



# Δορυφορικές επικοινωνίες και διαλειτουργικότητα με επίγεια ασύρματα δίκτυα

Anastasia Lygizou, Candidate PhD  
Department of Informatics and Telecommunications, University of  
Athens  
{lygizou@di.uoa.gr}



# Πίνακας Περιεχομένων

- DVB-RCS (Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite)
- Λόγοι διασύνδεσης ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων με δορυφορικά δίκτυα
- Χειρισμός των μεγάλων καθυστερήσεων διάδοσης
- Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα – Εφαρμογές
- Μελέτη περίπτωσης: Διασύνδεση WiMAX με δορυφορικά δίκτυα



# ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB

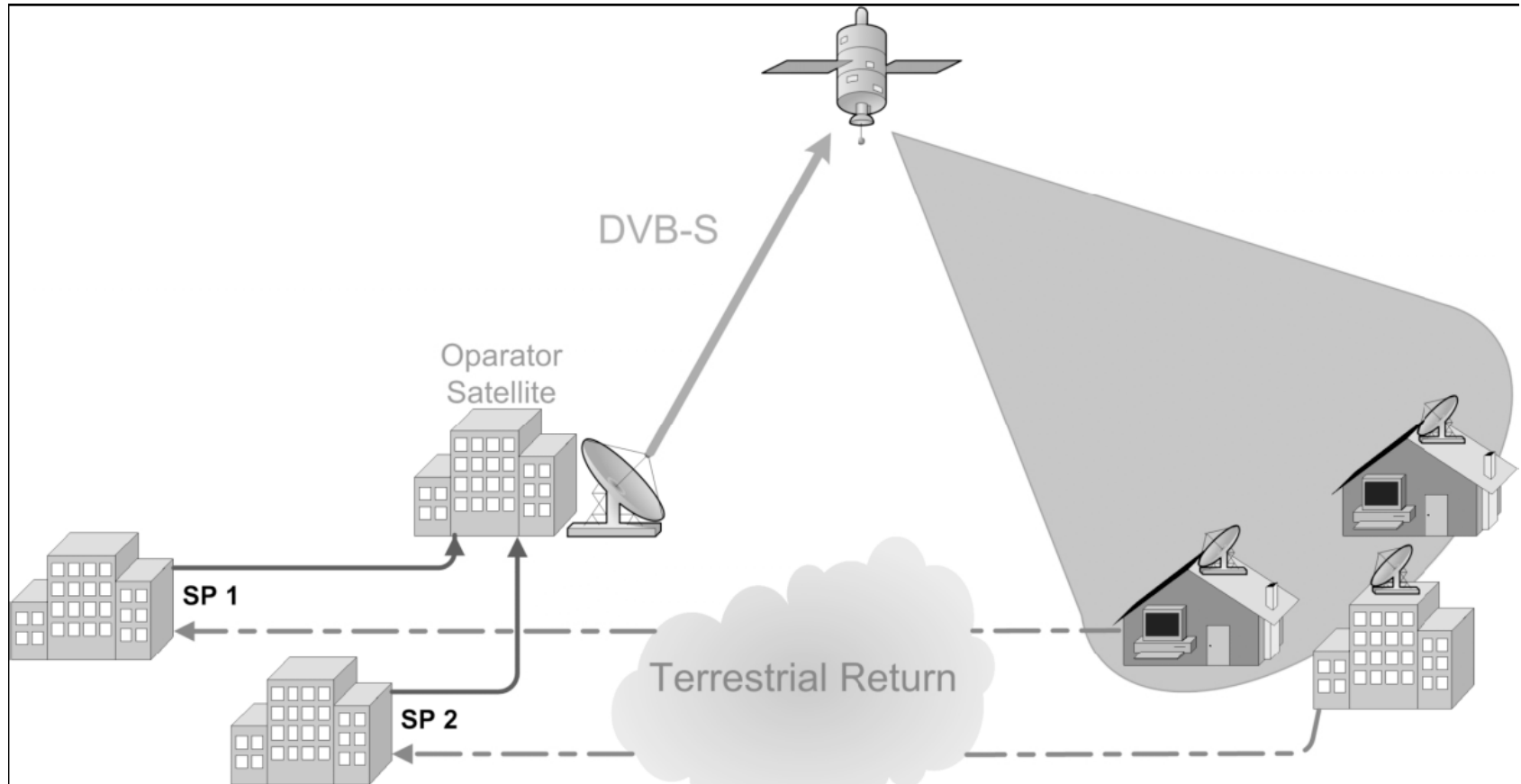
## DVB – Digital Video Broadcast

- Σύστημα μετάδοσης ψηφιακής τηλεόρασης
- Μεταφορά δεδομένων με σταθερού μεγέθους πακέτα (Transport Stream Packets – TS packets)

## Πρότυπα Δορυφορικού DVB

- ✓ DVB-S
- ✓ DVB-S2

# Η αρχιτεκτονική του συστήματος DVB-S





# ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-S

## Δορυφορικό IP Δίκτυο

- Μονοκατευθυντική υπηρεσία
- DVB-S και επίγειο κανάλι επιστροφής
- Ταχύτητες 6-45 Mbps
- Ενθυλάκωση σε IP πακέτα

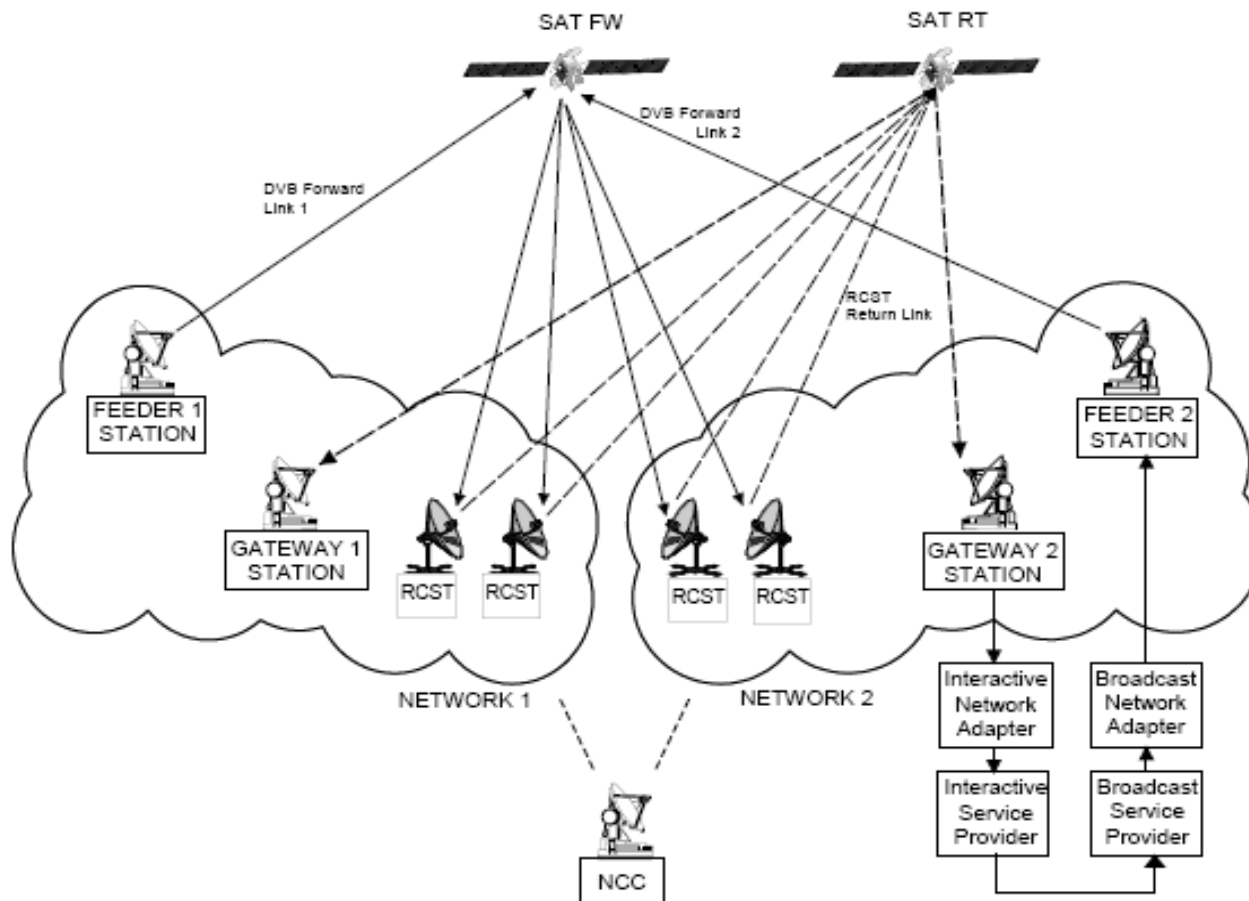
**Μειονέκτημα** : Έλλειψη επαρκούς καναλιού επιστροφής

Χρήση επίγειας υποδομής:

- Περιορισμένη χωρητικότητα
- Συνύπαρξη διαφορετικών παρόχων
- Εξασφάλιση διαθεσιμότητας δικτύου
- Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας

# DVB-RCS

DVB-RCS → Digital Video Broadcast - Return Channel via Satellite



## Δομικά στοιχεία

1. RCST / SIT
2. NCC
3. Traffic Gateways
4. Feeders



# DVB-RCS

## Είδη καναλιών

- Κανάλι ευρείας εκπομπής (Broadcast Channel) ↓
- Κανάλι αλληλεπίδρασης (Interactive Channel) ↑↓
  - ✓ Return Interaction Path
  - ✓ Forward Interaction Path

Forward Link Signaling: Η σηματοδότηση από τον NCC στα RCSTs που είναι απαραίτητη για την λειτουργία της ζεύξης επιστροφής (return link)



# DVB-RCS

## Είδη χρονοθυρίδων (Uplink)

- 1) Κίνησης – TRaFfic (TRF)
  - I. ATM TRF
  - II. MPEG-TS TRF
- 2) Απόκτησης – ACQuisition (ACQ)
- 3) Συγχρονισμού – SYNChronization (SYNC)
- 4) Σηματοδοσίας Κοινού Καναλιού – Common Signaling Channel (CSC)



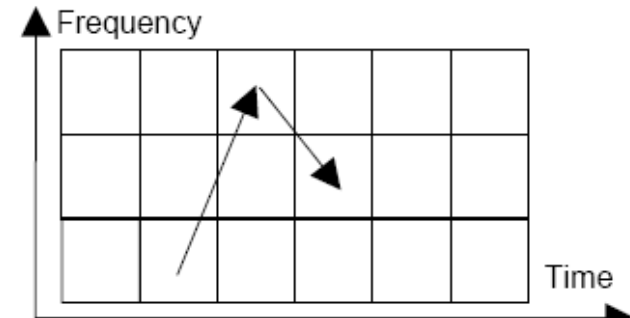
# DVB-RCS MAC LAYER

## MF-TDMA: Multi Frequency Time Division Multiple Access

- Χαρακτηριστικά χρονοθυρίδας: συχνότητα, εύρος ζώνης, χρόνος εκκίνησης, διάρκεια
- Σε κάθε RCST εκχωρείται μια ακολουθία χρονοθυρίδων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά

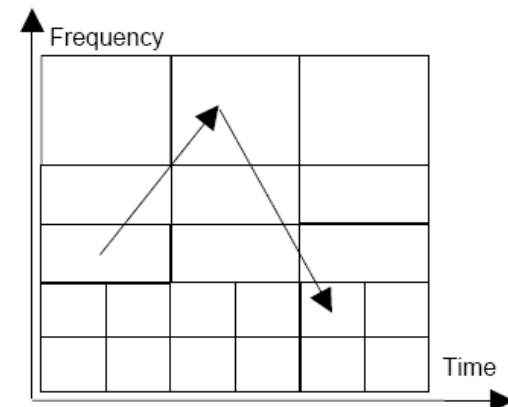
### ➤ Σταθερό MF-TDMA

- ✓ Σταθερό εύρος ζώνης
- ✓ Σταθερή διάρκεια
- ✓ Τα χαρακτηριστικά της ριπής δεν αλλάζουν στο ίδιο υπερπλαίσιο



### ➤ Δυναμικό MF-TDMA

- ✓ Μεταβλητό εύρος ζώνης
- ✓ Μεταβλητή διάρκεια
- ✓ Διαδοχικά slots με διαφορετικά χαρακτηριστικά
- ✓ Μεγάλη ευελιξία
- ✓ Προαιρετική δυνατότητα του RCST

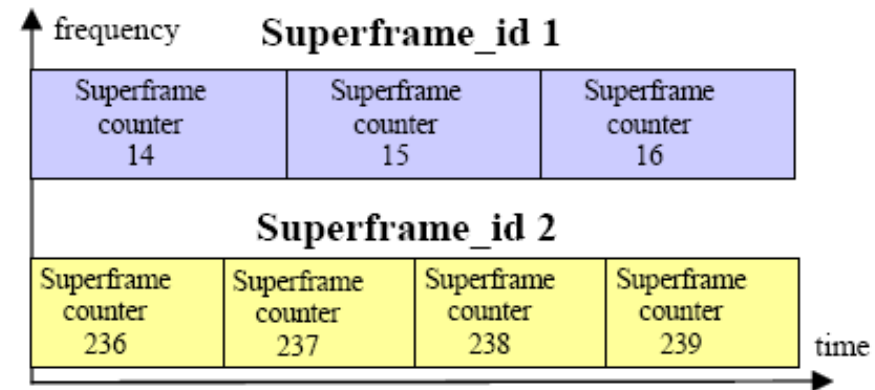


# DVB-RCS MAC LAYER

## ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

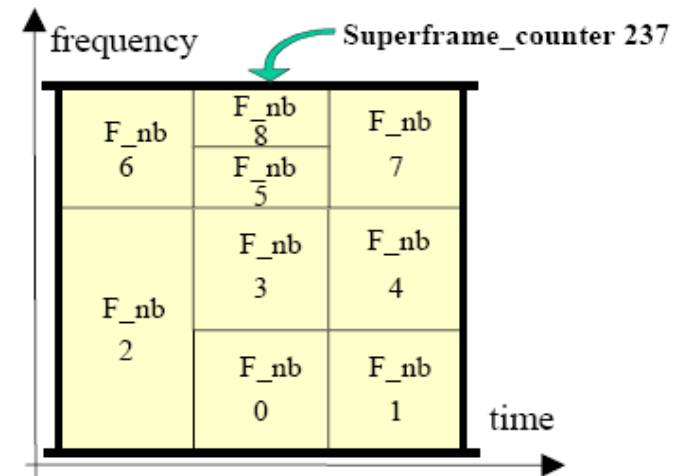
### ΥΠΕΡΠΛΑΙΣΙΑ

- Superframe\_ID: Ένα σύνολο συχνοτήτων που εκχωρείται σε μια ομάδα RCSTs
- Superframe\_counter: Η στοιχειώδης χρονική περίοδος για την εκχώρηση των πόρων στα RCSTs



