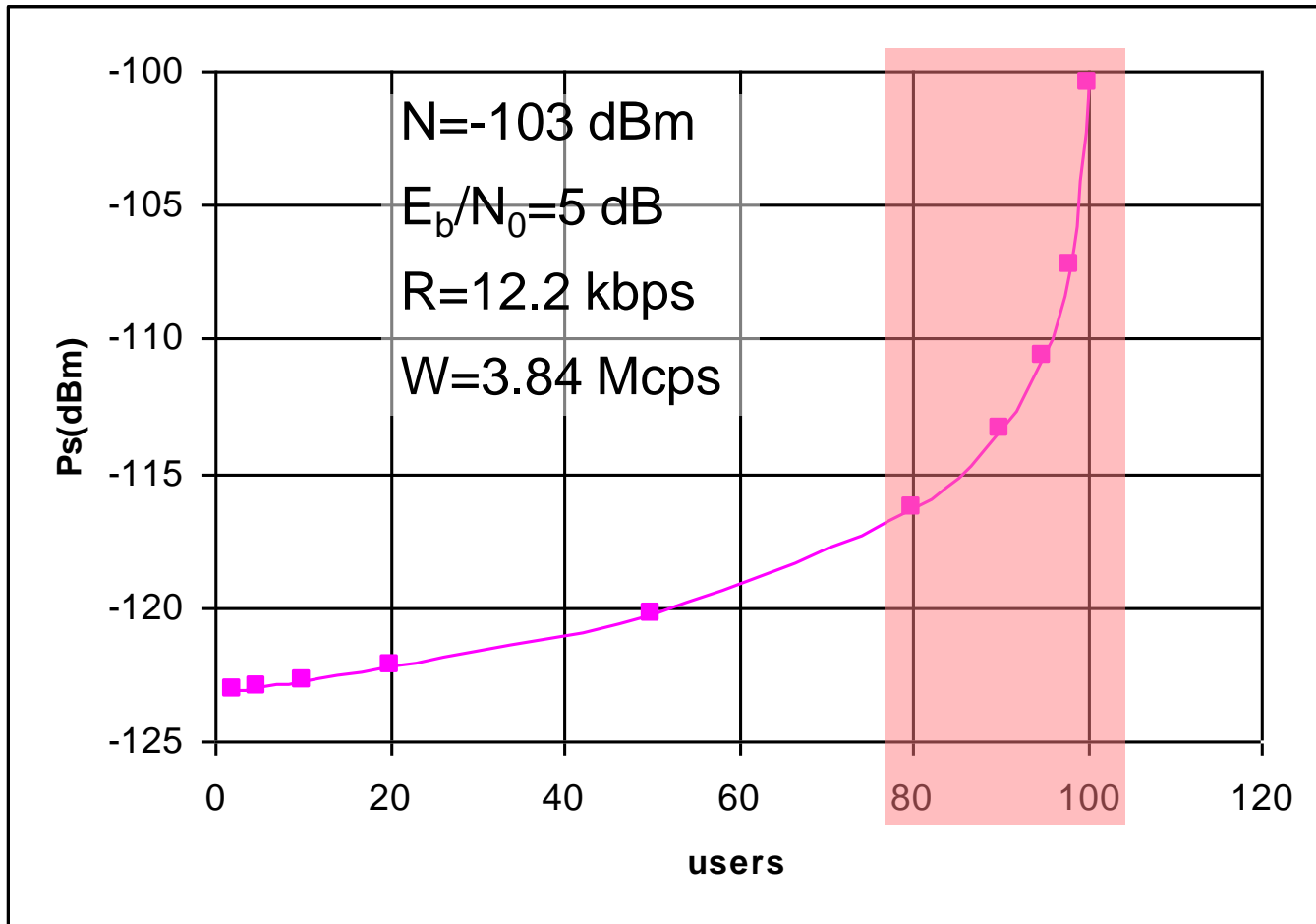


$$\left( \frac{C}{N} \right)_{U_1} = \frac{1}{k-1} = -20dB$$

$$P_{S2} > P_{S1}$$

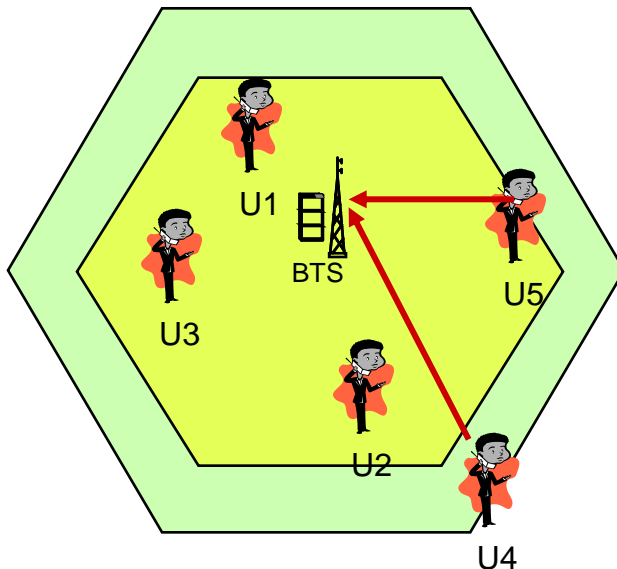
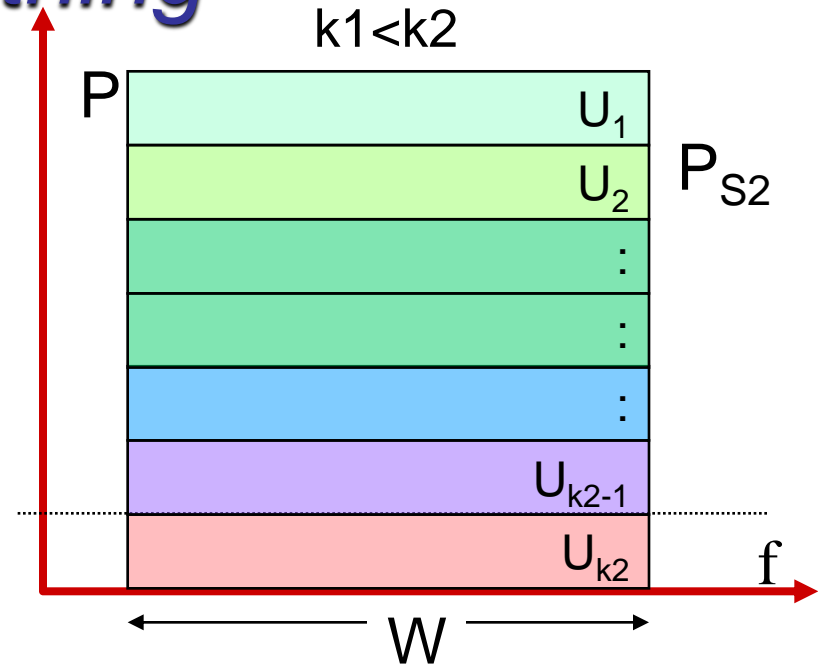
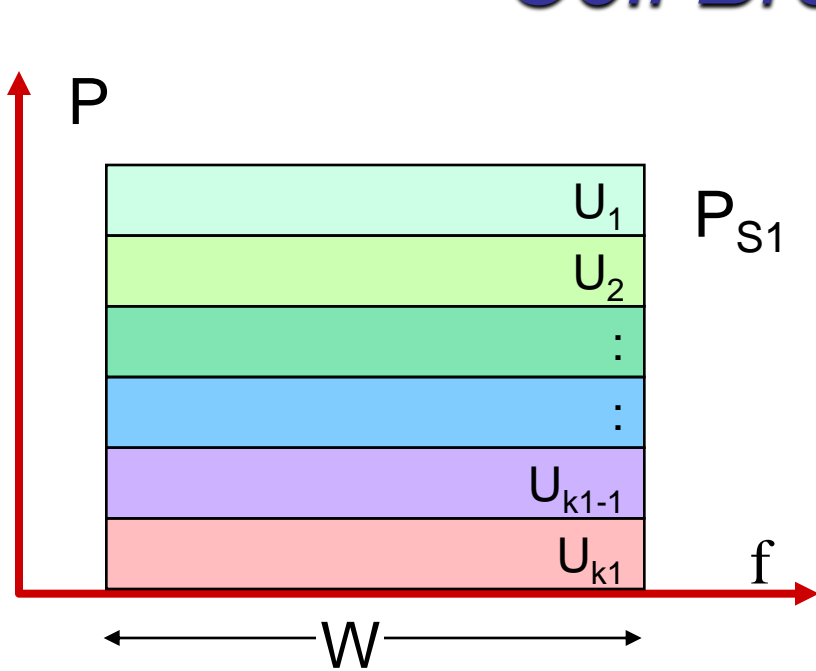
$$P_s = f(k)$$

$$P_s = \frac{N_0 \cdot W}{\frac{W}{R} \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - (k - 1)}$$