### ΠΛΑΙΣΙΑ

- Frame\_ID: Αύξων αριθμός πλαισίου,  $0 \leq \text{Frame\_ID} \leq N$  όπου  $N \leq 31$
- Ταξινόμηση πρώτα στο χρόνο κι έπειτα στην συχνότητα



# DVB-RCS MAC LAYER

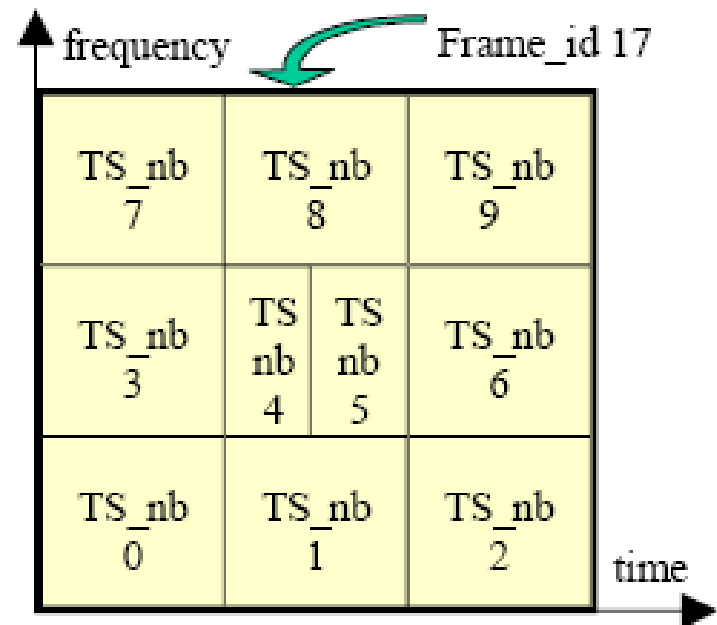
## ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

### ΧΡΟΝΟΘΥΡΙΑΔΕΣ

- Timeslot\_number: Αύξων αριθμός χρονοθυρίδας,  $0 \leq \text{Timeslot\_number} \leq N$  όπου  $N \leq 2047$
- Ταξινόμηση πρώτα στο χρόνο κι έπειτα στην συχνότητα

Μια χρονοθυρίδα ορίζεται μοναδικά στο σύστημα από 4 αριθμούς :

1. Superframe\_ID
2. Superframe\_counter
3. Frame\_ID
4. Timeslot\_number





# DVB-RCS MAC LAYER

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΙΤΗΣΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

### 1) CRA – Continuous Rate Assignment

- ✓ Σταθερός εγγυημένος ρυθμός σε κάθε υπερπλαίσιο
- ✓ Υπηρεσίες σταθερού ρυθμού, ελάχιστης καθυστέρησης και jitter

### 2) RBDC – Rate Based Dynamic Capacity

- ✓ Δυναμική εκχώρηση χωρητικότητας σε μορφή ρυθμού
- ✓ Αιτούμενος ρυθμός εως RBDC<sub>max</sub>
- ✓ Αποθήκευση RBDC αιτήσεων για κάποιο αριθμό υπερπλαισίων (στον NCC και το RCST)
- ✓ Υπηρεσίες μεταβλητού ρυθμού με ανοχή καθυστερήσεων



# DVB-RCS MAC LAYER

- 3) **VBDC – Volume Based Dynamic Capacity**
  - ✓ Δυναμική εκχώρηση χωρητικότητας σε μορφή Bytes
  - ✓ Αιτούμενος ρυθμός εως VBDCmax
  - ✓ Αθροιστικά αιτήματα χωρητικότητας
  - ✓ Υπηρεσίες με ανοχή στις μεταβολές των καθυστερήσεων (jitter)
- 4) **AVBDC – Absolute Volume Based Dynamic Capacity**
  - ✓ Διαφορά από VBDC: τα αιτήματα είναι απόλυτα όχι αθροιστικά
- 5) **FCA – Free Capacity Assignment**
  - ✓ Αυτόματη εκχώρηση χωρίς αιτήσεις
  - ✓ Δεν προϋποθέτει σηματοδοσία
  - ✓ Δεν υπάρχει αντιστοίχιση σε υπηρεσίες
  - ✓ Εκχωρείται ως επιπλέον χωρητικότητα για την κάλυψη των υπόλοιπων υπηρεσιών

# DVB-RCS MAC LAYER

## Service Information (SI) Πίνακες

- Η σηματοδότηση ορθού καναλιού αποτελείται από τους SI πίνακες
- **SCT – Superframe Composition Table**
  - ❖ Υποδιαίρεση του δικτύου σε υπερπλαίσια και πλαίσια
  - ❖ Συμπεριλαμβάνει τις τιμές συχνότητας και χρόνου για τα υπερπλαίσια και τα πλαίσια από τα οποία αποτελείται
- **FCT - Frame Composition Table**
  - ❖ Υποδιαίρεση πλαισίων σε χρονοθυρίδες
  - ❖ Συμπεριλαμβάνει τις τιμές συχνότητας και χρόνου για τα πλαίσια και τις χρονοθυρίδες από τις οποίες αποτελείται
- **TCT - Timeslot Compositon Table**
  - ❖ Ορίζει τις παραμέτρους μετάδοσης για κάθε χρονοθυρίδα (π.χ. Timeslot\_counter, διάρκεια, ρυθμός, είδος χρονοθυρίδας, κωδικοποίηση, κ.α.)



# DVB-RCS MAC LAYER

- **TIM – Terminal Information Message**
  - ❖ Μεταφέρει στατικές και εν μέρει στατικές πληροφορίες
  - ❖ Unicast ή Broadcast TIM
  - ❖ **Logon Initiate Descriptor**
    - ✓ Unicast TIM
    - ✓ Τύπος σύνδεσης
    - ✓ Μέθοδοι ασφάλειας
    - ✓ Μέγιστες τιμές για τις κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας
- **SAC – Satellite Access Control**
  - ❖ Περιλαμβάνεται στην SYNC χρονοθυρίδα
  - ❖ Αποστολή αιτημάτων χωρητικότητας για το επόμενο υπερπλαίσιο από το RCST

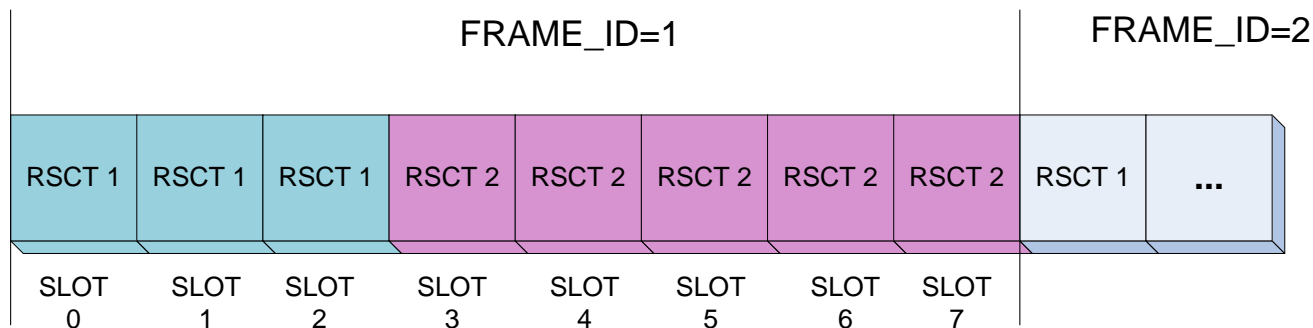
# DVB-RCS MAC LAYER

## • TBTP – Terminal Burst Time Plan

- ❖ Πίνακας εκχώρησης χρονοθυρίδων
- ❖ Ένα TBTP ανά υπερπλαίσιο
- ❖ Για κάθε RCST εκχωρείται μια ή περισσότερες ακολουθίες χρονοθυρίδων
- ❖ Το TBTP δηλώνει για κάθε RCST: 1) την χρονοθυρίδα εκκίνησης  
2) τον παράγοντα επανάληψης

## Παράδειγμα

SUPERFRAME\_COUNTER=15



## Μορφή TBTP

Frame\_id : 1  
RCST\_1  
Start\_slot: 0  
Ass\_count: 2  
RCST\_2  
Start\_slot: 3  
Ass\_count: 4  
Frame\_id : 2 ...



# Υλοποιημένα δορυφορικά δίκτυα στην Ελλάδα

- GALENOS (Generic advanced low-cost trans-European network over satellite). Ο στόχος του προγράμματος ήταν η μελέτη και υλοποίηση ενός δικτύου μέσω δορυφόρων αφιερωμένο σε εφαρμογές τηλεϊατρικής πραγματικού χρόνου. Συνολικά 14 τερματικές επαφές εγκαταστάθηκαν σε έξι χώρες (Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα, Γερμανία, Βουλγαρία και Τυνησία), συνδέοντας 15 διαφορετικά νοσοκομεία.
- EMISPHER (Euro-Mediterranean Internet-Satellite Platform for Health, Education and Research) είναι ένα πρόγραμμα μεταξύ χωρών της μεσογείου

# Πλεονεκτήματα διασύνδεσης επίγειου ασύρματου δικτύου και δορυφορικών δικτύων

- το δορυφορικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως η ραχοκοκαλιά (backbone) του δικτύου, με σημεία πρόσβασης τους σταθμούς βάσης του επίγειου ασύρματου δικτύου, όταν οι επίγειες εγκαταστάσεις είναι ασύμφωρες οικονομικά ή σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και αδύνατες, όπως απομακρυσμένες και παραμεθόριες περιοχές.
- εφαρμογή του δορυφορικού δικτύου σαν ραχοκοκαλιά του συστήματος είναι με την μορφή εφεδρίας κατά το ενδεχόμενο που το κυρίως δίκτυο καταρρεύσει.
- θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ένα μονοπάτι πολλών αλμάτων μόνο με ένα αφού παρέχει μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.

# Μειονεκτήματα διασύνδεσης επίγειου ασύρματου δικτύου και δορυφορικών δικτύων

- οι μεγάλες καθυστερήσεις που επιφέρει στο δίκτυο το δορυφορικό τμήμα του συστήματος.
- Επιπλέον, όπως είναι γνωστό, τα ευρυζωνικά συστήματα καλούνται να εξυπηρετούν μεγάλο όγκο δεδομένων διαφορετικών εφαρμογών, και κατά συνέπεια διαφορετικών παραμέτρων ποιότητας υπηρεσιών.
- Η χωρητικότητα του επίγειου ασύρματου δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του DVB-RCS συστήματος.



# Διασύνδεση μεταξύ δορυφορικών και ασύρματων δικτύων

- Proton Labs: Συστήματα Τηλεϊατρικής Διασύνδεση δορυφορικού δικτύου με ADSL και WiFi
- Η pla.NET.gr εισέρχεται δυναμικά στον χώρο των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας για τη ναυτιλία. Τα δορυφορικά αυτά συστήματα συχνά αποκαλούνται και "VSAT" και προσφέρουν ασύρματη δικτύωση με το internet μέσω δορυφορικής ζεύξης.
- base2 (Broadband Access Satellite Enabled Education), που έχει ως στόχο την ανάπτυξη και συνδυασμένη χρήση ετερογενών (ήτοι, επίγειων και δορυφορικών) δικτύων για την ευρυζωνική πρόσβαση των κατοίκων απομακρυσμένων γεωργικών / κτηνοτροφικών περιοχών, αλλά και της ναυτιλιακής κοινότητας στη γνώση.



# WiMAX – IEEE 802.16

## WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

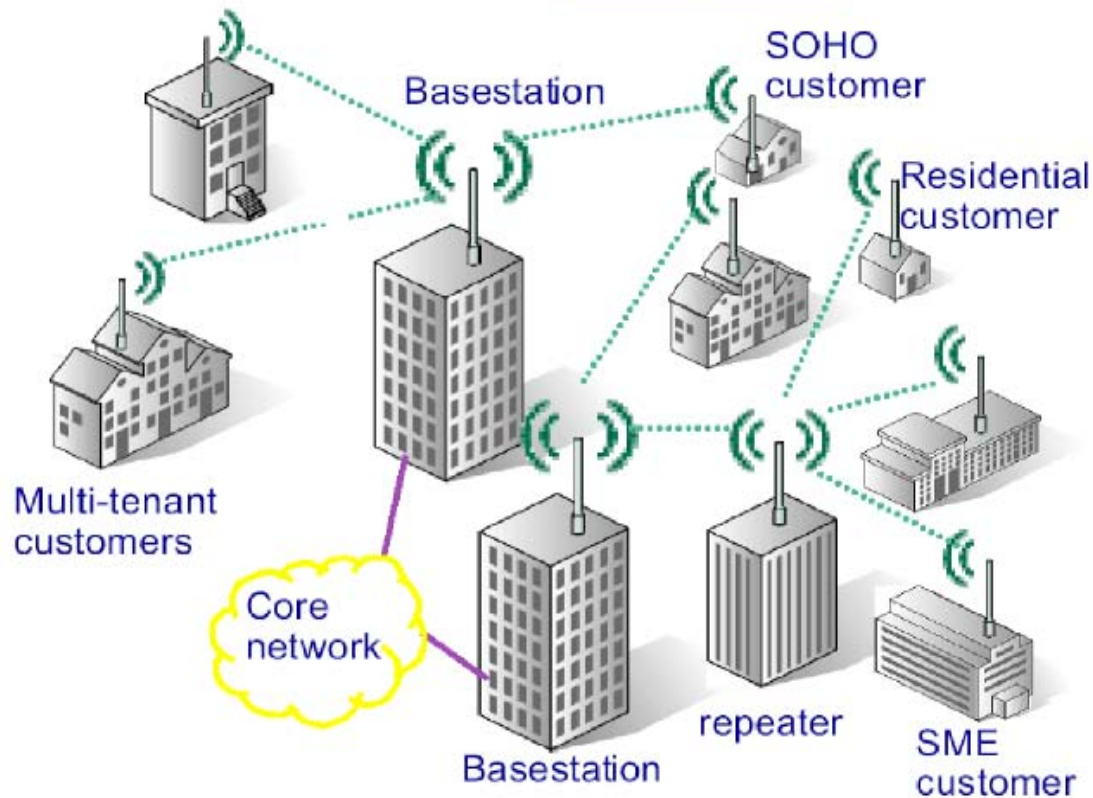
### Χαρακτηριστικά

- ✓ “last mile” ευρυζωνική πρόσβαση
- ✓ Οικονομική και ευέλικτη λύση
- ✓ Φάσμα: 10-66 GHz και 2-11 GHz (802.16a)
- ✓ Εύρος ζώνης καναλιού: 28 MHz
- ✓ Ρυθμός μετάδοσης: 32-134 Mbps
- ✓ Δύο τρόποι λειτουργίας: TDD και FDD