Στάθμη λήψης (ενός χρήστη στον BS) συναρτήσει του # χρηστών στη κυψέλη

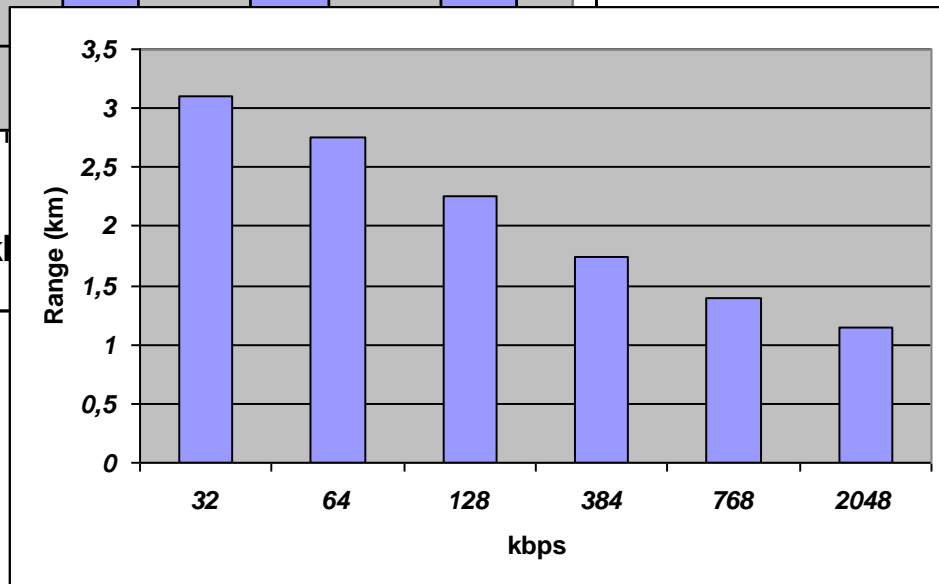
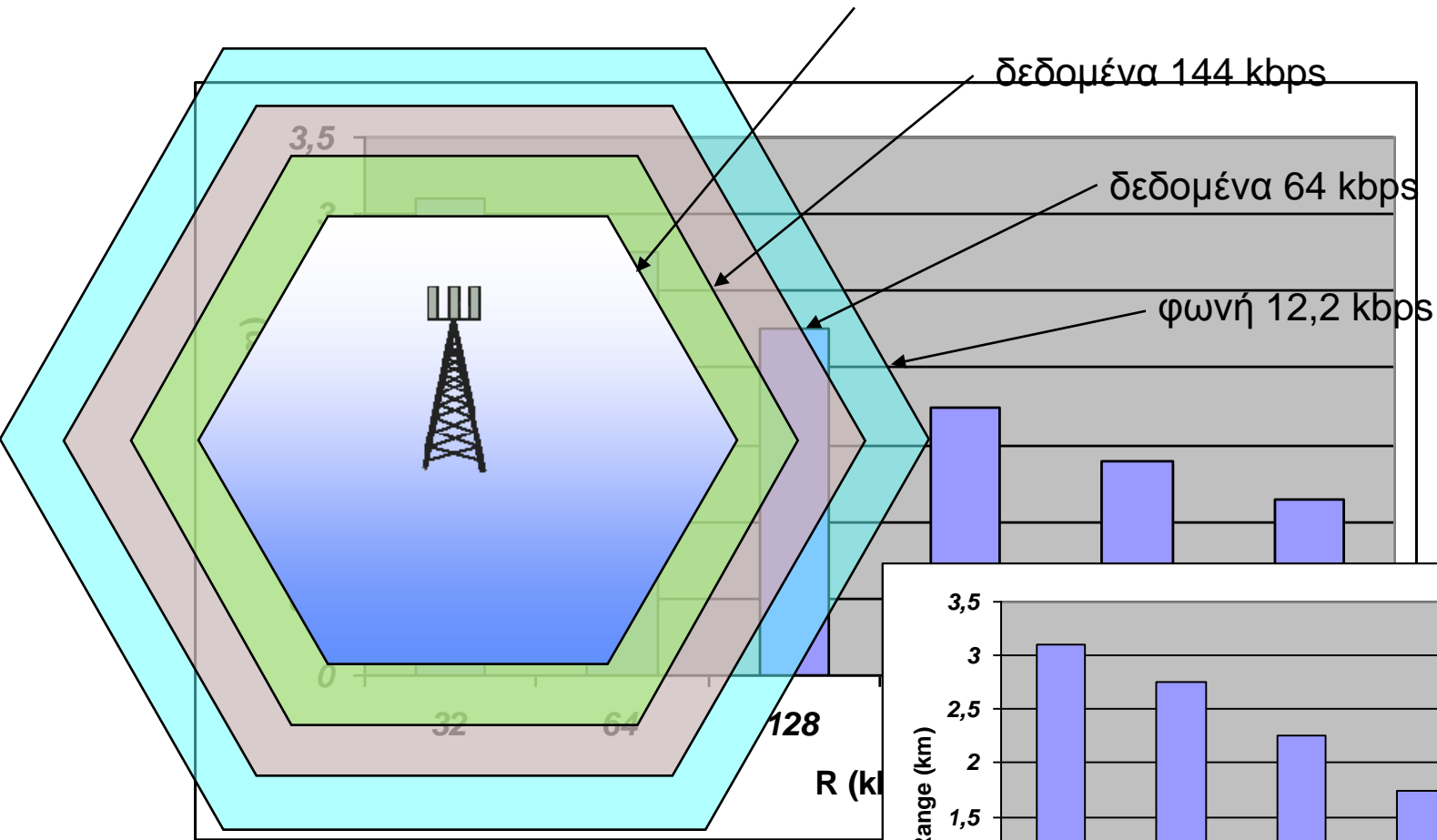
# Cell Breathing



$$P_s = \frac{N_o \cdot W}{\left[ \frac{E_b}{N_o + I_o} \right] \cdot R - (k - 1)}$$

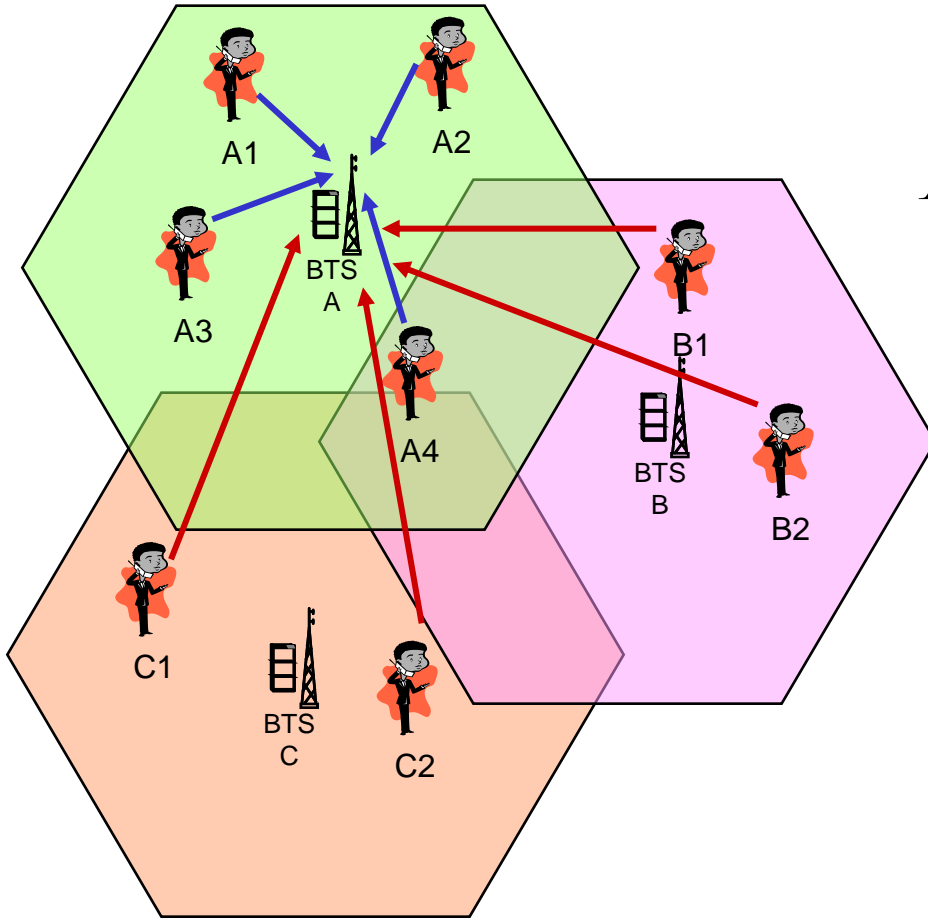
$$r_{max} = f(R)$$

δεδομένα 384 kbps => Περισσότερες κυψέλες



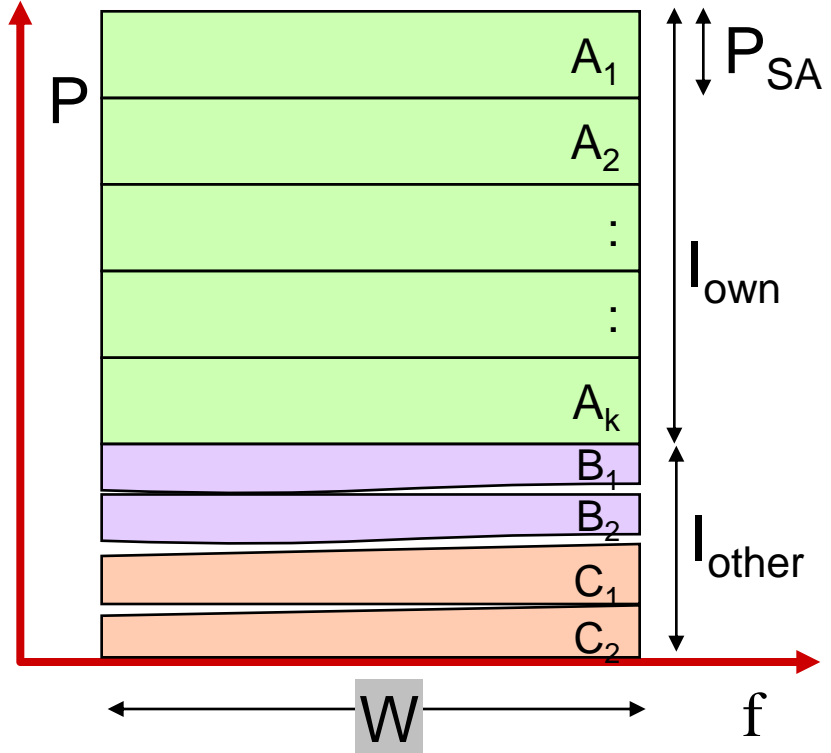
$$P_s = \frac{N_0 \cdot W}{\frac{W}{R} \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]^{k-1}}$$

# Φόρτιση Συστήματος $F$ (Cell Loading)



$$F(\%) = \frac{I_{own} + I_{other}}{I_{own}} \geq 1$$

$$P_s = \frac{N_0 W}{W / R - F \cdot (k - 1) \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]}$$