# WiMAX – ΙΕΕΕ 802.16

## Αρχιτεκτονική

WirelessMAN: Wireless Metropolitan Area Network



### Δομικά στοιχεία

1. Base Station (BS)
2. Subscriber Station (SS)
3. Mobile Subscriber Station (MSS)



# IEEE 802.16 MAC LAYER

## Κανάλια επικοινωνίας

### **Downlink:**

- Κανάλι ευρείας εκπομπής
- Κεντρική οντότητα ο Σταθμός Βάσης (BS)
- Μηνύματα unicast, broadcast και multicast
- Πληροφορίες για την δομή του Uplink

### **Uplink:**

- Μέθοδος πολλαπλής πρόσβαση DAMA-TDMA (Demand Assigned Multiple Access TDMA)
- 3 είδη ριπών: 1) αιτήματα εισαγωγής στο δίκτυο  
2) αιτήματα χωρητικότητας  
3) ριπές κίνησης





# IEEE 802.16 MAC LAYER

## QoS & Service Flows

**Service Flow:** Μονοκατευθυντική ροή πακέτων με συγκεκριμένο σύνολο QoS παραμέτρων

Αντιστοίχιση: Υπηρεσίες χρήστη → Συνδέσεις → Ροή υπηρεσίας

### Service Flows

#### 1) UGS – Unsolicited Grant Services

- Πακέτα σταθερού μεγέθους
- CBR (Constant Bit Rate)
- Εγγυημένος ρυθμός
- Δεν προϋποθέτει σηματοδότηση

#### 2) rtPS – Real-time Polling Services

- Πακέτα μεταβλητού μεγέθους σε περιοδική βάση
- Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου
- Αποστολή αιτήσεων χωρητικότητας σε ήδη δεσμευμένες χρονοθυρίδες





# IEEE 802.16 MAC LAYER

## 3) **nrtPS – Non-real-time Polling Services**

- Πακέτα μεταβλητού μεγέθους με ελάχιστο εγγυημένο ρυθμό
- Υπηρεσίες με ανοχή στις καθυστερήσεις
- Αποστολή αιτήσεων χωρητικότητας σε ήδη δεσμευμένες χρονοθυρίδες και σε χρονοθυρίδες ανταγωνισμού

## 4) **BE – Best Effort**

- Υπηρεσίες χωρίς ελάχιστες απαιτήσεις
- Αποστολή αιτήσεων χωρητικότητας σε χρονοθυρίδες ανταγωνισμού

## 5) **ertPS – Extended Real-time Polling Services**

- Εισήχθει με το IEEE 802.16e
- Συνδυασμός UGS και rtPS
- Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων
- Ήδη δεσμευμένες χρονοθυρίδες χρησιμοποιούνται για αποστολή δεδομένων και αιτήσεων χωρητικότητας



# IEEE 802.16 MAC LAYER

## Πίνακας των ροών υπηρεσίας του WiMAX

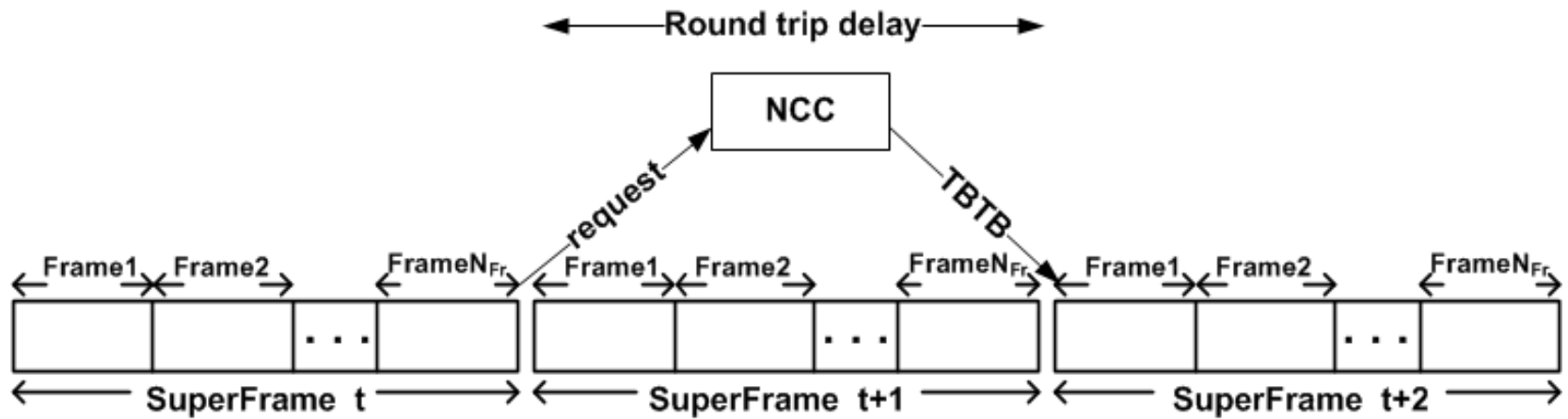
Service Flow Designation	Defining QoS Parameters	Application Examples
Unsolicited grant services (UGS)	Maximum sustained rate Maximum latency tolerance Jitter tolerance	Voice over IP (VoIP) without silence suppression
Real-time Polling service (rtPS)	Minimum reserved rate Maximum sustained rate Maximum latency tolerance Traffic priority	Streaming audio and video, MPEG (Motion Picture Experts Group) encoded
Non-real-time Polling service (nrtPS)	Minimum reserved rate Maximum sustained rate Traffic priority	File Transfer Protocol (FTP)
Best-effort service (BE)	Maximum sustained rate Traffic priority	Web browsing, data transfer
Extended real-time Polling service (ErtPS)	Minimum reserved rate Maximum sustained rate Maximum latency tolerance Jitter tolerance Traffic priority	VoIP with silence suppression



# Υλοποιημένα WiMAX δίκτυα στην Ελλάδα

- Πιλοτικά στο Άγιο Όρος από τον ΟΤΕ με 6 σταθμούς βάσης
- Πιλοτικά στο Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών "Ελευθέριος Βενιζέλος"





Αίτηση και εκχώρηση χωρητικότητας μεταξύ ενός RCST  
και του NCC



# Part A

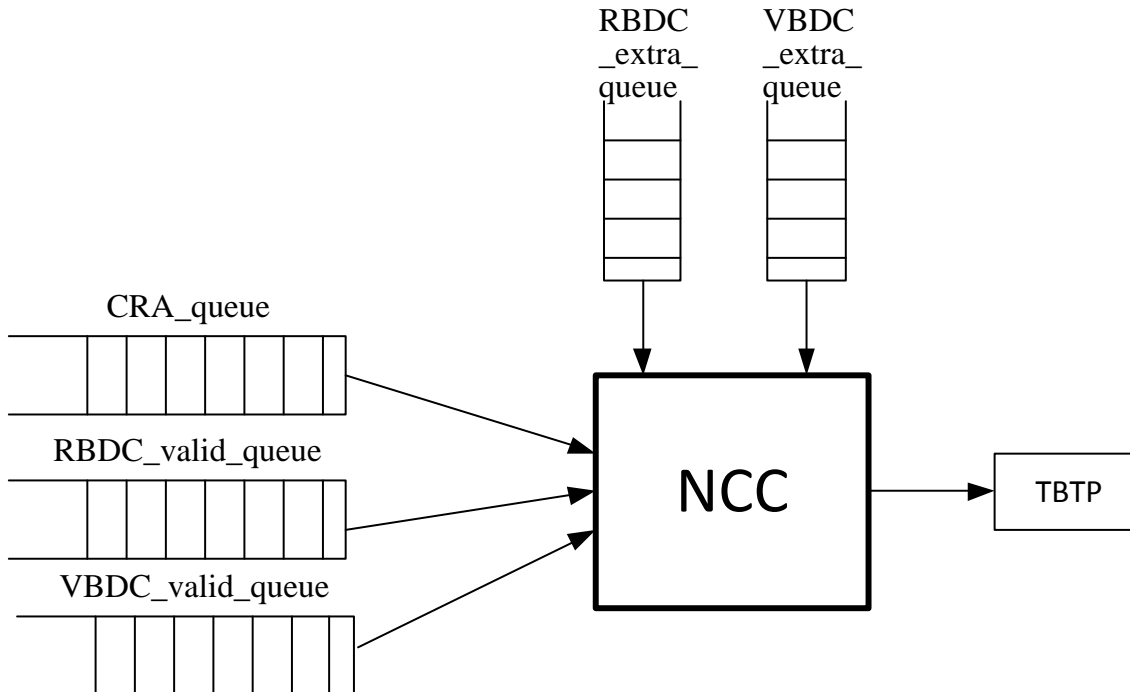
- Υπολογίζουμε τις χρονοθυρίδες  $req_{ijk}(t)$  που χρειάζονται για τη σύνδεση  $c_{ijk}$  στο υπερπλαίσιο  $t$  βάσει του μέσου ρυθμού δεδομένων της. Παίρνουμε υπόψη την αίτηση που έγινε στο προηγούμενο υπερπλαίσιο.
- Η συνολική χωρητικότητα που χρειάζεται το  $RCST_i$  στο υπερπλαίσιο  $t$  είναι:

$$Sreq_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n req_{ijk}(t)$$

- Ανάλογα με το πλήθος των χρονοθυρίδων ορίζουμε τις αιτήσεις  $RBDC\_now_i$  και  $AVBDC\_now_i$ .

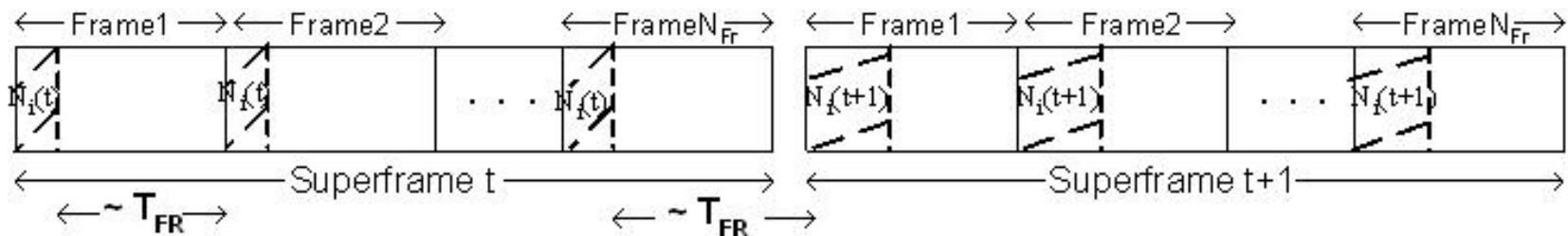
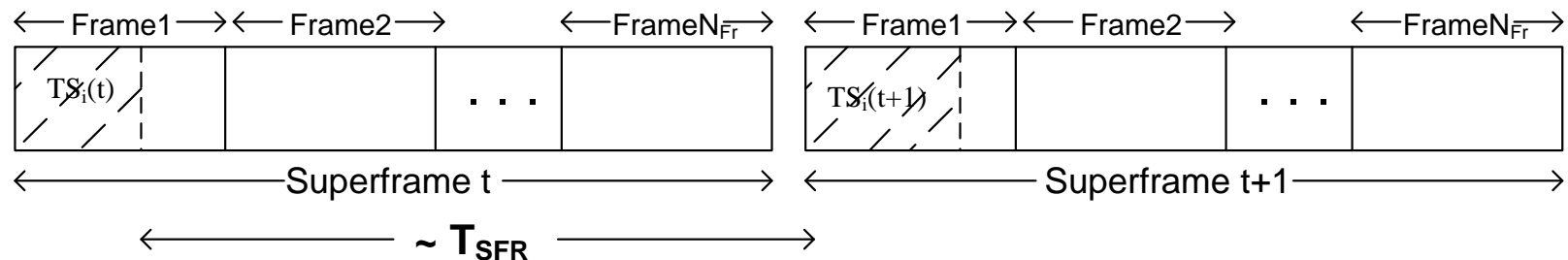


# Part B (1)



Προτεραιότητα ουρών  
CRA\_queue >  
RBDC\_valid\_queue >  
VBDC\_valid\_queue >  
RBDC\_extra\_queue >  
VBDC\_extra\_queue

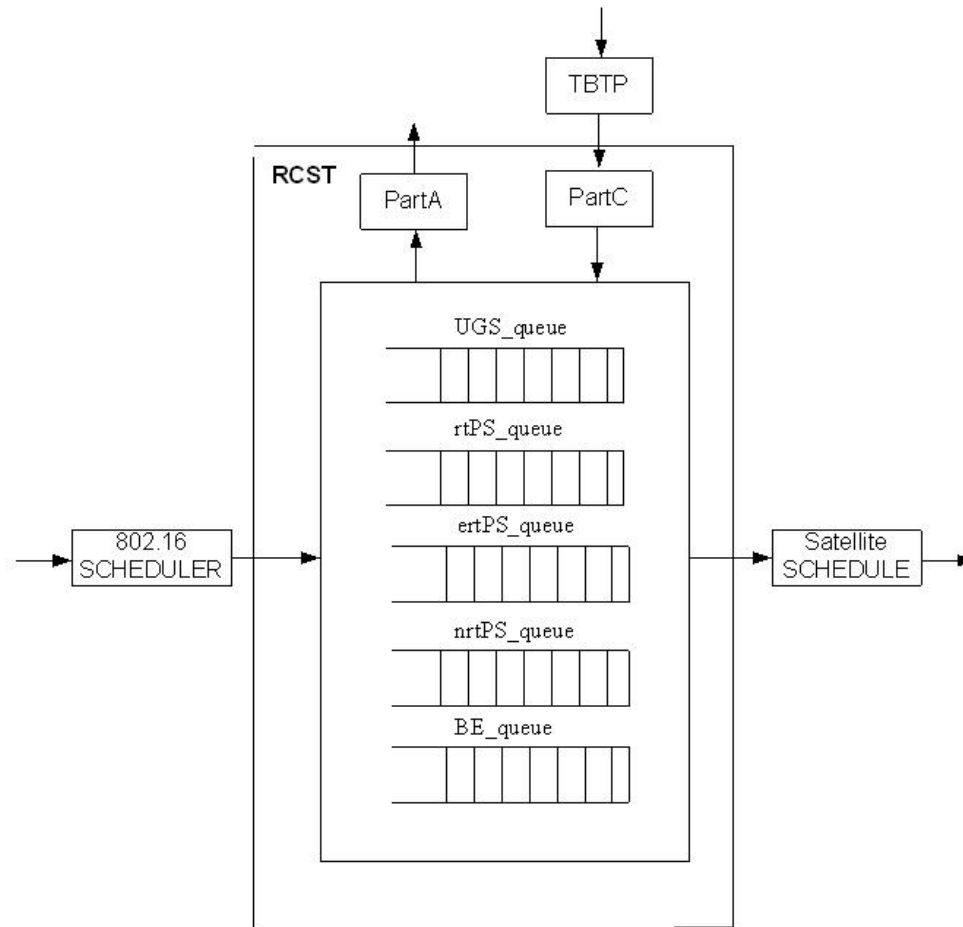
# Part B (2)



- $TS_i(t)$  είναι η συνολική ποσότητα χρονοθυρίδων που δίνονται σε κάθε RCSTi στο υπερπλαίσιο  $t$
- $N_i(t) = TS_i(t) / N_{Fr}$  είναι οι χρονοθυρίδες που εκχωρεί ο NCC σε κάθε πλαίσιο του υπερπλαισίου  $t$



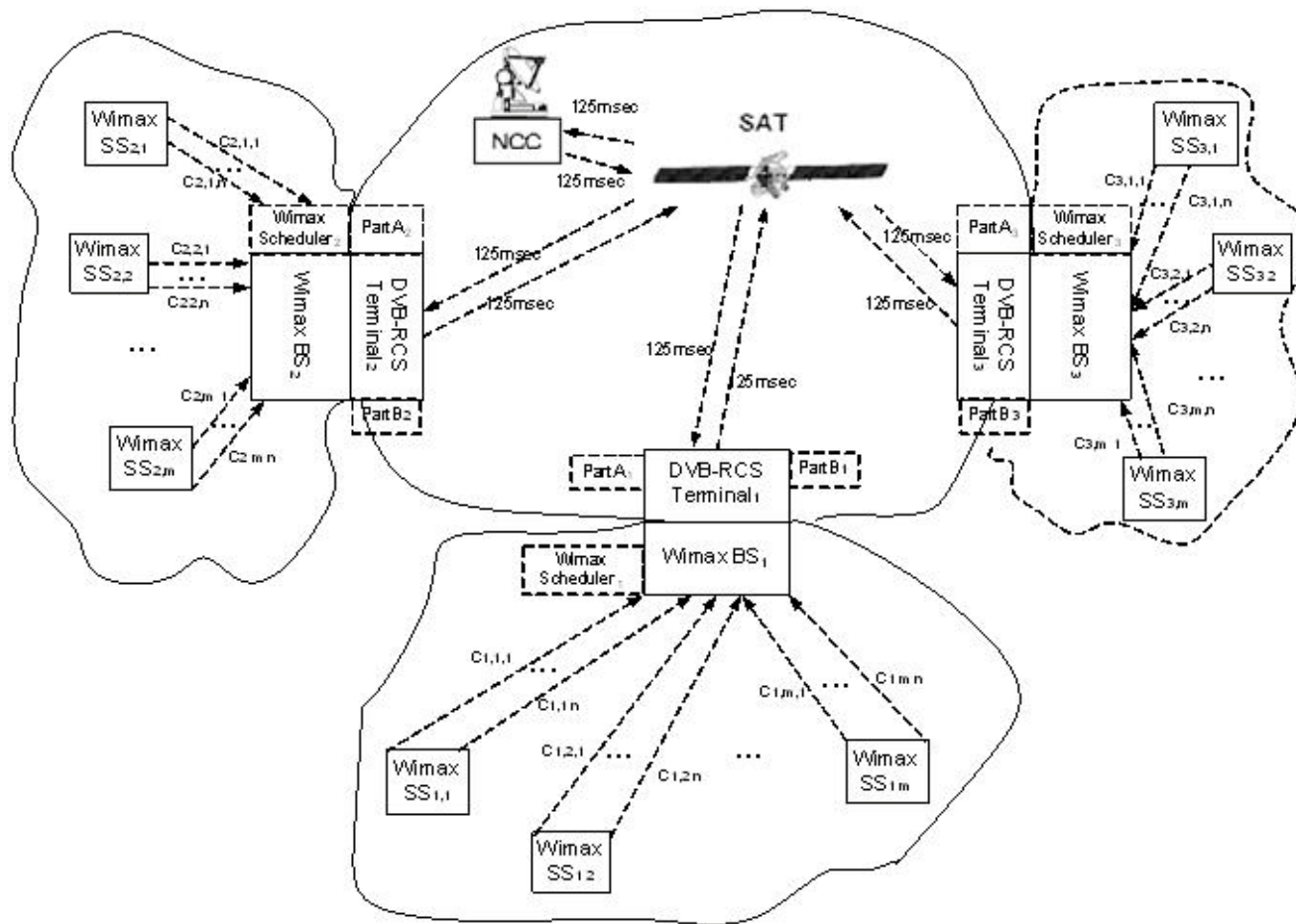
# Part C



- Επιλέγει ποια πακέτα θα μεταδοθούν βάσει της εξής προτεραιότητας  
 $UGS\_queue > rtPS\_queue > ertPS\_queue > nrtPS\_queue > BE\_queue$
- Πετάνει τα πακέτα που έχουν λήξει
- Κρατάει στατιστικά για τα πακέτα που μεταδίδονται

Αρχιτεκτονικά στοιχεία του RCST

# Αρχιτεκτονική του σεναρίου προσομοίωσης





# Παράμετροι Προσομοίωσης

## WiMAX

- ✓ Used traffic types:
  - Video (rtPS)
  - Compressed Voice (ertPS)
  - Uncompressed Voice (UGS)
  - FTP (nrtPS)
  - HTTP (BE)
- ✓ Time frame length: 1msec
- ✓ Packet size: 54 Bytes
- ✓ Modulation: 64-QAM

## DVB-RCS

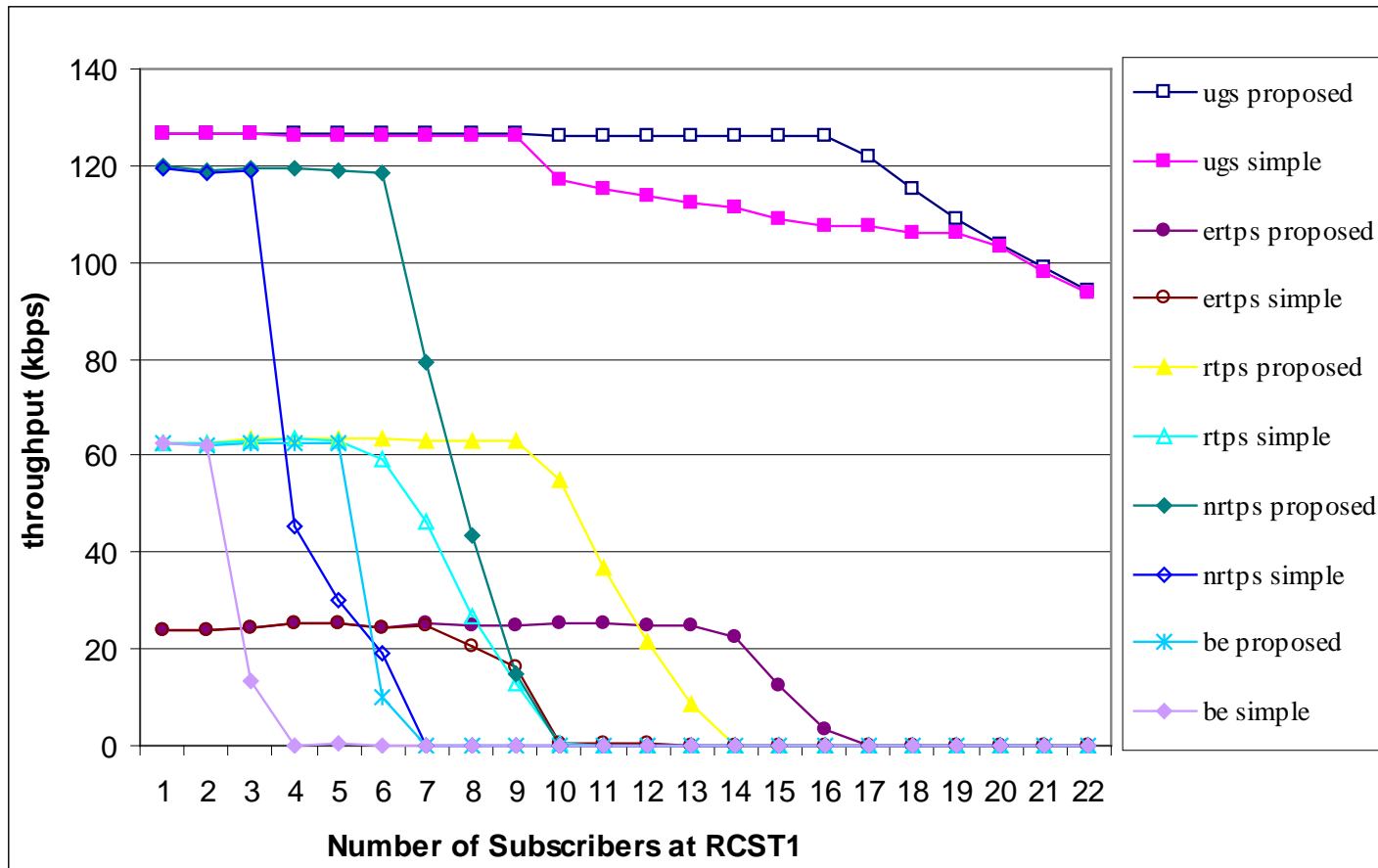
- ✓ Frame Duration: 50msec
- ✓ Superframe Duration: 500msec
- ✓ Round Trip Delay: 500msec
- ✓ CRA\_level: 1000kbps
- ✓ RBDC\_max: 700kbps
- ✓ VBDC\_max: 110 slots/ SF



# Παράμετροι κίνησης και QoS για κάθε είδος κίνησης

Traffic kind	Service type	mrtr (kbps)	mstr (kbps)	Latency in 802.16 network (msecs)	Jitter (msecs)	Mean traffic (kbps)	Latency in satellite network (msecs)
uncompressed voice/video	UGS	128	128	30	15	170	300
compressed voice (voice)	ertPS	18	32	50	-	25	400
compressed video	rtPS	80	128	40	-	128	500
ftp	nrtPS	60	110	-	-	100	-
http	BE	-	90	-	-	80	-

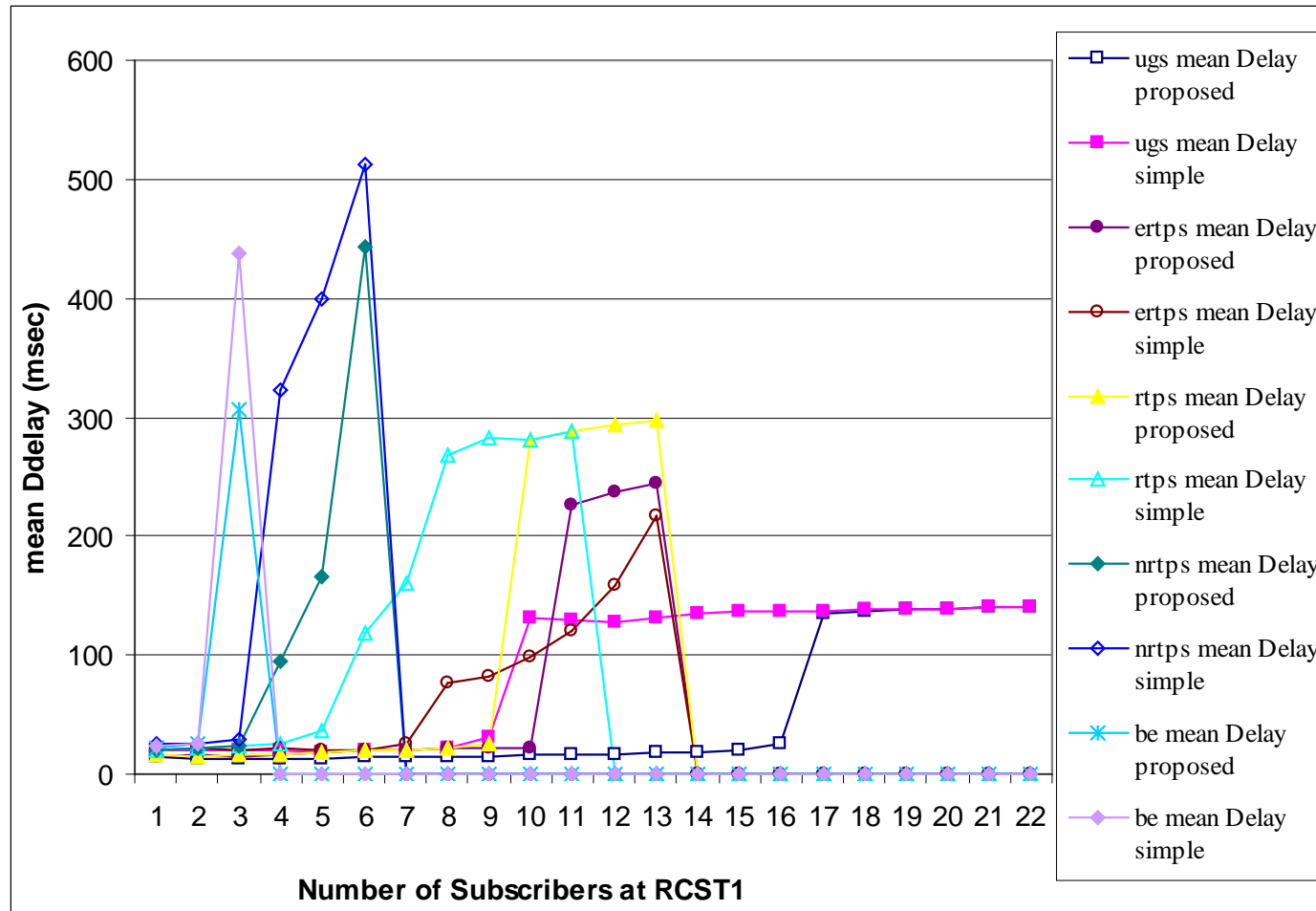
# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (1)



Ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας

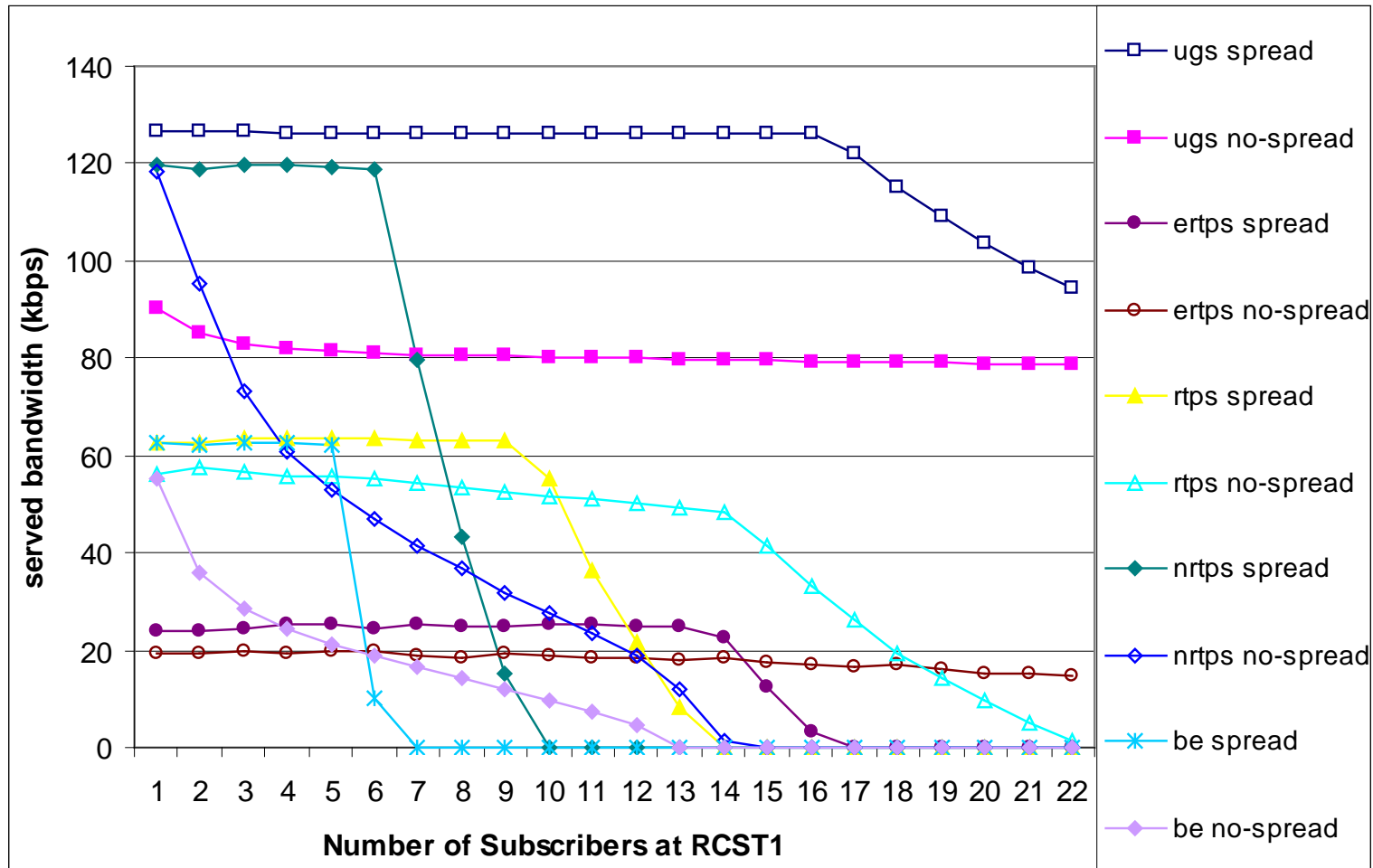


# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (2)



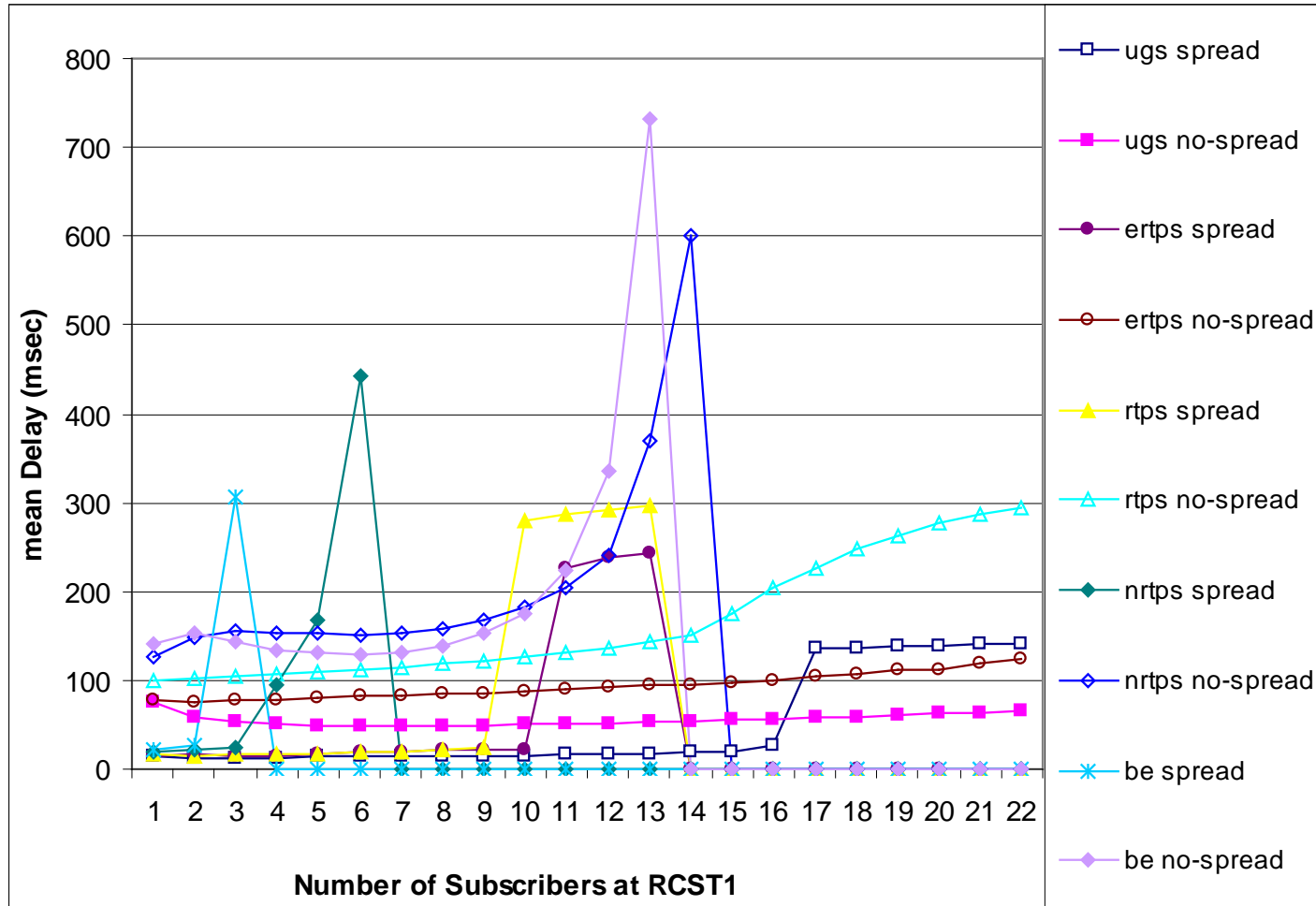
Μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (3)



Η ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της «μη δισπαρμένης» έκδοσης του PartB

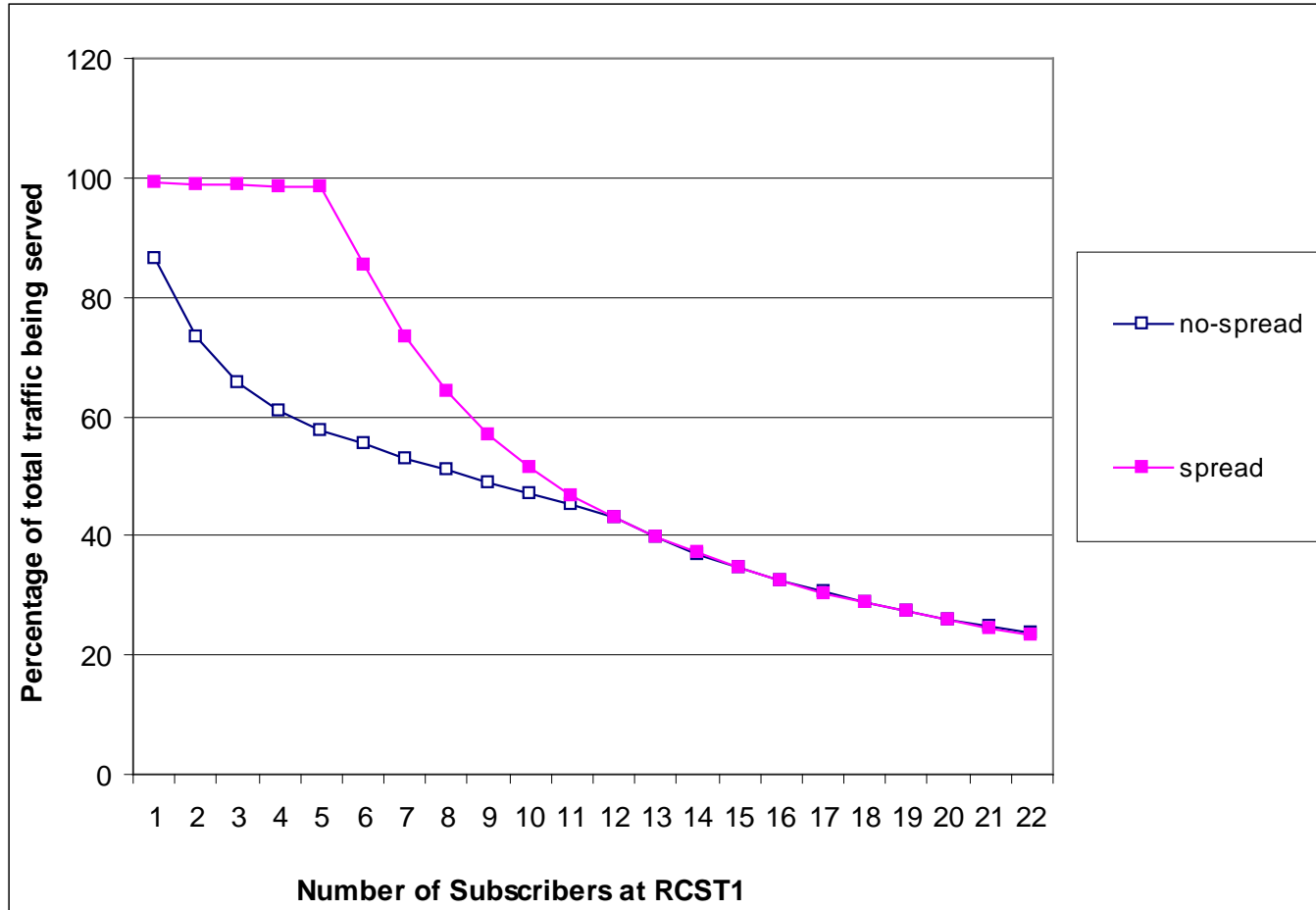
# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (4)



Η μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «διασπαρμένης» και της μη διεσπαρμένης έκδοσης του PartB



# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (5)



Ποσοστό της συνολικής κίνησης που εξυπηρετείται με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της «μη δισπαρμένης» έκδοσης του PartB



# Συμπέρασμα

Ο μηχανισμός της πρόβλεψης των αναγκών ενός σταθμού βάσης που περιγράψαμε έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, της καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων καθώς και την βελτίωση της καθυστέρησης σε κάθε τύπο υπηρεσίας.



# Επέκταση του Part A – Βιβλιογραφική Έρευνα

Κατηγοριοποίηση σε τρεις κατηγορίες:

1. Χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της κίνησης των πραγματικών δεδομένων, όπως self-similarity προσπαθεί να μοντελοποιήσει την κίνηση με στόχο την πρόγνωσης. Χρήση κατανομών όπως Poisson, Pearson, Pareto.
2. Χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα (Bayesian).
3. Κάνει στοχαστική πρόβλεψη των δεδομένων που μπορεί να αφιχθούν σε μία ουρά στο χρονικό διάστημα μεταξύ μίας αίτησης και της στιγμής που αυτή η αίτηση ικανοποιείται. Χρήση της differential time grant μεθόδου, NLMS, VSSNLMS.

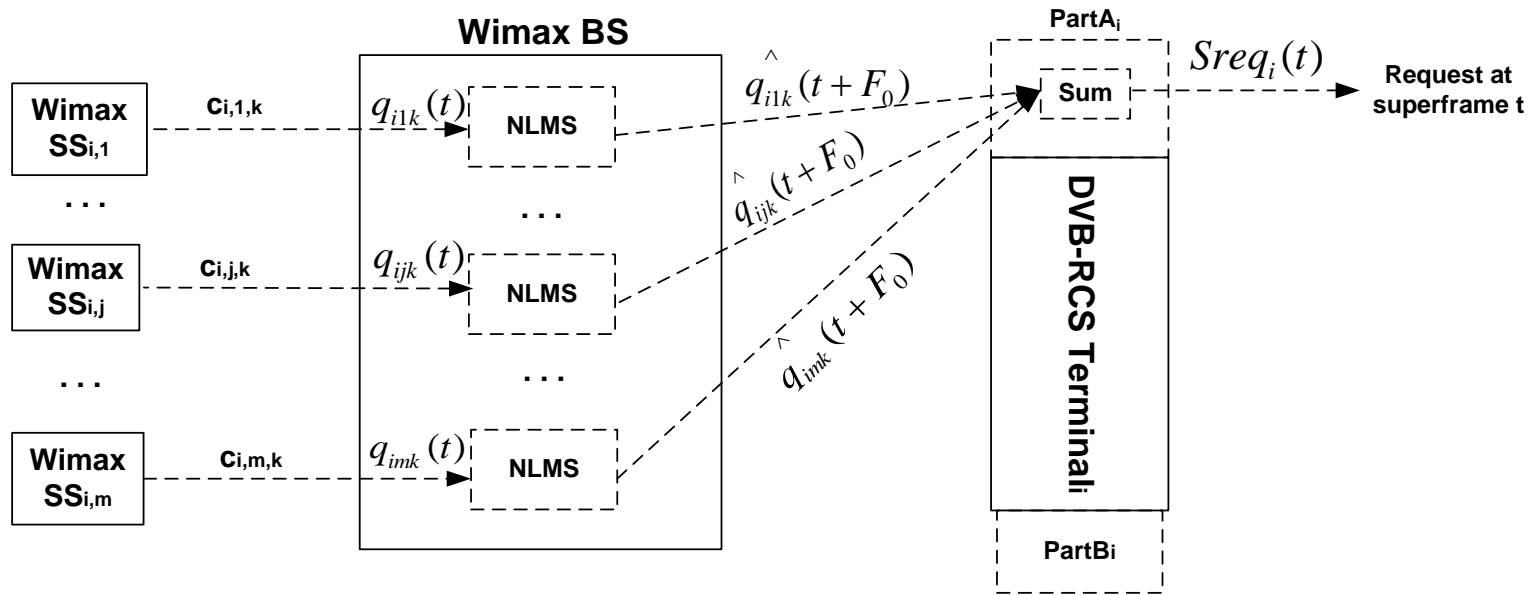
# Επέκταση του Part A - NLMS

- Έστω  $F$  η τάξη του φίλτρου NLMS που χρησιμοποιούμε
- $q(t)$  το μέγεθος ουράς τη χρονική στιγμή  $t$ .
- $\bar{q}(t)$  ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους ουράς των προηγούμενων  $F$  εμφανίσεων. Η πρόβλεψη του στιγμιαίου μεγέθους ουράς έπειτα από  $F_0$  εμφανίσεις μετά τη πρόβλεψη της  $t$ -ιστής εμφάνισης γίνεται με βάση το  $\bar{q}(t)$
- το εκτιμώμενο μήκος ουράς υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{q}(t + F_0) = \bar{w}^T(t) * \bar{q}(t)$$