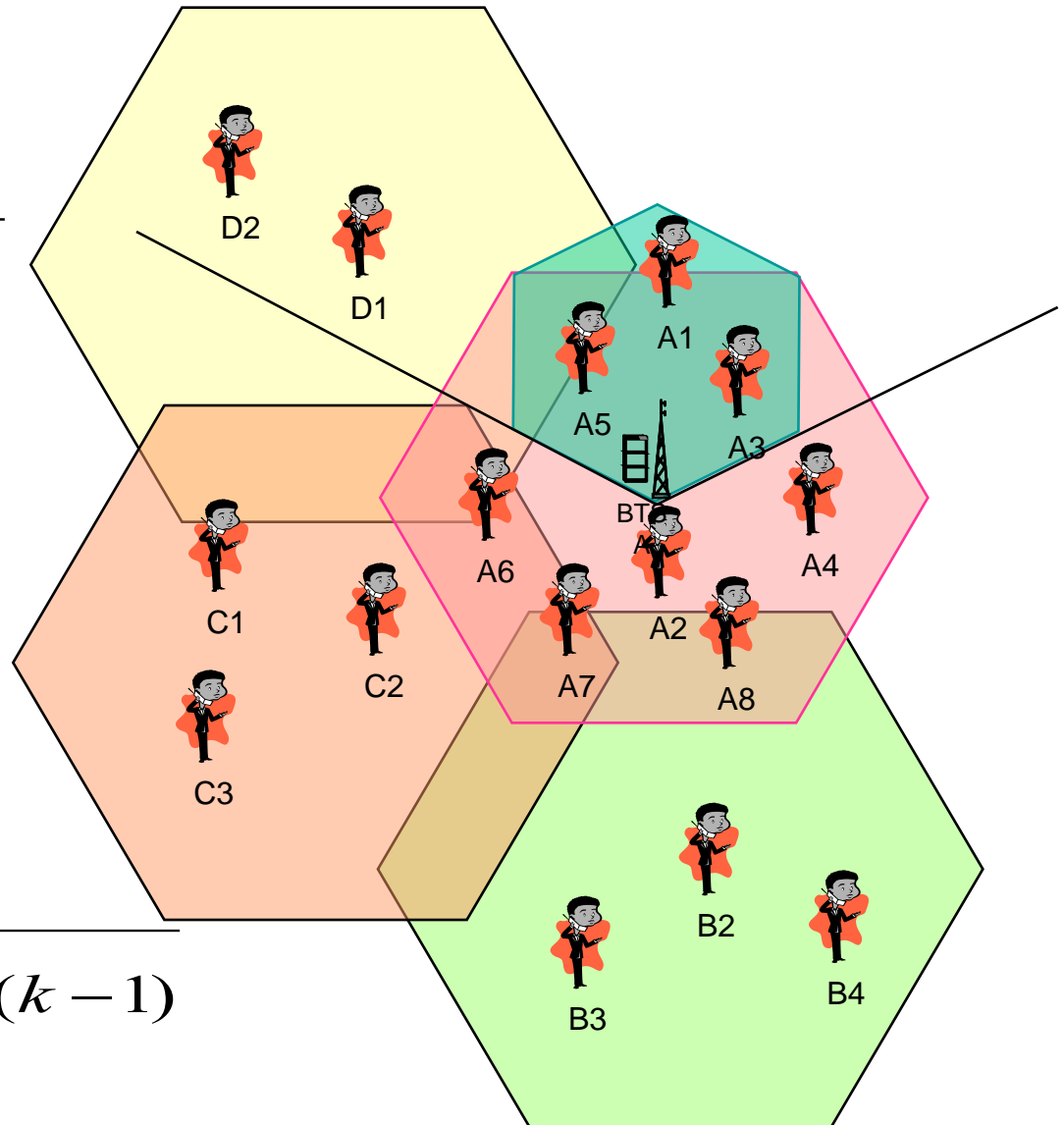


# Κέρδος Τομεοποίησης $G_S$

Sectoring Gain

$$G_S = \frac{\int_0^{2\pi} I(\theta) \cdot d\theta}{\int_0^{2\pi} \left( \frac{G(\theta)}{G(0)} \right) \cdot I(\theta) \cdot d\theta}$$

$$P_S = \frac{N_0 W}{\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - \frac{F}{G_S} \cdot (k - 1)}$$



# Παράγων Ομιλίας $\nu$

## Voice Activity Factor

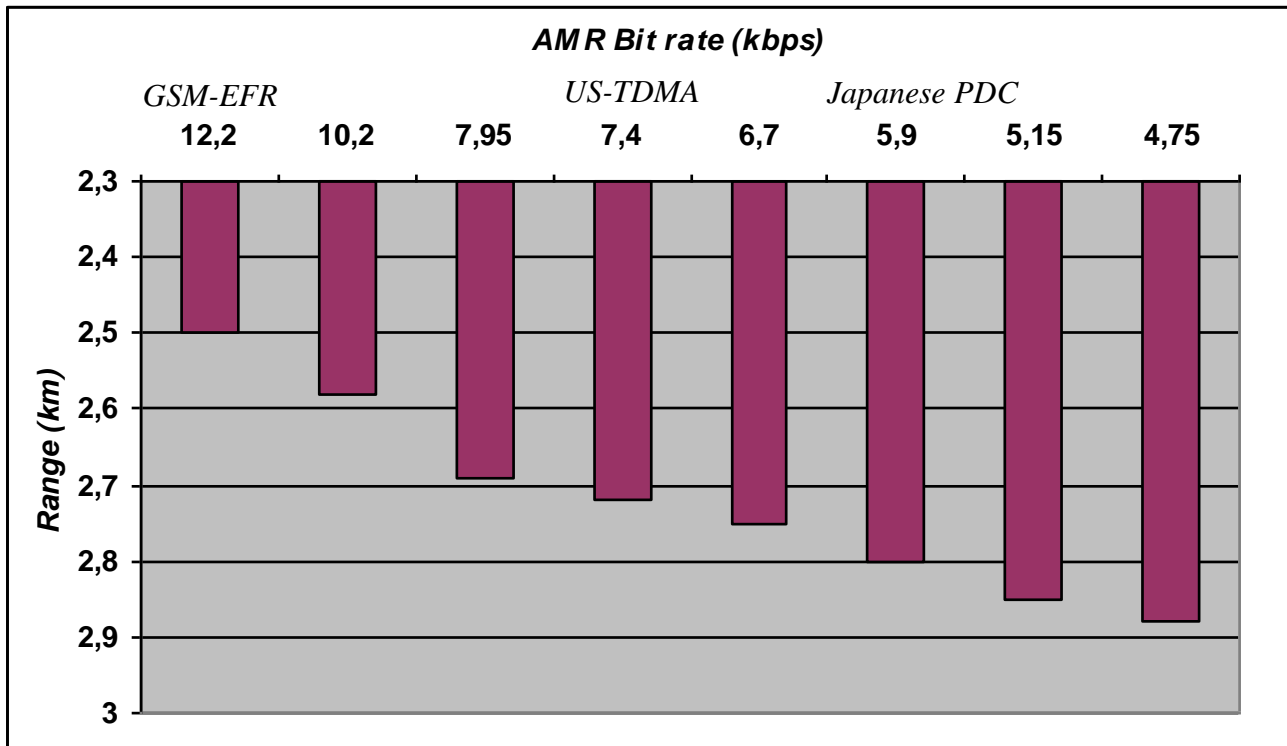
Οι συνδρομητές δεν συνομιλούν στο 100% του χρόνου σύνδεσης.  
Στατιστικά ομιλούν στο 40-50% του χρόνου σύνδεσης.  
Το ποσοστό αυτό είναι ο παράγων ομιλίας  $\nu$  (voice activity factor).

$$P_S = \frac{N_0 W}{\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] \frac{W}{R} - \frac{F}{G_S} \cdot \nu \cdot (k - 1)}$$

- Κωδικοποιητές μεταβλητού ρυθμού
- Ασυνεχής μετάδοση



# Π.χ.:Κωδικοποιητής AMR



Αν η εμβέλεια είναι 2,5 km για 12,2 kbps

$$Coverage\_gain = 10 \cdot \log \left( \frac{12,2 + 12,2 \cdot 10^{\frac{-3dB}{10}}}{AMR\_bit\_rate[kbps] + 12,2 \cdot 10^{\frac{-3dB}{10}}} \right)$$

# Χωρητικότητα WCDMA-UL

$$P_s = \frac{N_0 W}{\frac{W}{R} \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - \nu \cdot (k-1)}$$

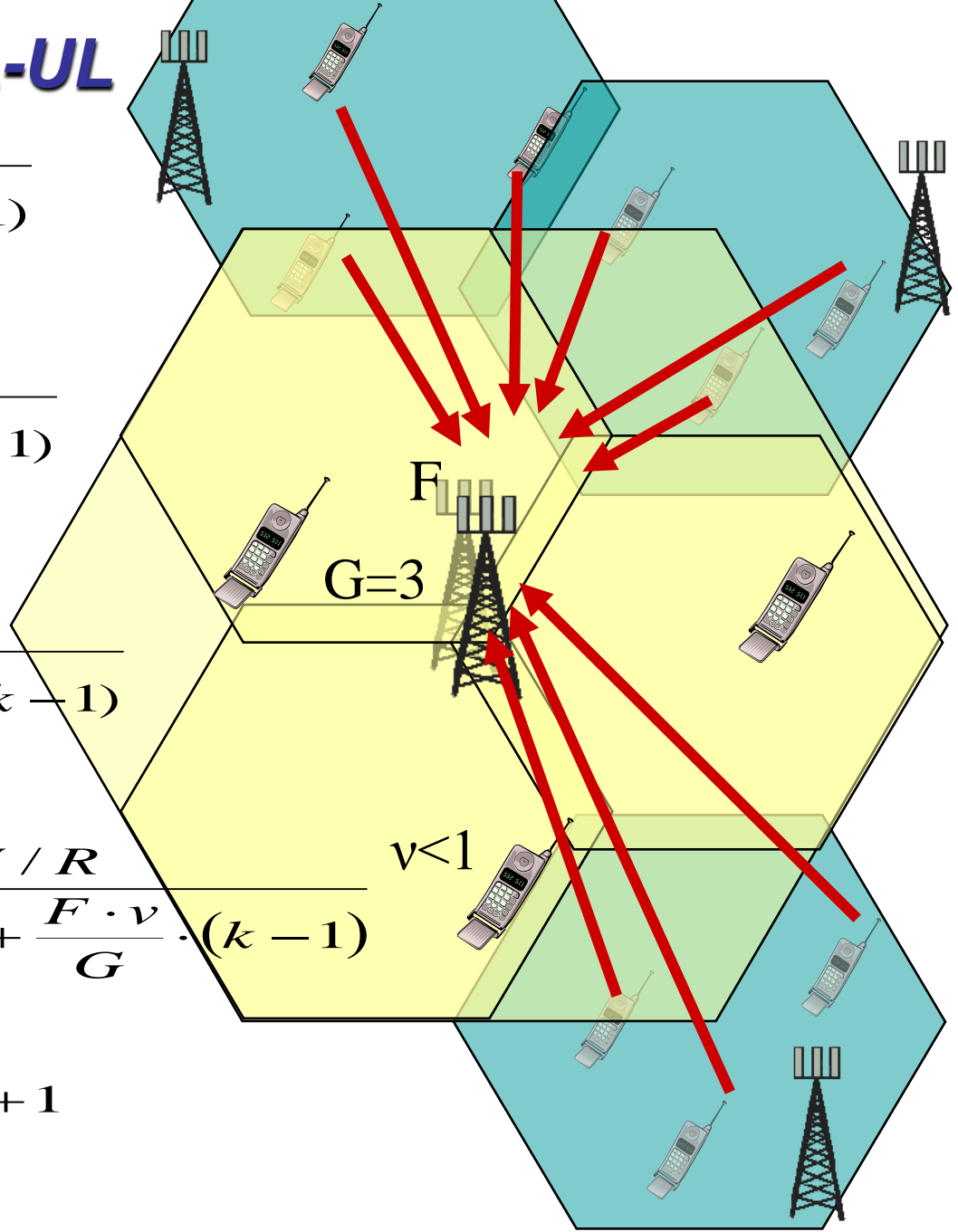
$$P_s = \frac{N_0 W}{\frac{W}{R} \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - \frac{\nu}{G} \cdot (k-1)}$$

$$P_s = \frac{N_0 W}{\frac{W}{R} \left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] - \frac{F \cdot \nu}{G} \cdot (k-1)}$$

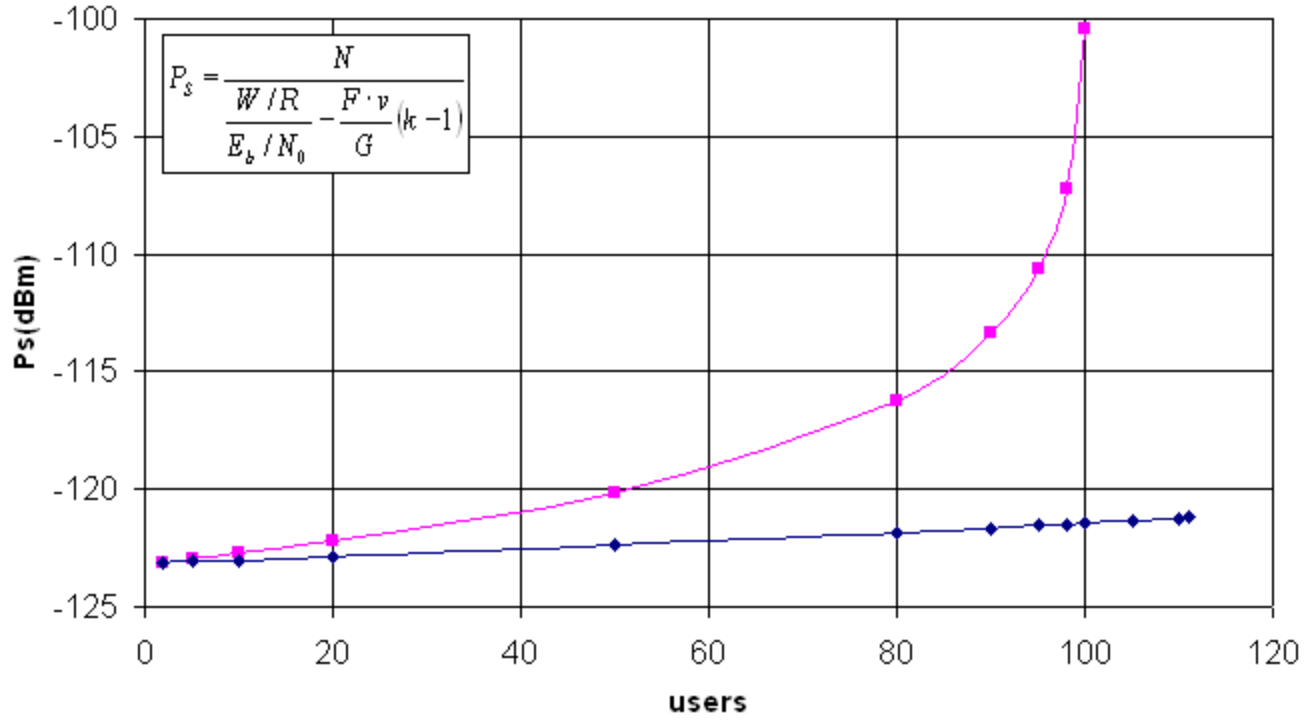
$$\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] = \frac{W/R}{(N_0 W / P_s) + \frac{F \cdot \nu}{G} \cdot (k-1)}$$

άρα όταν  $P_s \rightarrow \infty$

$$k_{pole} = \frac{W/R}{\left[ \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right] \cdot \frac{F \cdot \nu}{G}} + 1$$



UPLINK POLE CAPACITY										k <sub>pole</sub> = 307,3 users	
Base Tx											
10 W=		10	dBW		W	3.840.000					
		40	dBm		R	12.200					
Base Rx											
Thermal Noise Density= -174 dBm/Hz					Eb/No	3,16	5 dB				
Noise Figure= 5 dB					F	1,5					
Receiver noise density= -169 dBm/Hz					v	0,65					
Receiver noise power= -103 dBm					G	3					
					N	4,8E-11					



The theoretical maximum capacity in a WCDMA network is called the pole capacity. Calculating the pole capacity is difficult and requires making many assumptions. One attempt to calculate it is made in [2].

# Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System

Andrew M. Viterbi and Andrew J. Viterbi

IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS VOL. 49, NO. 10, OCTOBER 2001

1719

## A Simple Generalization of the CDMA Reverse Link Pole Capacity Formula

Pete Boyer, Milica Stojanovic, and John Proakis

**Abstract**  
the reverse  
employs p  
activity. It  
times that  
of other d

**Abstract**—A formula that computes the maximum number of users supported per base station in a cellular radio network is generalized to consider the frequency reuse number and arbitrary processing gains. The generalization quantifies a cost associated with in-cell interference by accounting for the lack of interference from the desired user on the total interference and by considering the impact of the frequency reuse number on the out-of-cell interference. This interference cost results in an increase in the received  $E_b/I_0$  relative to FDMA which should be weighted against a reduction in the  $E_b/I_0$  requirement resulting from using CDMA.

**Index Terms**—Discount, markup, template.

### I. INTRODUCTION

**T**HE EFFICIENT use of the RF spectrum serves as a fundamental design goal for cellular radio network engineers.

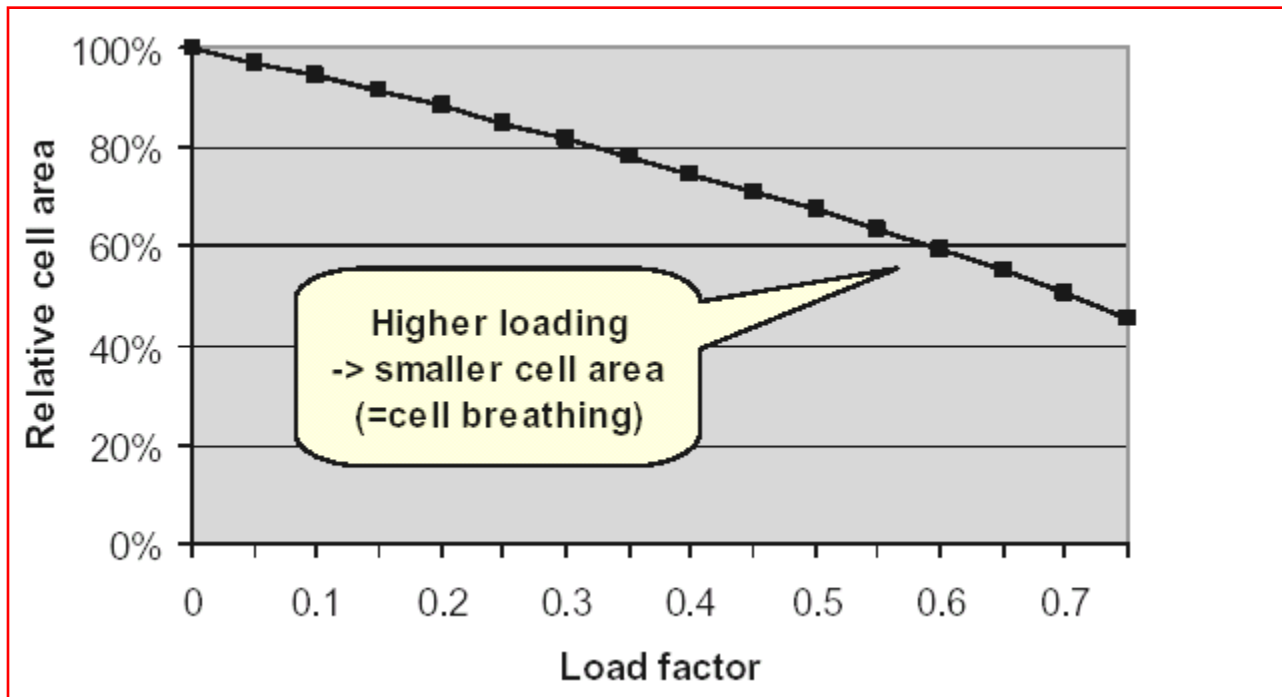
to a level where users cannot compensate for less than the desired quality of service (QoS) by increasing their transmitted power. Such a condition establishes a maximum on the number of users supported for a given QoS objective and in theory a pole exists in the transmit power required to meet the QoS. The formula solves for the number of users when all users at all base stations are exactly at the required  $E_b/(I_o + N_o)$  needed to meet a QoS objective such as a mean opinion score (MOS) or a frame error rate (FER). This is a pole condition since any additional user would create interference that could not be compensated for through increases in the transmitted power.