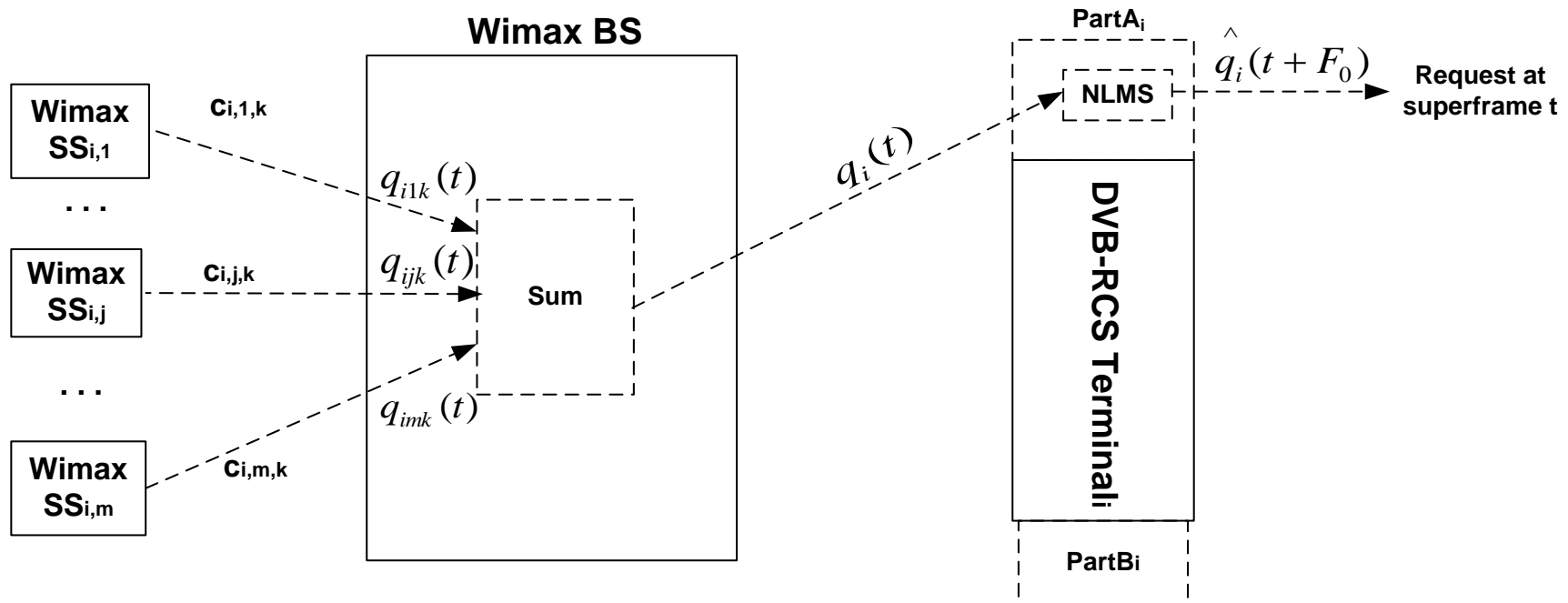
- Τα βάρη ενημερώνονται με χρήση του σφάλματος πρόβλεψης και του μεγέθους βήματος  $\mu_t$ .

# Επέκταση του Part A - VPNLMSa



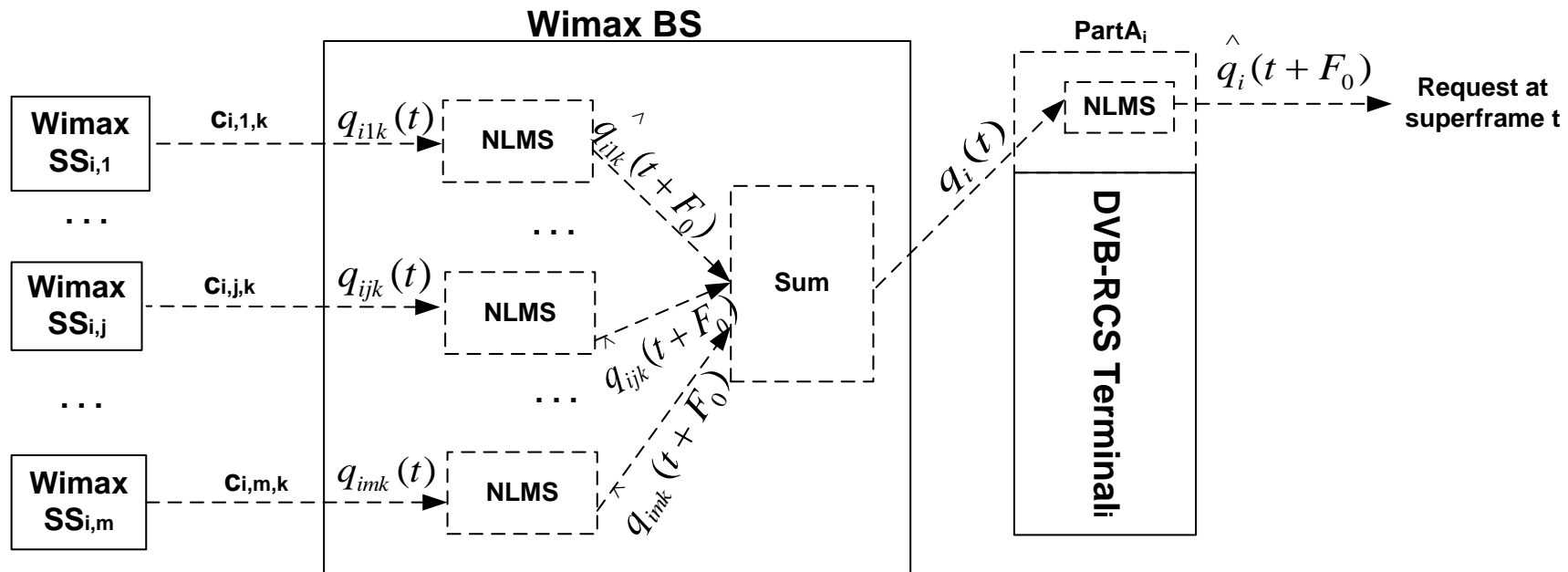
ο αλγόριθμος NLMS εφαρμόζεται σε κάθε σύνδεση rtPS του WiMAX ξεχωριστά

# Επέκταση του Part A - VPNLMSb



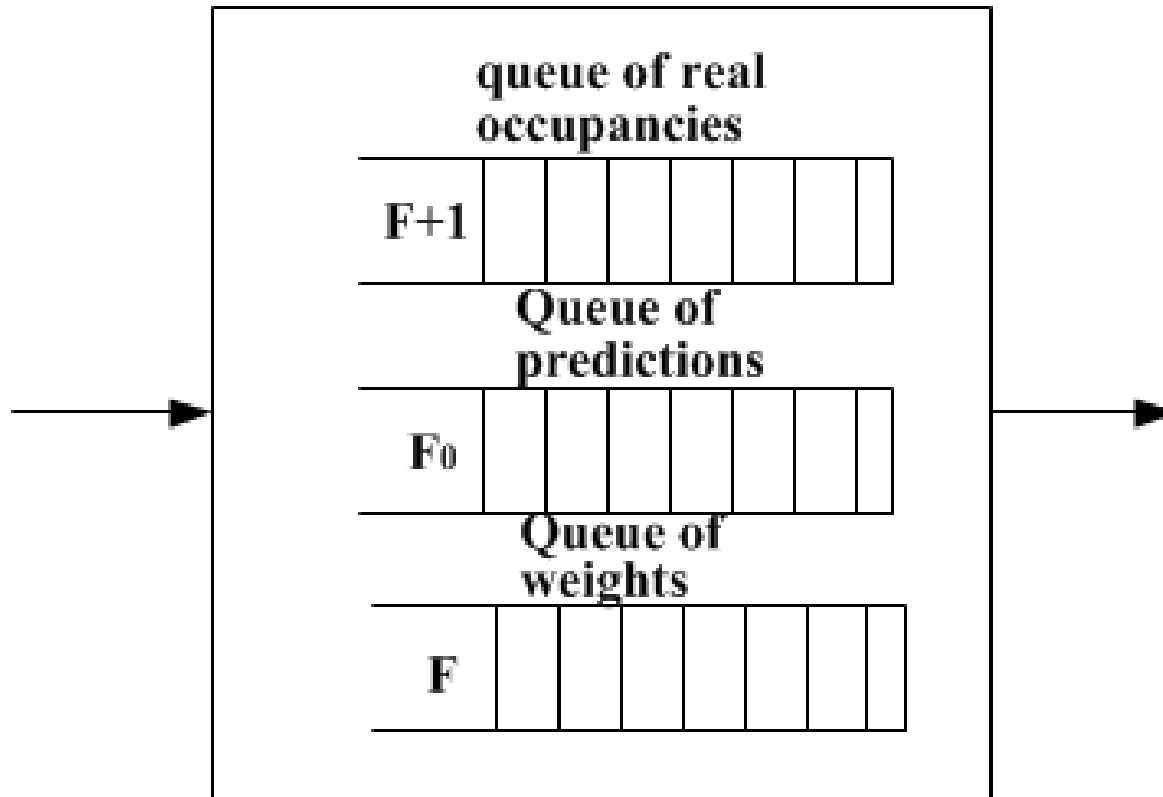
ο αλγόριθμος NLMS εφαρμόζεται στο άθροισμα των αιτήσεων των rtPS συνδέσεων του WiMAX

# Επέκταση του Part A - VPNLMSc



έναν συνδυασμό των δύο προηγούμενων και εφαρμόζεται τόσο στο τμήμα του WiMAX όσο και στο τμήμα του δορυφόρου NLMS εφαρμόζεται σε κάθε σύνδεση rtPS του WiMAX ξεχωριστά

# Επέκταση του Part A – NLMS τμήμα



Χρειάζεται

$(2 * F + 1 + F_0)$

θέσεις μνήμης

Και απαιτεί  $3 * F + 1$

πολλαπλασιασμούς

και  $(3 * F + 1)$

προσθέσεις.

Επομένως, η

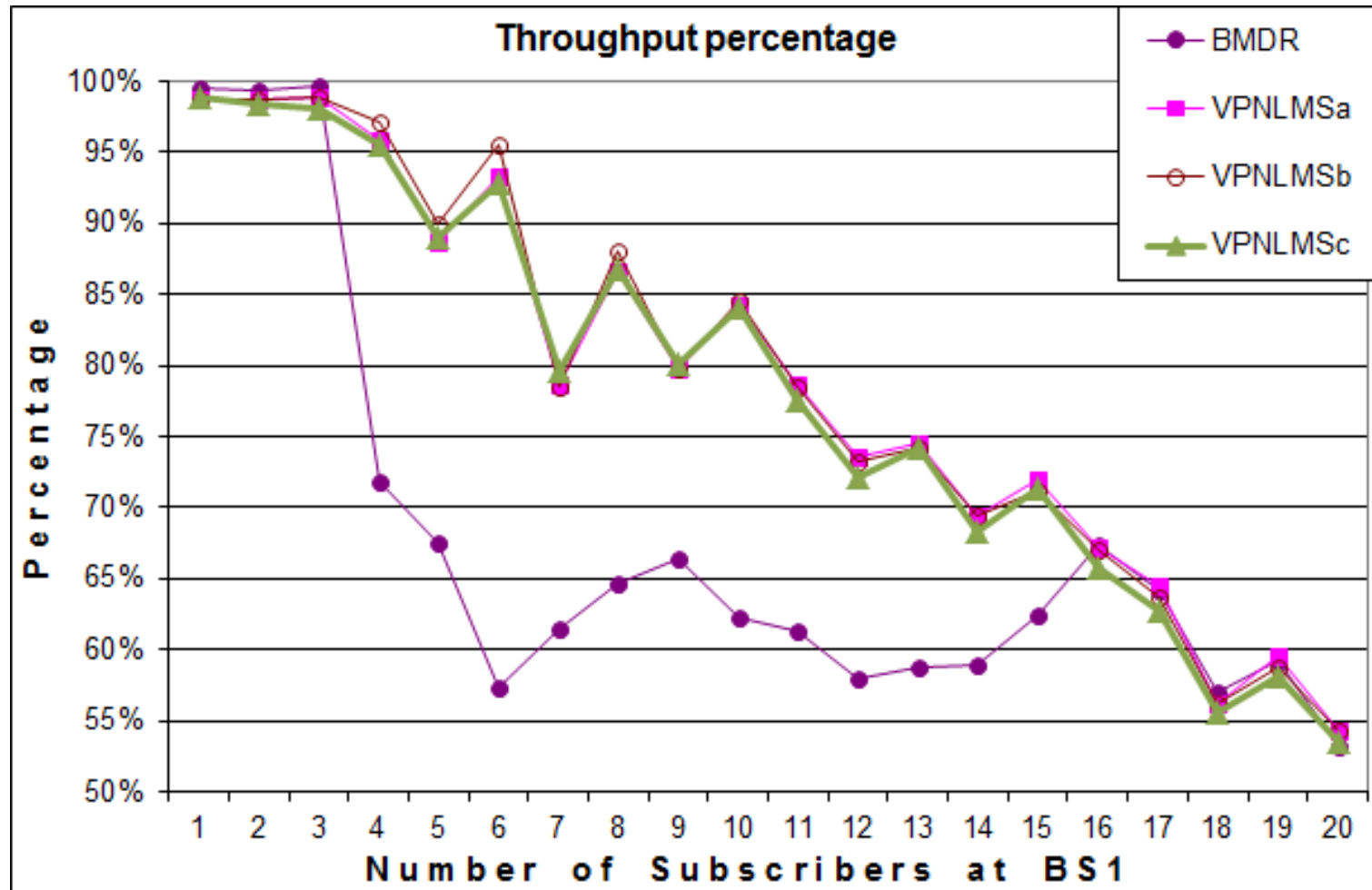
πολυπλοκότητα του

είναι  $O(F)$

*το VPNLMSb χρειάζεται το λιγότερο χώρο μνήμης και έχει τη μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα*