An assumption is commonly made in deriving various forms of this formula (e.g., [1]–[4]) that the number of interfering users in the serving cell creating in-cell interference (ICI) power is the same as the number of users in each of the other base sta-

# Σχέση Κάλυψης και Χωρητικότητας

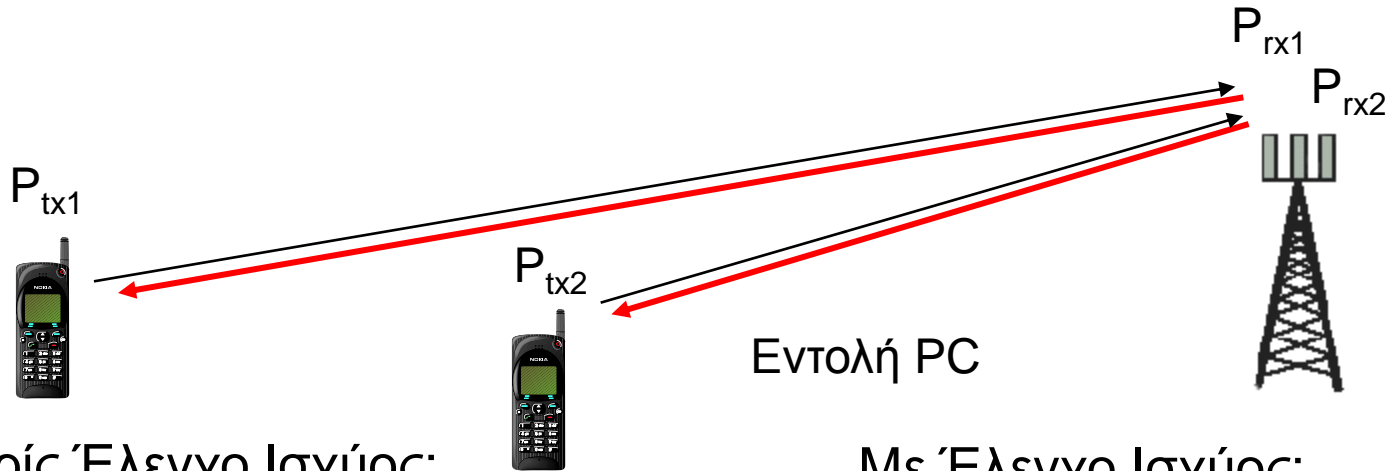
Η ραδιοκάλυψη και η χωρητικότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες στο CDMA

- Όταν αυξάνει το # χρηστών, αυξάνει και η στάθμη παρεμβολής και συνεπώς πρέπει να αυξηθεί η εκπεμπόμενη ισχύς για να διατηρηθεί η ποιότητα σταθερή. Επειδή η ισχύς εκπομπής είναι περιορισμένη αυτό ισοδυναμεί με μείωση της περιοχής ραδιοκάλυψης.
- *Cell Breathing*: η περιοχή κάλυψης μεταβάλλεται με το φορτίο της κυψέλης.
- Η κάλυψη και η χωρητικότητα πρέπει να σχεδιάζονται ταυτόχρονα .
- Ενεργός έλεγχος του *Cell Breathing* με διαχείριση των πόρων (RRM).



# Το πρόβλημα “Near-far”

## Έλεγχος Ισχύος

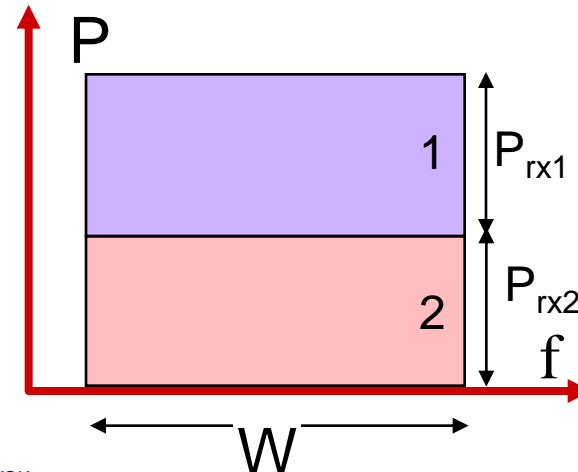
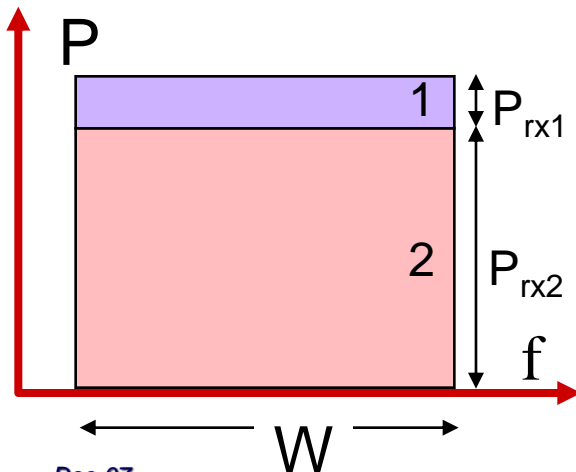


Χωρίς Έλεγχο Ισχύος:

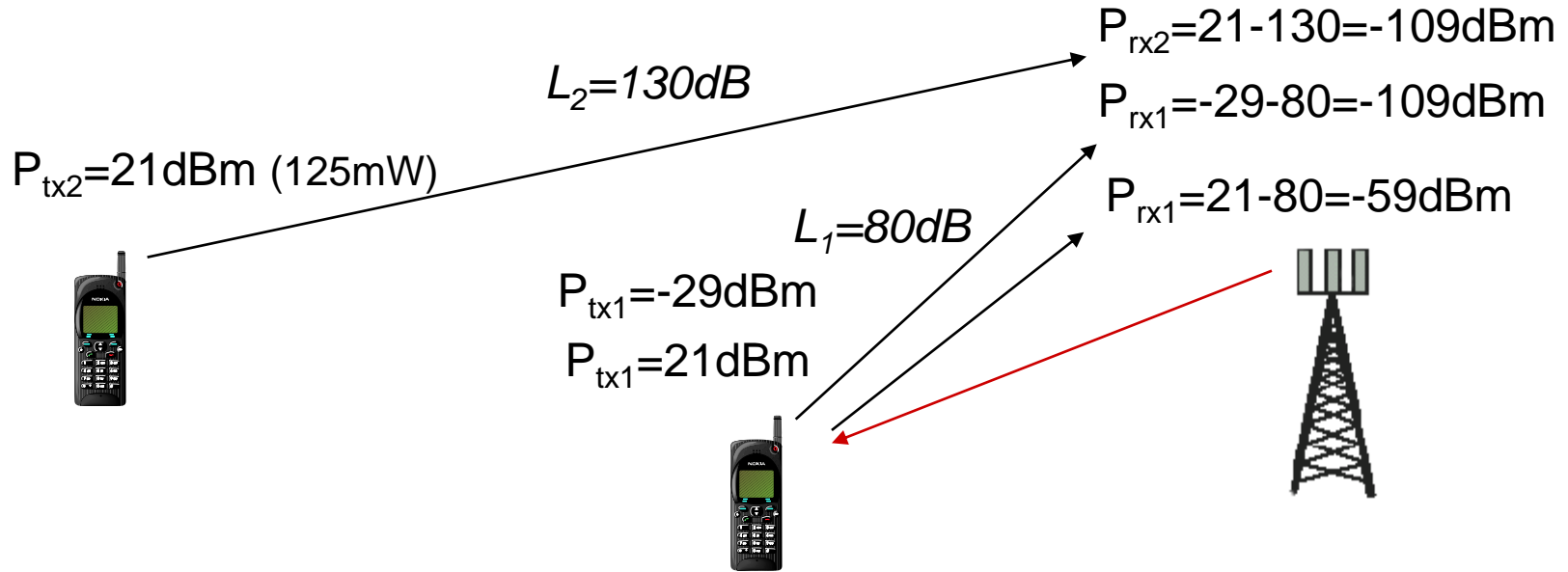
$$P_{tx1} = P_{tx2} \Rightarrow P_{rx1} < P_{rx2}$$

Με Έλεγχο Ισχύος:

$$P_{tx1} > P_{tx2} \Rightarrow P_{rx1} = P_{rx2}$$



# Παράδειγμα



# Είδη Ελέγχου Ισχύος

Υπάρχουν 3 διαφορετικοί έλεγχοι ισχύος:

- 1) Έλεγχος Ανοικτού Βρόγχου (Open loop PC)  
(για αρχική ρύθμιση ισχύος του MS)
- 2) Έλεγχος Κλειστού Βρόγχου (Closed loop PC or Fast PC)  
Εξισώνει τις στάθμες λήψης των ΚΣ στον ΣΒ (near-far)  
Μειώνει τις απαιτήσεις  $E_b/N_o$   
Εισάγει αιχμές στην εκπεμπόμενη ισχύ
- 3) Έλεγχος Εξωτερικού Βρόγχου (Outer loop PC)  
Βραδύτερη ρύθμιση, γίνεται στην διεπαφή Iub  
Ρυθμίζει το  $SIR_{target}$  για επιθυμητό FER/BER



# Έλεγχος Ανοικτού Βρόγχου UL

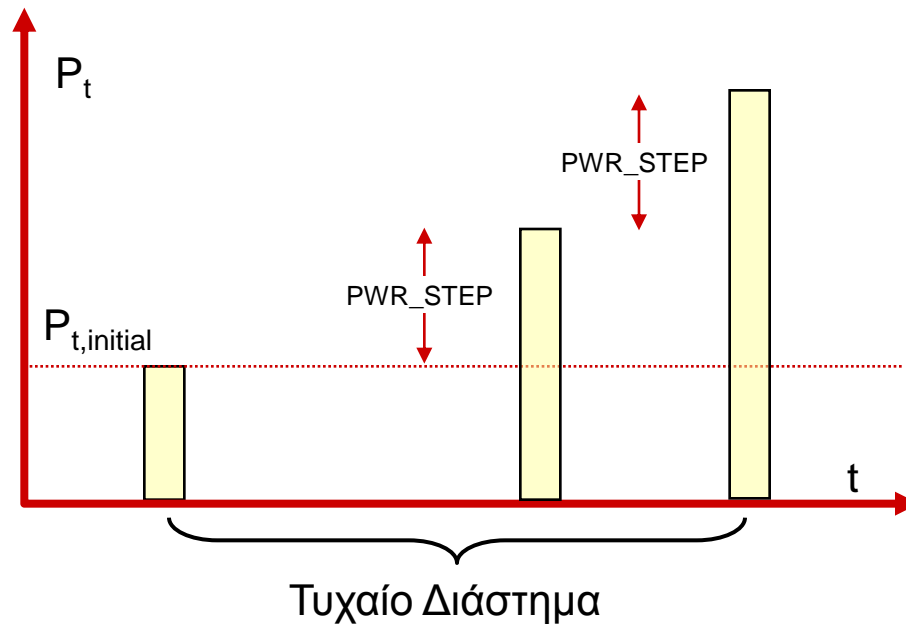
## Αρχική ρύθμιση ισχύος

Αρχική Ισχύς:

Μεγάλη => αυξημένη πιθανότητα σύνδεσης  
πρόβλημα near-far

Μικρή => μειωμένη πιθανότητα σύνδεσης  
μείωση παρεμβολών

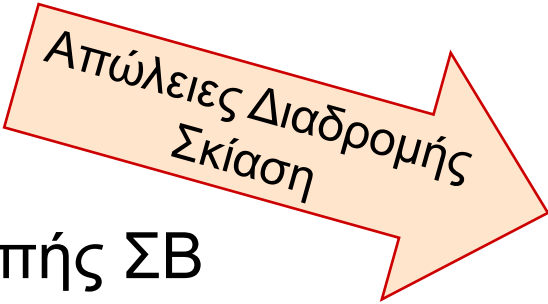
Access Probes  
or Preamble



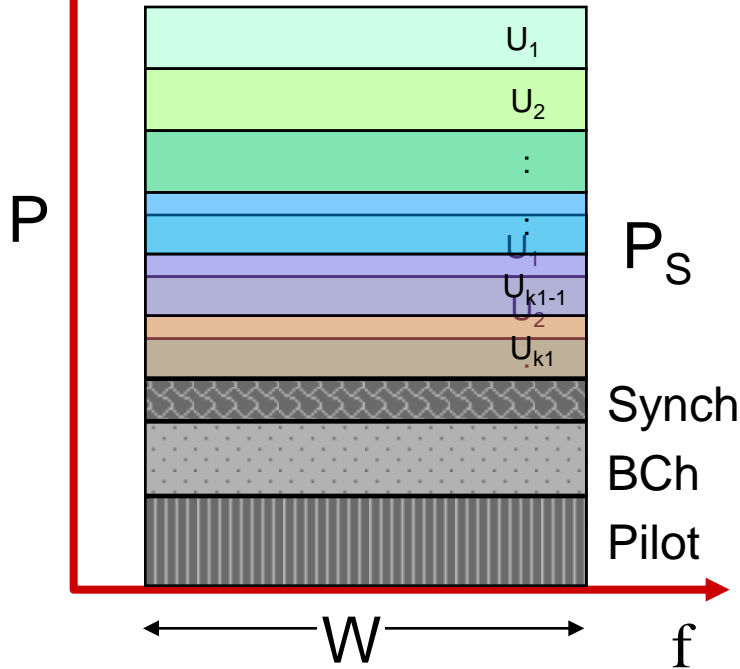
$$P_{t,initial} = P_{t,Pilot} \text{ (εκπέμπεται στο BCh)} - P_r(E_c/I_o) + I_{tot} \text{ στο BTS (εκπέμπεται στο BCh)} + \text{Απαιτούμενο SIR στο BTS (εκπέμπεται στο BCh)}$$

# Έλεγχος Ανοικτού Βρόγχου στο DL

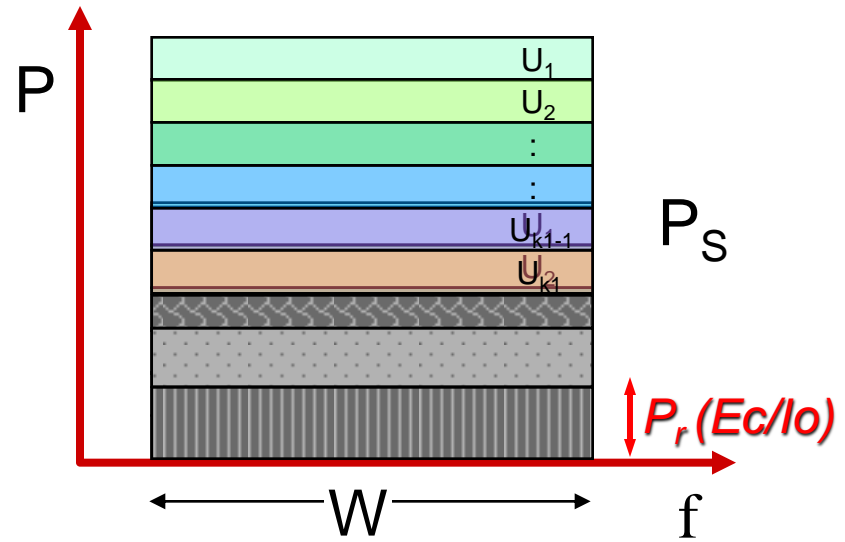
Αρχική ρύθμιση ισχύος



Σήμα εκπομπής ΣΒ



Σήμα στον ΚΣ



$$P_{t,initial} = P_{t,Pilot} \text{ (εκπέμπεται στο BCh)} - P_r(Ec/Io) + I_{tot} \text{ στο BTS (εκπέμπεται στο BCh)} + \text{Απαιτούμενο SIR στο BTS (εκπέμπεται στο BCh)}$$

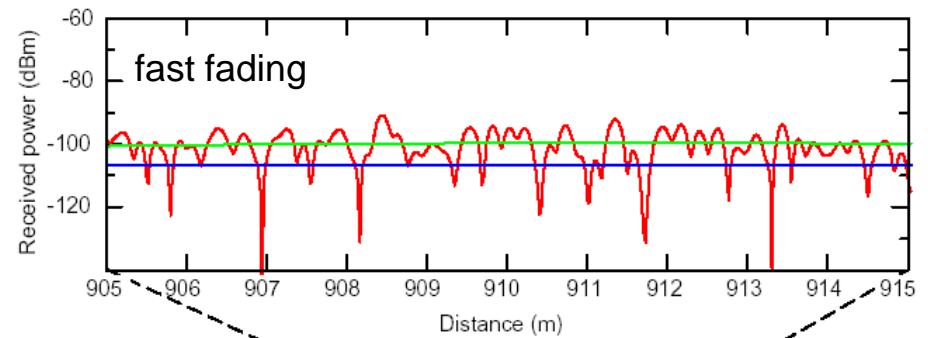
# Έλεγχος Κλειστού Βρόγχου

## Fast closed loop PC (TPC)

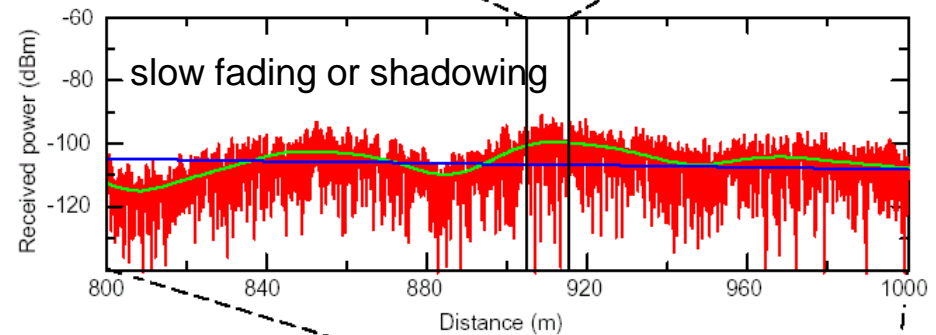
Αντισταθμίζει τις διαλείψεις πολυ-διόδευσης (fast fading) κατά την διάρκεια της σύνδεσης

Χρησιμοποιείται τόσο στο UL όσο και στο DL

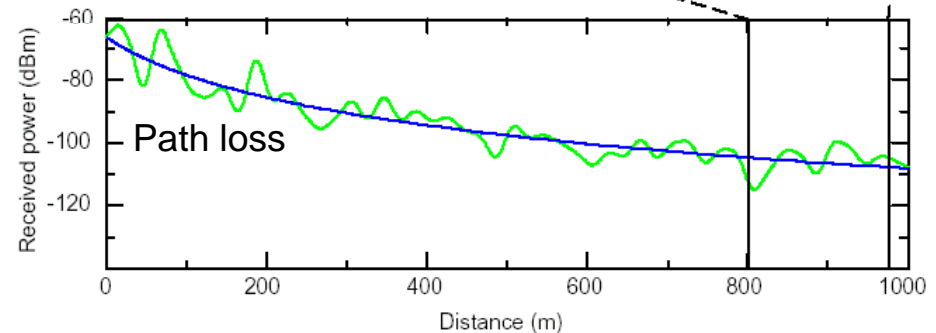
Θέτει μια (σταθερή) τιμή στόχου ποιότητας  $(SIR)_{target}$  στα MS / BS και επιδιώκει να την προσεγγίζει συνεχώς.



(a) Short term variation

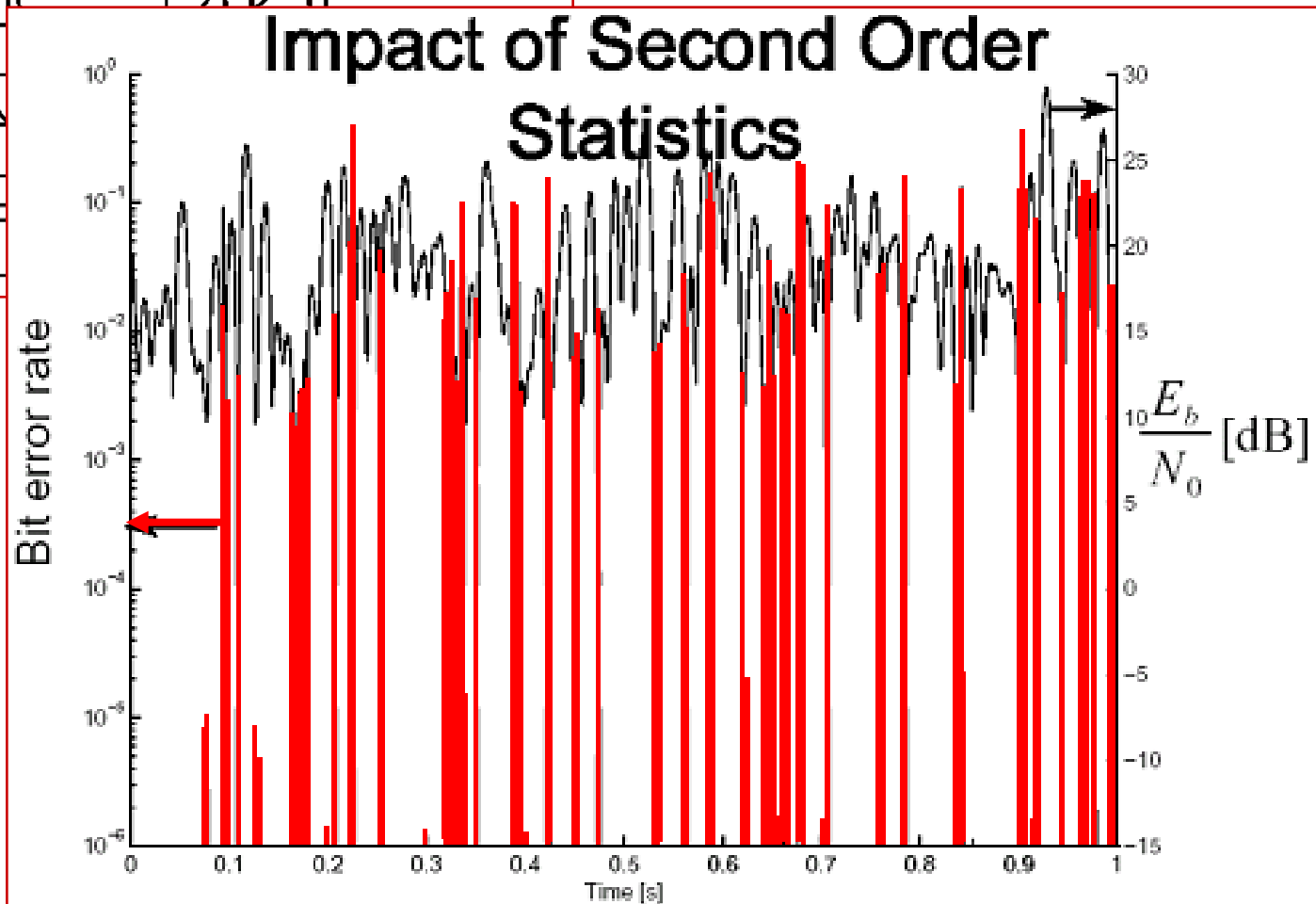
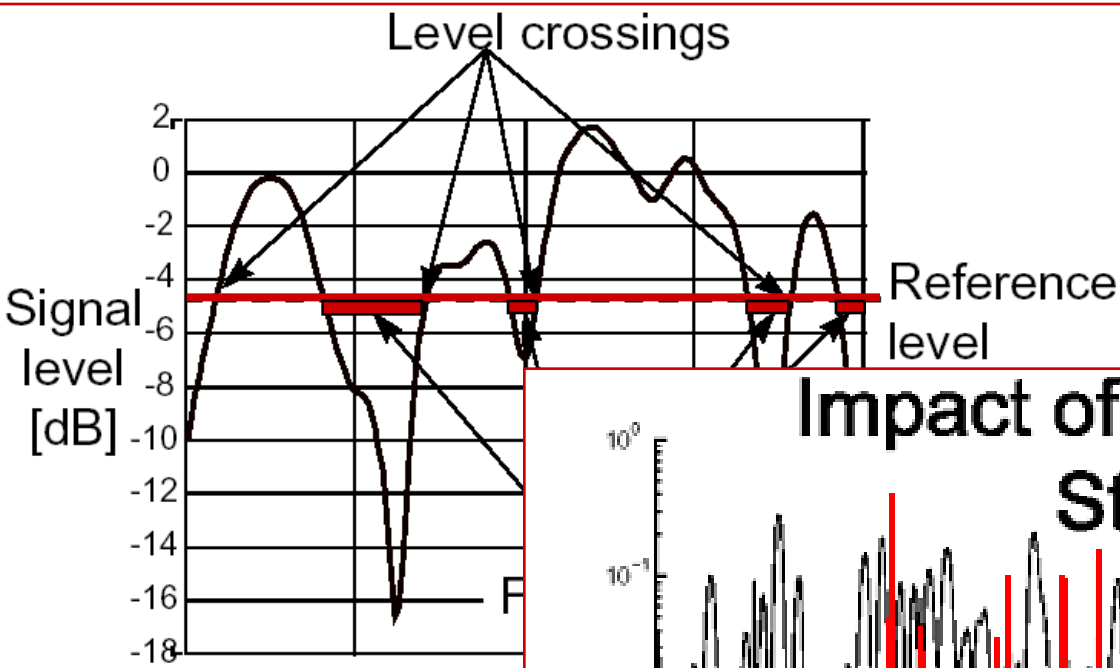


(b) Medium term variation



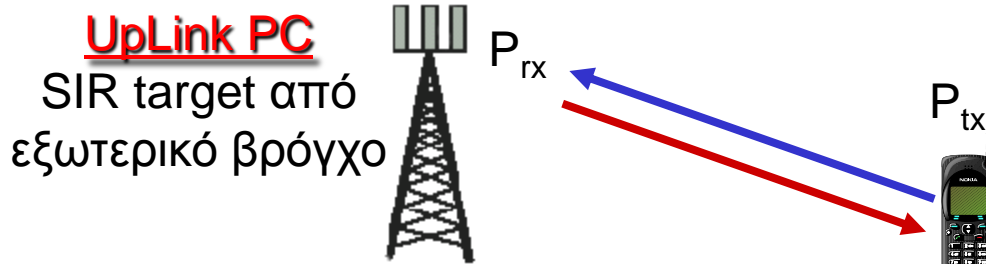
(c) Long term variation

# Στατιστικές παράμετροι 2<sub>ης</sub> τάξης

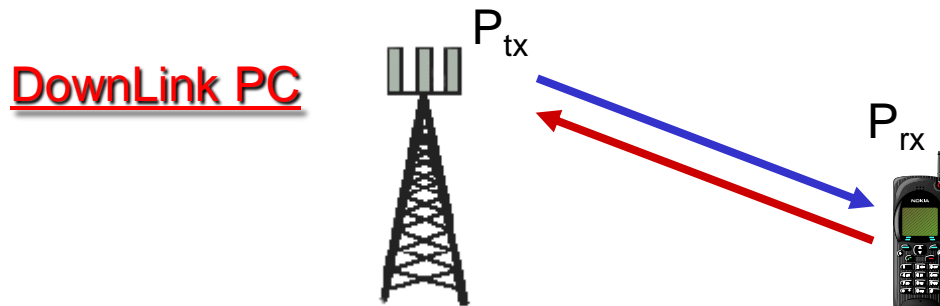


# Έλεγχος Κλειστού Βρόγχου

## Εσωτερικός Βρόγχος



Αν το SIR στο ΣΒ < από  $SIR_{target}$  τότε  
ο ΚΣ αυξάνει την  $P_{tx}$  αλλιώς την μειώνει



Αν το SIR στον ΚΣ < από  $SIR_{target}$  τότε  
ο ΣΒ αυξάνει την  $P_{tx}$  γι' αυτόν τον ΚΣ

Τα ακόλουθα βήματα γίνονται σε  
κάθε χρονοθυρίδα (*Time Slot*):

1. Το λαμβάνον άκρο της  
σύνδεσης συγκρίνει το SIR του  
λαμβανομένου σήματος με το  
επιθυμητό SIR (συνήθως 3-  
7dB ανάλογα με τις απαιτήσεις  
ποιότητας QoS και το R).
2. Bits ελέγχου ισχύος στέλνονται  
πίσω στο στέλλον άκρο της  
σύνδεσης υποδεικνύοντας είτε  
αύξηση είτε μείωση κατά ένα  
συγκεκριμένο ποσόν (1dB)
3. Η εκπεμπόμενη ισχύς  
μεταβάλλεται κατά το  
συγκεκριμένο ποσόν (στην  
επόμενη χρονοθυρίδα).

	Uplink	Dnlink
SF	Ch. bit rate (kbps)	Ch. bit rate (kbps)
512	-	15
256	15	30
...	...	...
16	240	480
8	480	960
4	960	1920

Με διαμόρφωση QPSK μεταδίδονται 2bits/chip  
3,84Mcps => 7,68Mbps  
και με SF=4 παίρνουμε  
1,92Mbps με ένα κανάλι.

$$38.400 \text{ chips/frame} \div 15 \text{ TS/frame} = 2.560 \text{ chips / TS}$$

Μια εντολή P.C/χρονοθυρίδα (PCBits).  
Ισχύει για την επόμενη χρονοθυρίδα.  
Ρυθμός = 1500 εντολές PC/sec



← 1 Πλαίσιο 10ms (38.400 chips) = 15 θυρίδες →

# Εσωτερικός Βρόγχος (Uplink)

Π.Χ. WCDMA



UL DPCCCh

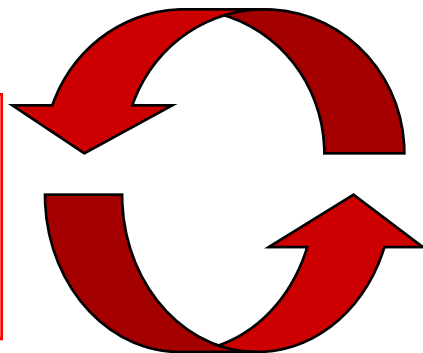
Μέτρηση  $E_b/N_0$  στο UL DPCCCh

Σύγκριση με  $E_b/N_0$  target  
(από εξωτερικό Βρόγχο UL)

Αν  $E_b/N_0 < E_b/N_0$  target  $\Rightarrow$  TPC bit = "1"  
Αν  $E_b/N_0 > E_b/N_0$  target  $\Rightarrow$  TPC bit = "0"

Αποστολή TPC bit στο DL DPCCCh

Ρύθμιση της ισχύος του ΚΣ σε DPCCCh και DPDCh:  
TPC bit = "1"  $\Rightarrow$  αύξηση κατά 1 dB  
TPC bit = "0"  $\Rightarrow$  μείωση κατά 1 dB

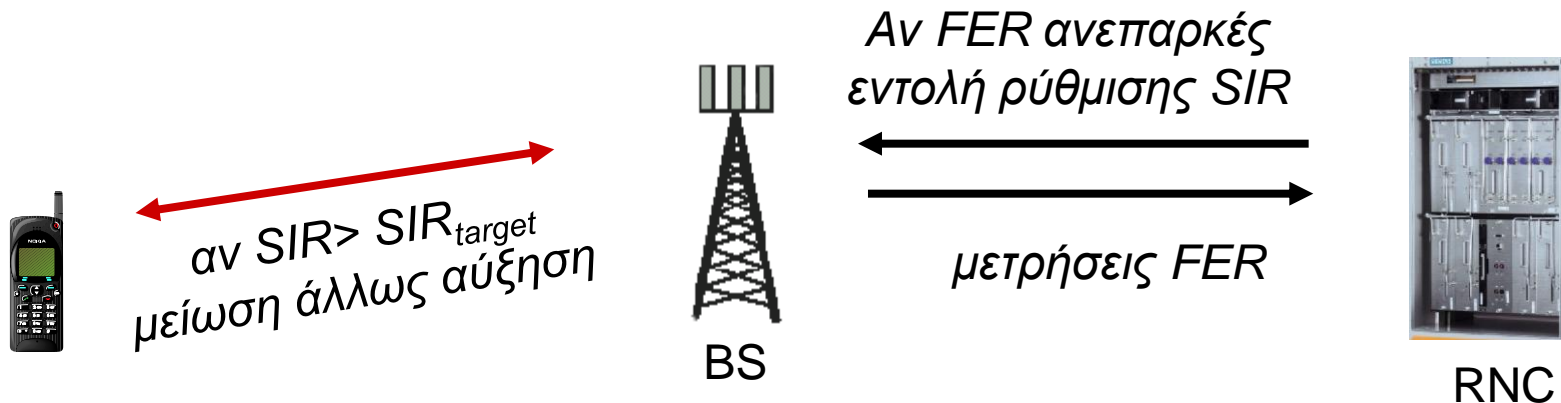


Συχνότητα PC: 1500 Hz  
Βήμα: 1dB (0,5-2,0 dB)  
Καθυστέρηση: 1TS

Αλλαγμένη ισχύς στο UL DPCCCh

# Εξωτερικός Βρόγχος (Uplink)

- Ο έλεγχος κλειστού βρόγχου προσπαθεί να διατηρήσει σταθερό SIR. Αυτό όμως δεν διασφαλίζει, το απαιτούμενο BER ή FER (που μπορεί να θεωρηθεί σαν το κριτήριο ποιότητας υπηρεσίας της ζεύξης).
- Επομένως η πληροφορία για το FER μεταδίδεται από το ΣΒ στον RNC για έλεγχο εξωτερικού βρόγχου και αυτός ρυθμίζει κατάλληλα το  $SIR_{target}$  ή  $SIR_{setpoint}$  ώστε να διατηρηθεί το FER στην επιθυμητή τιμή.