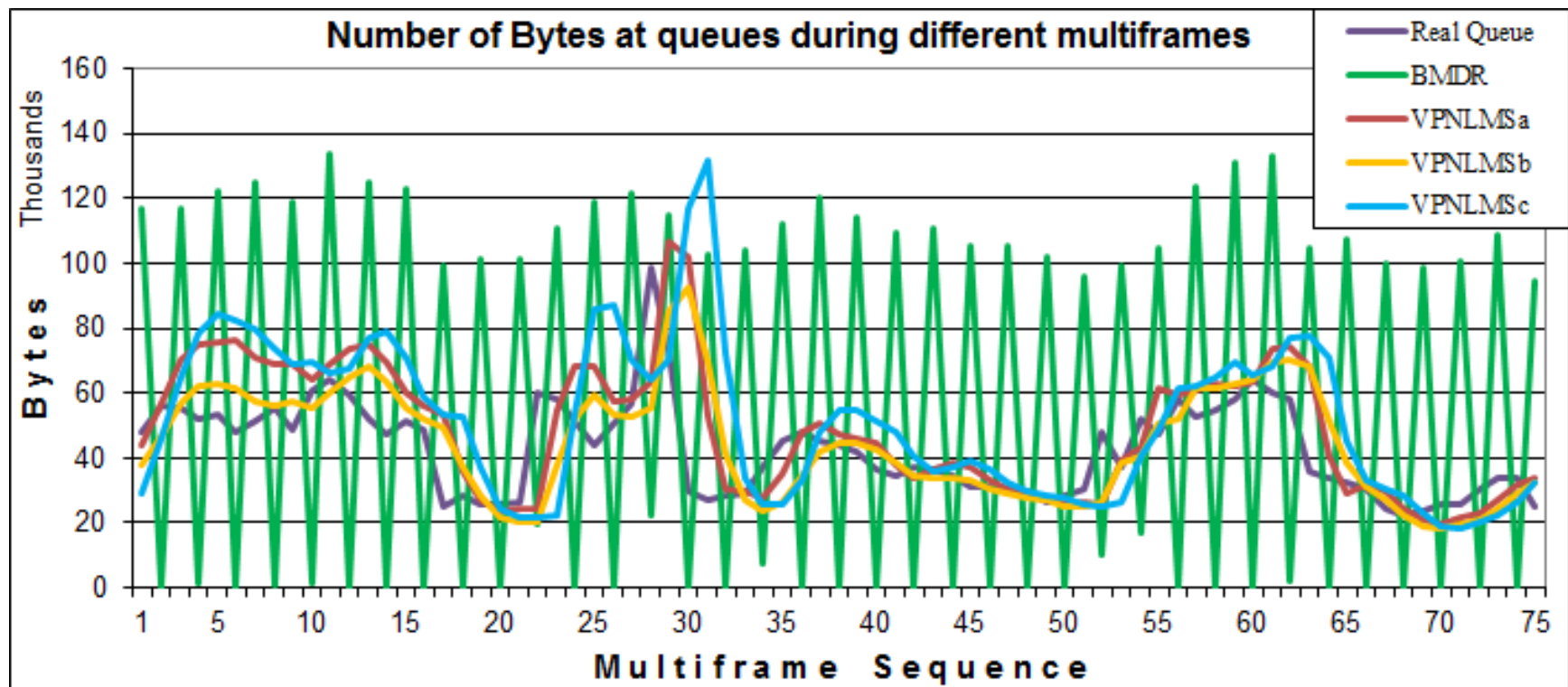


# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (1)



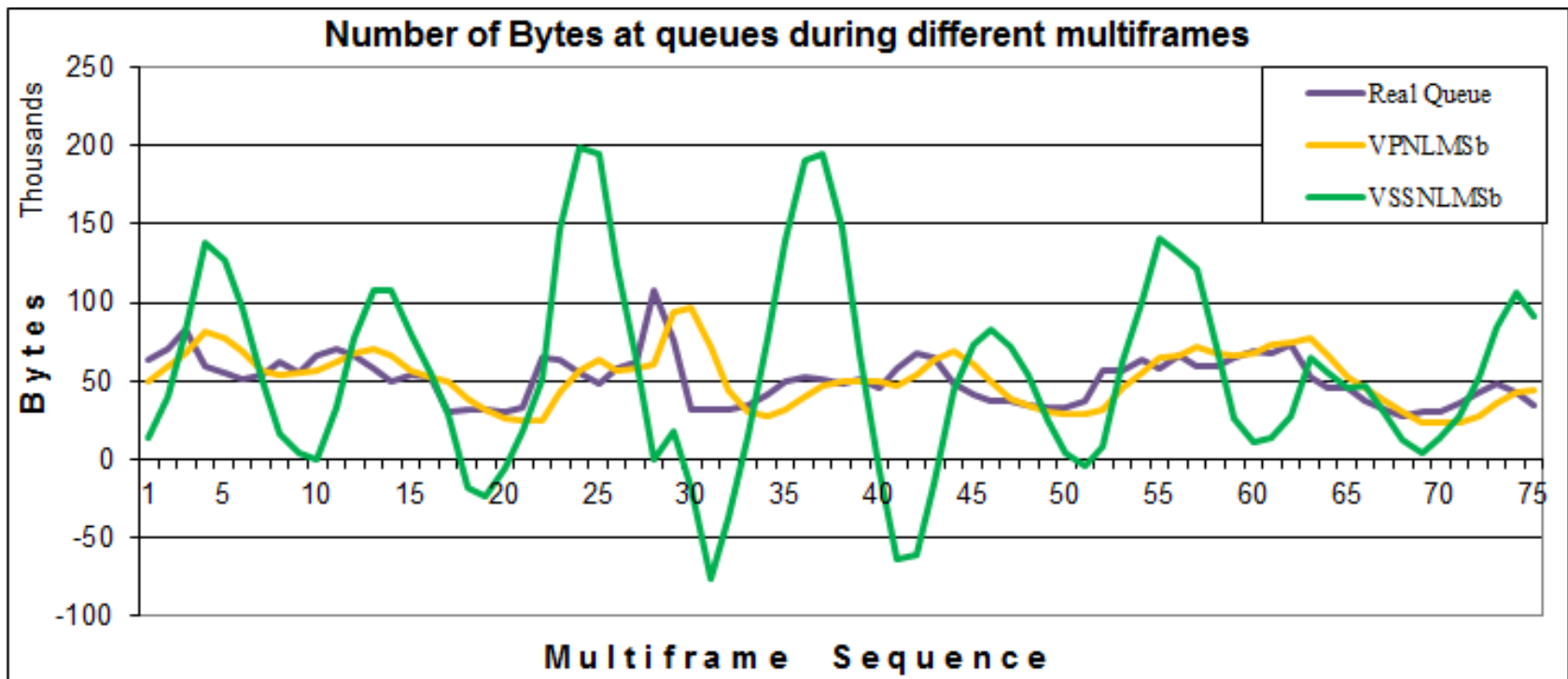
Ρυθμαπόδοση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (2)



Αιτήσεις για 4 Σταθμούς Συνδρομητές

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (3)



SNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων  $\alpha=0.94$ ,  $\gamma=0.5$ ,  $\mu_{\min}=0.05$ ,  $\mu_{\max}$

# Επέκταση του Part A - Συμπεράσματα

- επιβεβαιώνεται ότι είναι πολύ δύσκολη η προσαρμογή των μεταβλητών παραμέτρων του VSSNLMS αλγορίθμου ώστε να είναι πιο αποδοτικός από τον NLMS αλγόριθμο στο σύστημα μας
- Ο VPNLMSb κάνει την καλύτερη πρόβλεψη στην κίνηση των δεδομένων για την υπηρεσία rtPS, αφού τα αποτελέσματα του είναι πιο κοντά, σε σχέση με τους άλλους αλγορίθμους, στις πραγματικές του δικτύου
- ο VPNLMSb έχει τις μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις, αφού ο μηχανισμός της πρόβλεψης εκτελείται μόνο στο τερματικό BS/RCST για την συνολική κίνηση όλων των συνδέσεων του



# Επέκταση PartC - Στόχος

Βελτίωση του RTFS αλγορίθμου, ώστε να γίνεται ο χρονοπρογραμματισμός των rtPS συνδέσεων χρησιμοποιώντας QoE μετρικές.

Το QoE εκφράζει την ικανοποίηση του χρήστη υποκειμενικά και αντικειμενικά, που είναι οι δύο κύριες κατηγορίες QoE μετρικών. Το QoE σχετίζεται αλλά διαφοροποιείται από το QoS, το οποίο εμπεριέχει την λογική ότι τα χαρακτηριστικά του υλικού και λογισμικού μπορούν να μετρηθούν, να βελτιωθούν και ίσως να εγγυηθούν.



# Επέκταση PartC - FC-MDI

FC-MDI επεκτείνει την MDI που είναι δύο νούμερα : ο παράγοντας καθυστέρησης (DF) και ο ρυθμός απώλειας μέσου (MLR).

Το DF είναι μία χρονική τιμή που δείχνει πόσα milliseconds πρέπει να μπορεί να περιέχει η ενδιάμεση μνήμη ώστε να εξαλειφθεί το jitter, ενώ το MLR υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ του αριθμού των πακέτων που λήφθηκαν σε ένα χρονικό διάστημα και του αριθμού των πακέτων που αναμένονταν σε αυτό το διάστημα.



# Επέκταση PartC - FC-MDI

Η FC-MLR (Media Loss Rate based on Frame Classification) μετρική βελτιώνει τον ορισμό του MLR και παίρνει υπόψη της την κατηγοριοποίηση των frames ως εξής:

$$FC - MLR = \frac{\alpha * I_{P_{Loss}} + \beta * P_{P_{Loss}} + \gamma * B_{P_{Loss}}}{interval}$$

όπου  $\alpha, \beta, \gamma$  είναι βάρη με ( $3 \geq \alpha > \beta > \gamma \geq 0, \alpha + \beta + \gamma = 3$ ) και  $I_{P_{Loss}}, P_{P_{Loss}}$ , και  $B_{P_{Loss}}$  είναι αντίστοιχα ο αριθμός των χαμένων I, P και B frames





# Επέκταση PartC - FC\_MDI\_S αλγόριθμος

- 1) Πέταμα των πακέτων που έχουν λήξει λόγω καθυστέρησης.
- 2) Υπολογισμό της τιμής FC-MLR κάθε σύνδεσης βάσει της απώλειας των I, P, B frames στο προηγούμενο υπερπλαίσιο.
- 3) Ταξινόμηση των βιντεο συνδέσεων βάσει της FC-MLR τιμής των συνδέσεων που υπολογίστηκε στο βήμα b κάτω από δύο εκδόσεις.





# Επέκταση *PartC - FC\_MDI\_SG*

*FC\_MDI\_SG* έχει λογική απληστίας.

Οι συνδέσεις ταξινομούνται βάσει της FC-MLR τιμής με αύξουσα σειρά, από την καλύτερη ποιότητα προς την χειρότερη. Αυτό οδηγεί στη διατήρηση της ποιότητας κάποιων συνδέσεων και στο λιμό κάποιων άλλων συνδέσεων.

Μεταδίδει όλα τα πακέτα μιας κατηγορίας, δίνοντας προτεραιότητα στα I frames, μετά στα P frames και τελευταία στα B frames, και στη συνέχεια προχωράει σε πακέτα της ίδιας κατηγορίας άλλης σύνδεσης



# Επέκταση *PartC - FC\_MDI\_SF*

*FC\_MDI\_SG* έχει λογική δικαιοσύνης.

Οι συνδέσεις ταξινομούνται με την αντίθετη σειρά σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση από την χειρότερη ποιότητα προς την καλύτερη.

Μεταδίδει ένα πακέτο από μία κατηγορία από όλες τις συνδέσεις, και μετά το επόμενο πακέτο της ίδιας κατηγορίας από όλες τις συνδέσεις, μέχρι να εξαντληθούν όλα τα πακέτα αυτής της κατηγορίας. Μετά τη μετάδοση όλων των πακέτων της προηγούμενης κατηγορίας, προχωράει στην επόμενη κατηγορία δίνοντας προτεραιότητα στα I frames, στη συνέχεια στα P frames και τελευταία στα B frames.



# Παράδειγμα μετάδοσης πακέτων

$P_{3,3}$	$P_{1,3}$	$B_{2,1}$	$B_{3,1}$	$P_{3,2}$	$P_{2,2}$	$B_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$P_{3,1}$	$I_{3,1}$	$I_{2,1}$	$P_{1,1}$	$I_{1,1}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Packets of three connections to the rtPS\_queue of PartC

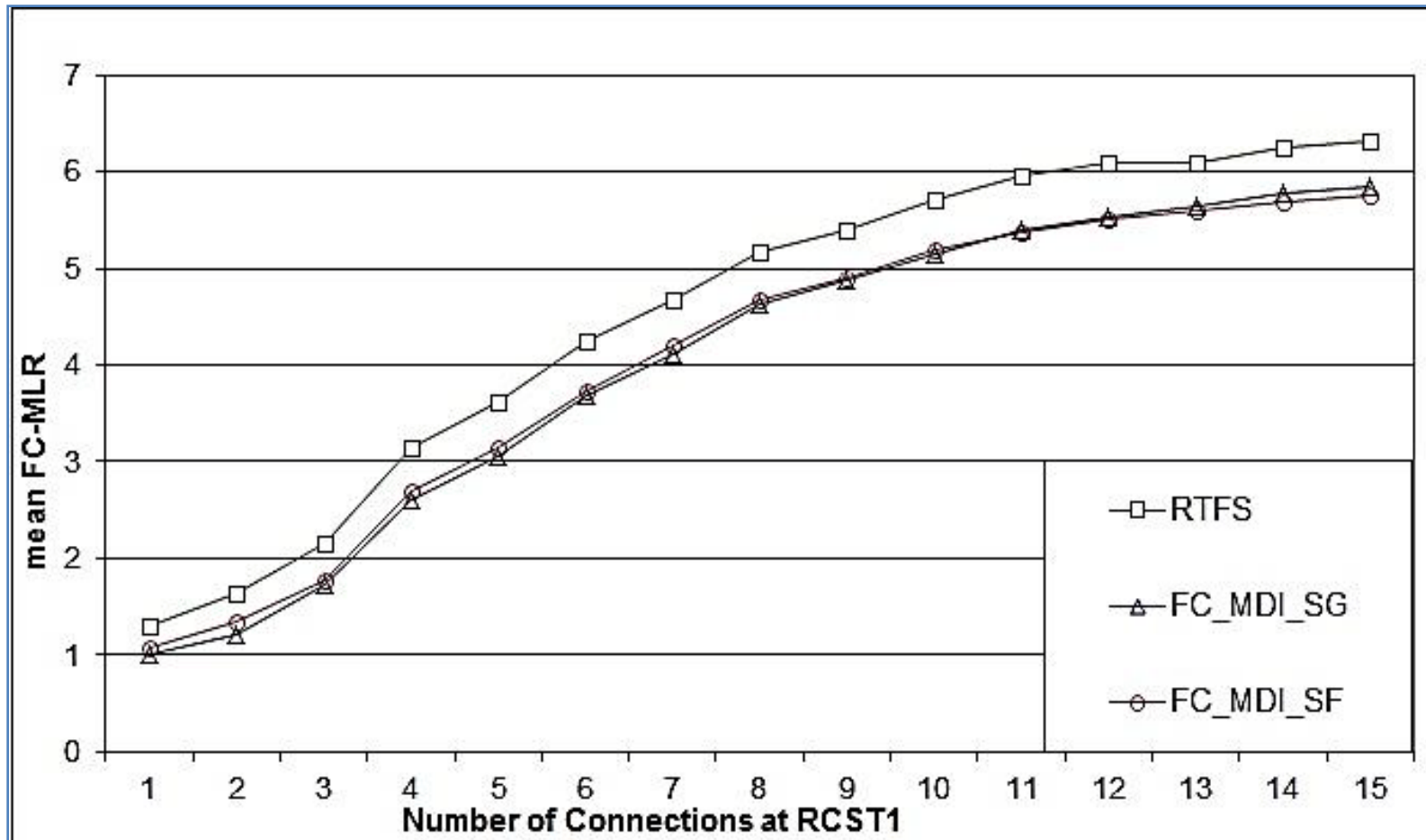
$B_{3,1}$	$B_{2,1}$	$B_{1,1}$	$P_{3,3}$	$P_{3,1}$	$P_{2,3}$	$P_{2,2}$	$P_{2,1}$	$P_{1,3}$	$P_{1,2}$	$P_{1,1}$	$I_{3,1}$	$I_{2,1}$	$I_{1,1}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Transmission of packets under FC\_MDI\_SG algorithm

$B_{3,1}$	$B_{2,1}$	$B_{1,1}$	$P_{3,3}$	$P_{1,3}$	$P_{3,2}$	$P_{2,2}$	$P_{1,2}$	$P_{3,1}$	$P_{2,1}$	$P_{1,1}$	$I_{3,1}$	$I_{2,1}$	$I_{1,1}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

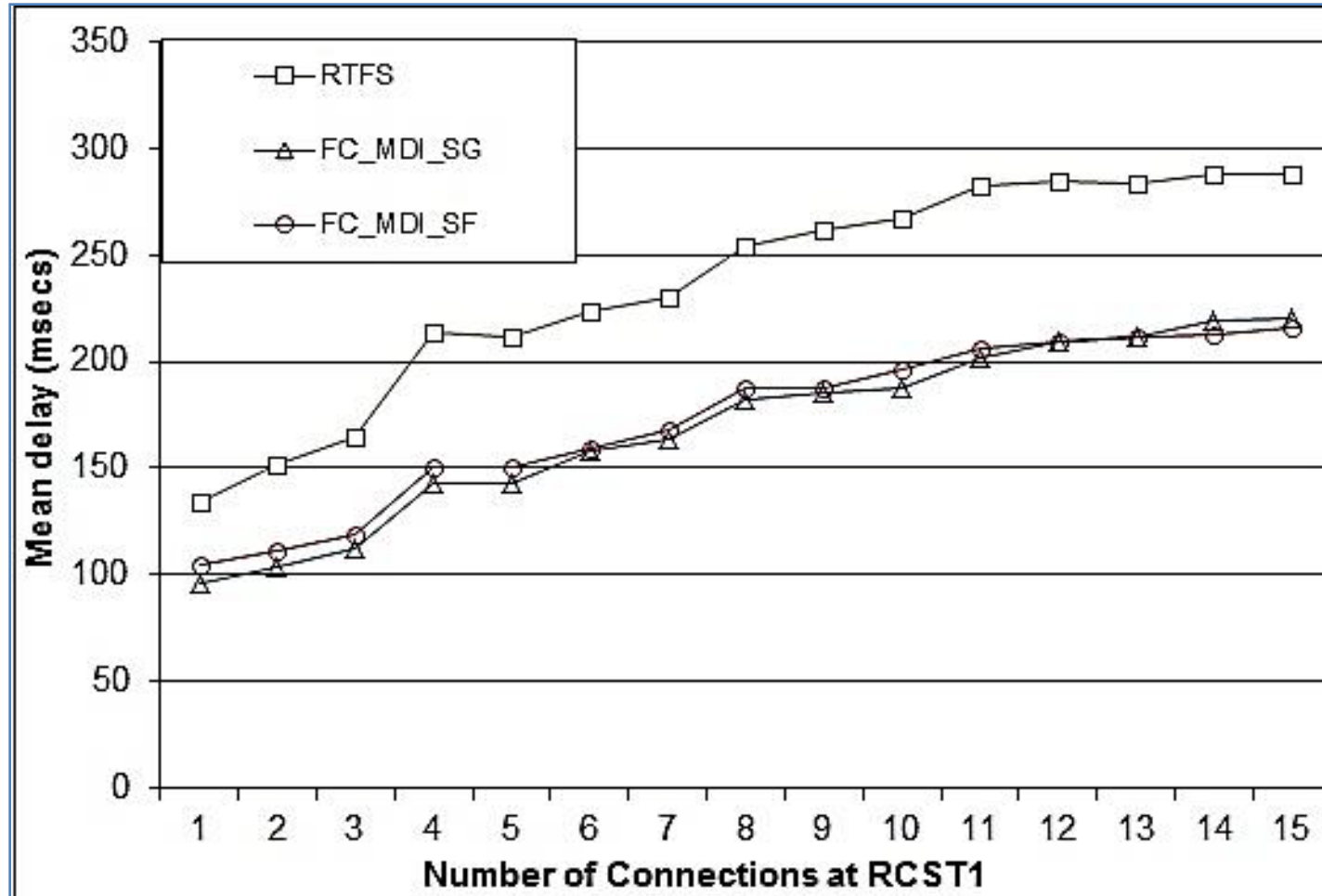
Transmission of packets under FC\_MDI\_SF algorithm

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (1)



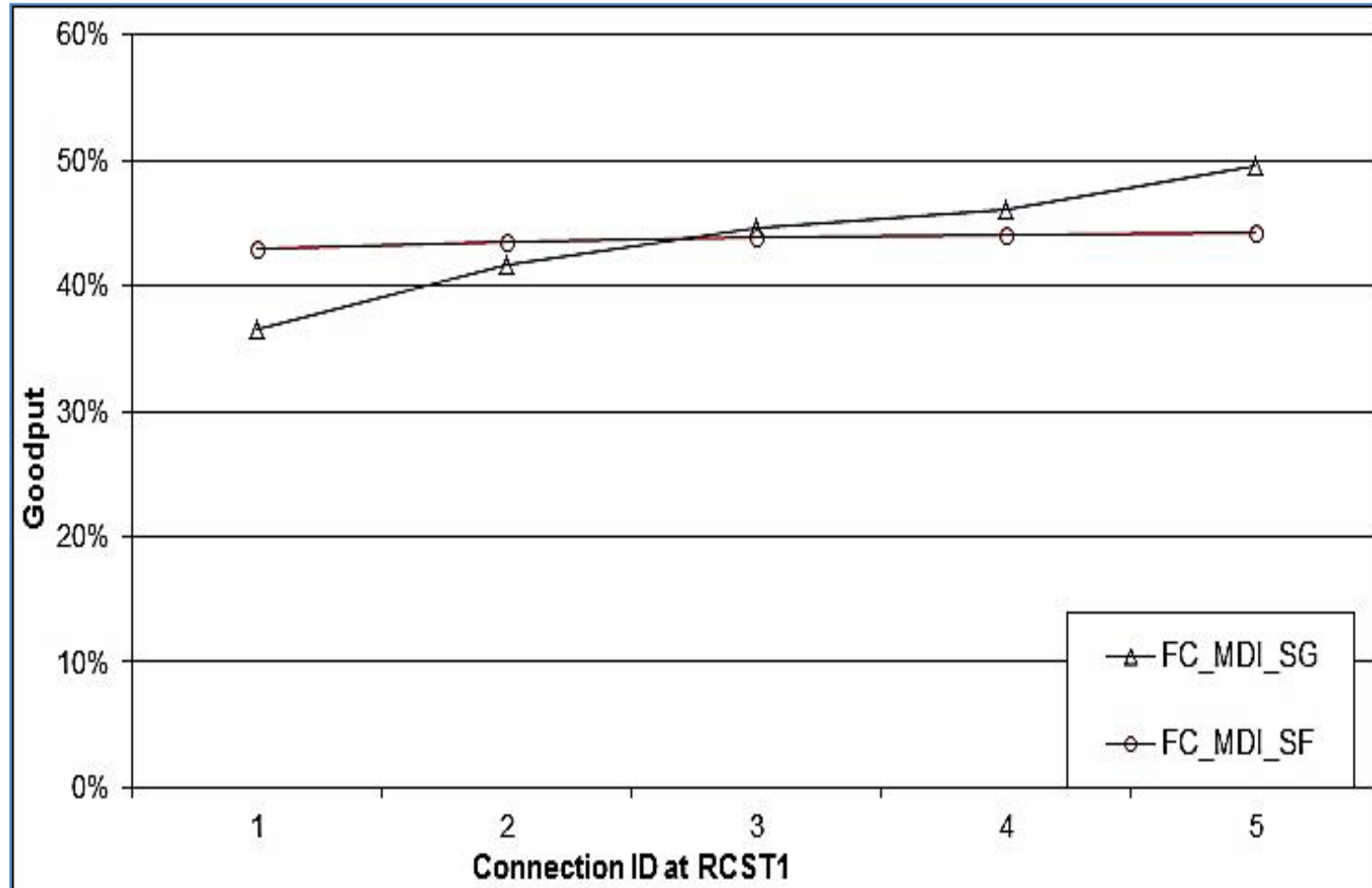
FC\_MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (2)



Μέση καθυστέρηση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (3)



Ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS



# Επέκταση PartC - Συμπέρασμα

Ο FC\_MDI\_S αλγόριθμος βελτιώνει την QoE απόδοση συγκριτικά με τον RTFS αλγόριθμο, και βελτιώνει σημαντικά τη μέση καθυστέρηση των συνδέσεων

# Επέκταση PartC (2)- LA-MDI μετρική

Ορίζεται ως DF:LA-MLR

LA-MLR βελτιώνει τον ορισμό του FC-MLR με στόχο να παίρνει υπόψη τα συνεχόμενα χαμένα frames ως εξής:

$$LA-MLR = \frac{\alpha * \frac{I_{P_{Loss}}}{ngI} + \beta * \frac{P_{P_{Loss}}}{ngP} + \gamma * \frac{B_{P_{Loss}}}{ngB}}{int\ erval}$$

Όσο μεγαλύτερη γίνεται η LA-MLR μετρική, τόσο χειρότερη γίνεται η ποιότητα του βίντεο





# Επέκταση PartC (2)- LA-MDI μετρική- Ομάδα χαμένων frames

Σε μία ακολουθία από frames χάνονται στις θέσεις 2, 5, 7, 9, 10, ..., οπότε παίρνουμε το επόμενο διάνυσμα απώλειας 1011010100....

Ο αριθμός των ομάδων των χαμένων frames είναι 4.

Ας υποθέσουμε ότι χάνονται τα frames που στέλνονται στις θέσεις 2, 3, 4, 5, 6, ... τότε παίρνουμε το επόμενο διάνυσμα απώλειας 1000001111....

Ο αριθμός των ομάδων των χαμένων frames είναι 1.

Και οι δυο περιπτώσεις έχουν την ίδια FC-MLR μετρική, ενώ η τιμή της LA-MLR μετρικής είναι χαμηλότερη στην πρώτη περίπτωση από την δεύτερη.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ομάδων των χαμένων frames, τόσο πιο διάσπαρτα είναι τα χαμένα frames, οπότε τόσο καλύτερη είναι η QoE.



# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoE αλγόριθμος

Στην αρχή κάθε υπερπλασίου:

- 1) Πετάει τα πακέτα που έχουν λήξει λόγω καθυστέρησης
- 2) Υπολογισμός της μέσης *LA-MLR* τιμής κάθε σύνδεσης βάσει των απωλειών των frames στο προηγούμενο υπερπλαίσιο.
- 3) Ταξινόμηση των συνδέσεων βάσει της μέσης *LA-MLR* τιμής με δύο εκδόσεις. Μία άπληστη (*LAQoEG*) και μία δίκαιη (*LAQoEF*)



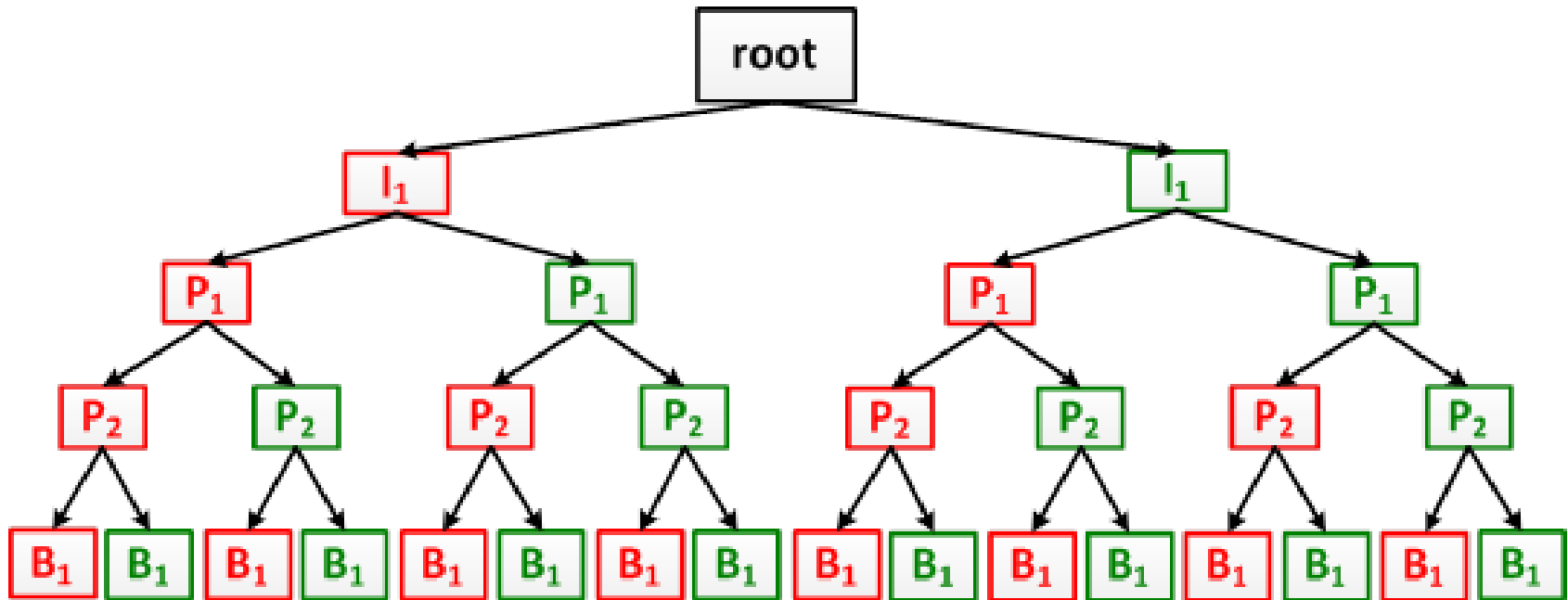
# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoE αλγόριθμος

- 4) Για κάθε σύνδεση, γνωρίζει τη διαθέσιμη χωρητικότητα για αυτή τη σύνδεση από το TBTP και κατασκευάζει το δυαδικό δένδρο QoET για αυτήν.

Στο QoET:

- Κάθε μονοπάτι του δένδρου αναπαριστά την μετάδοση ενός συνδυασμού πακέτων, όπου ένας κόκκινος κόμβος δείχνει ότι ένα πακέτο δεν μεταδίδεται και ένας πράσινος κόμβος ότι το πακέτο μεταδίδεται.
- Τα φύλλα του δένδρου περιέχουν επιπλέον την LA-MLR μετρική του συγκεκριμένου μονοπατιού