# Σύνθεση Βρόγχων

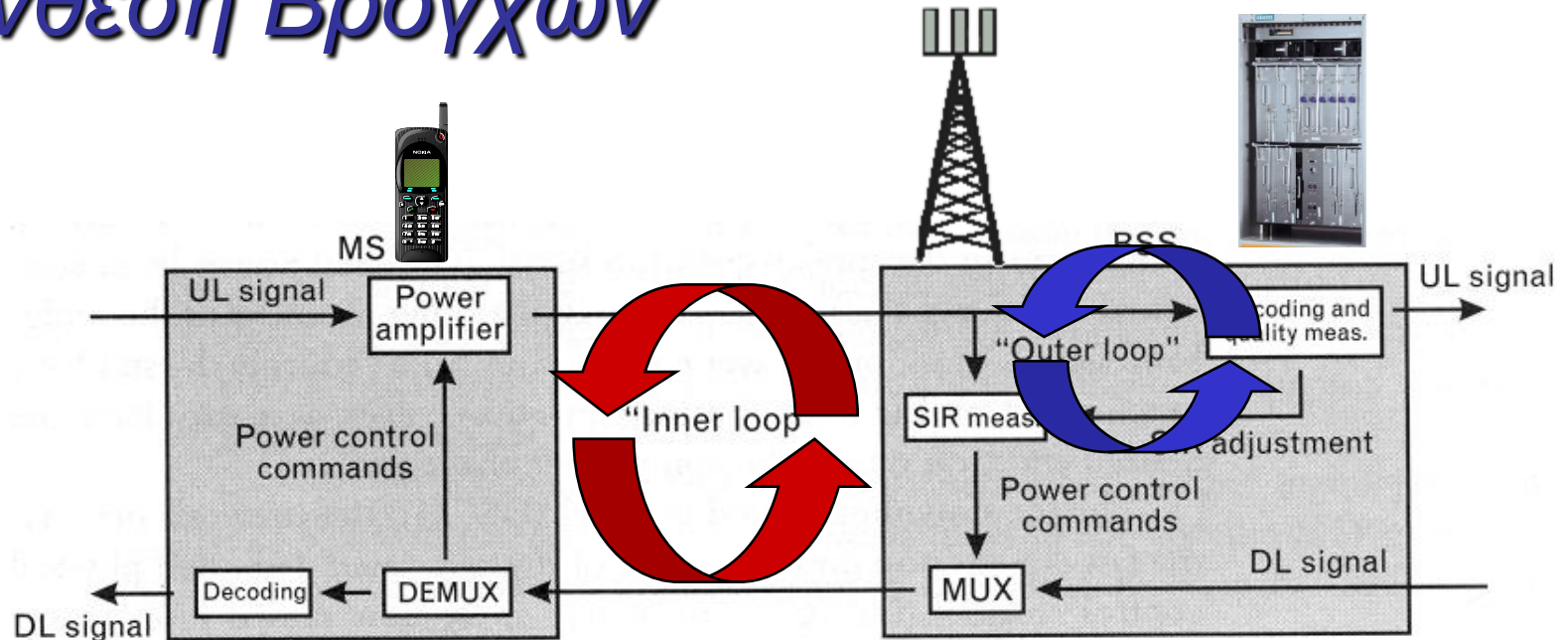


FIGURE 2.13 Uplink closed-loop power control.

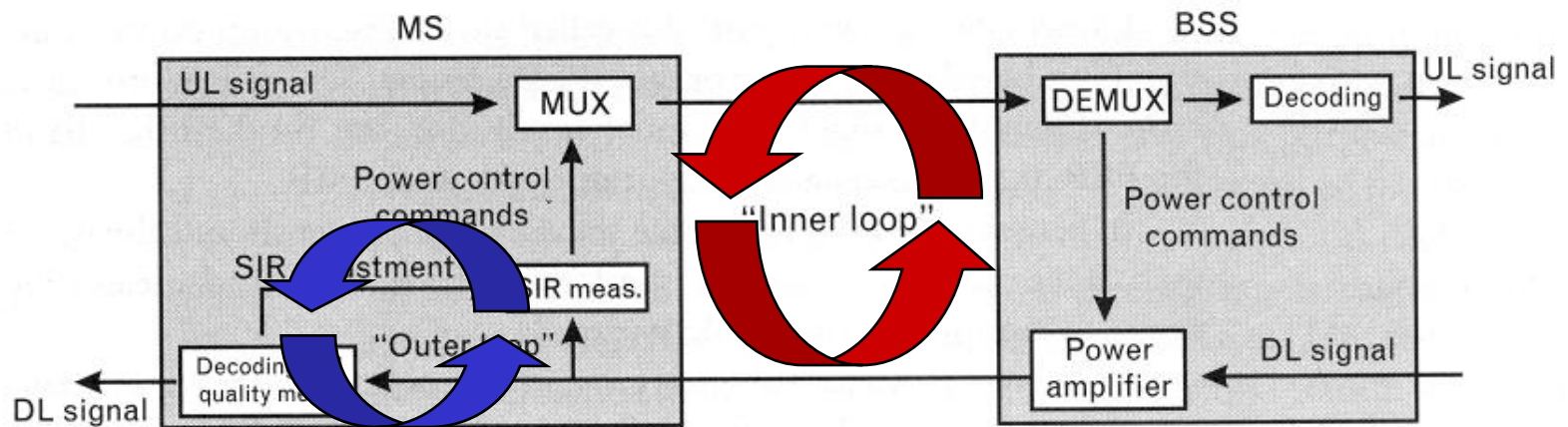
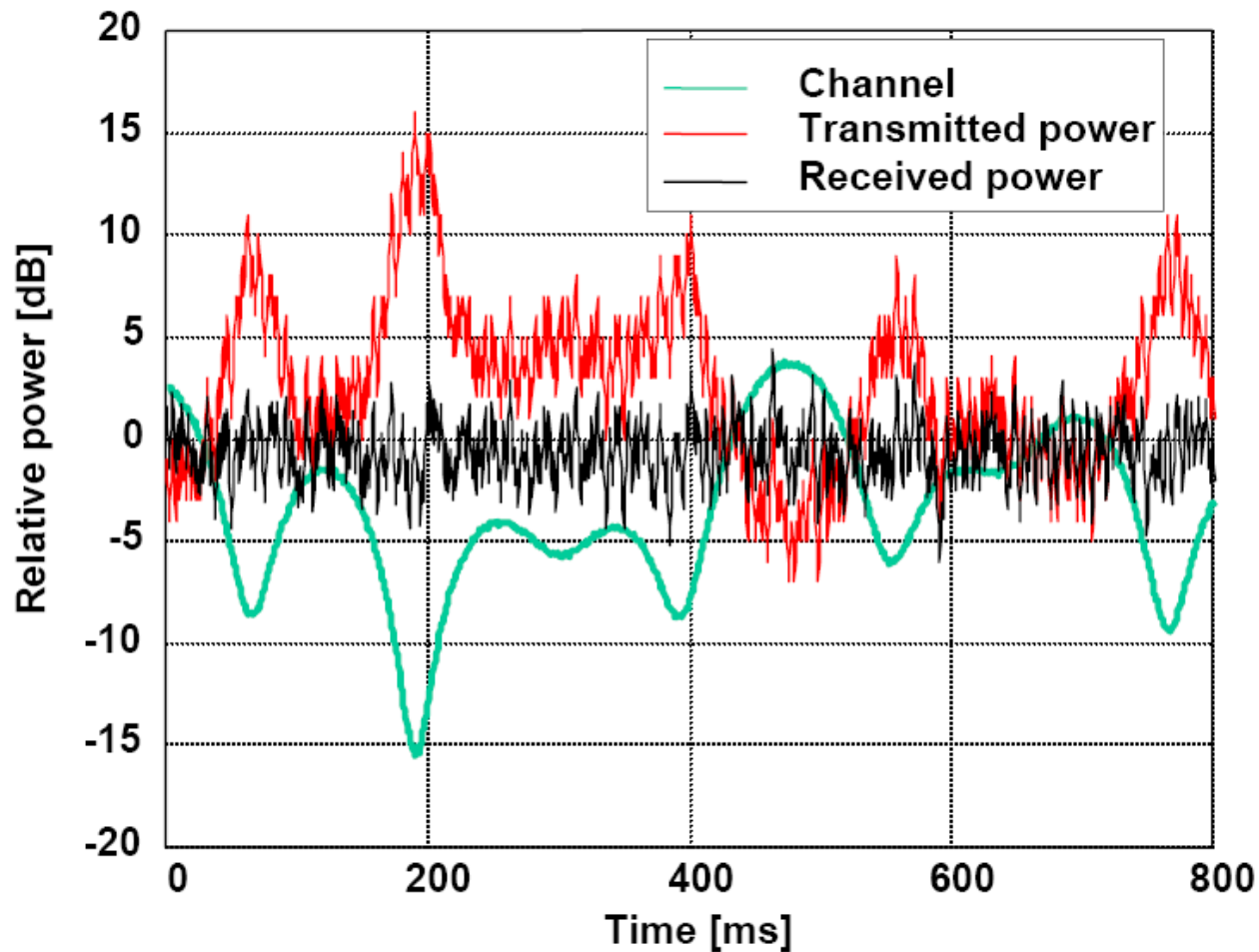


FIGURE 2.14 Downlink closed-loop power control.

# Αποτέλεσμα Έλεγχων Βρόγχου



Αντιστάθμιση των διαλείψεων με έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου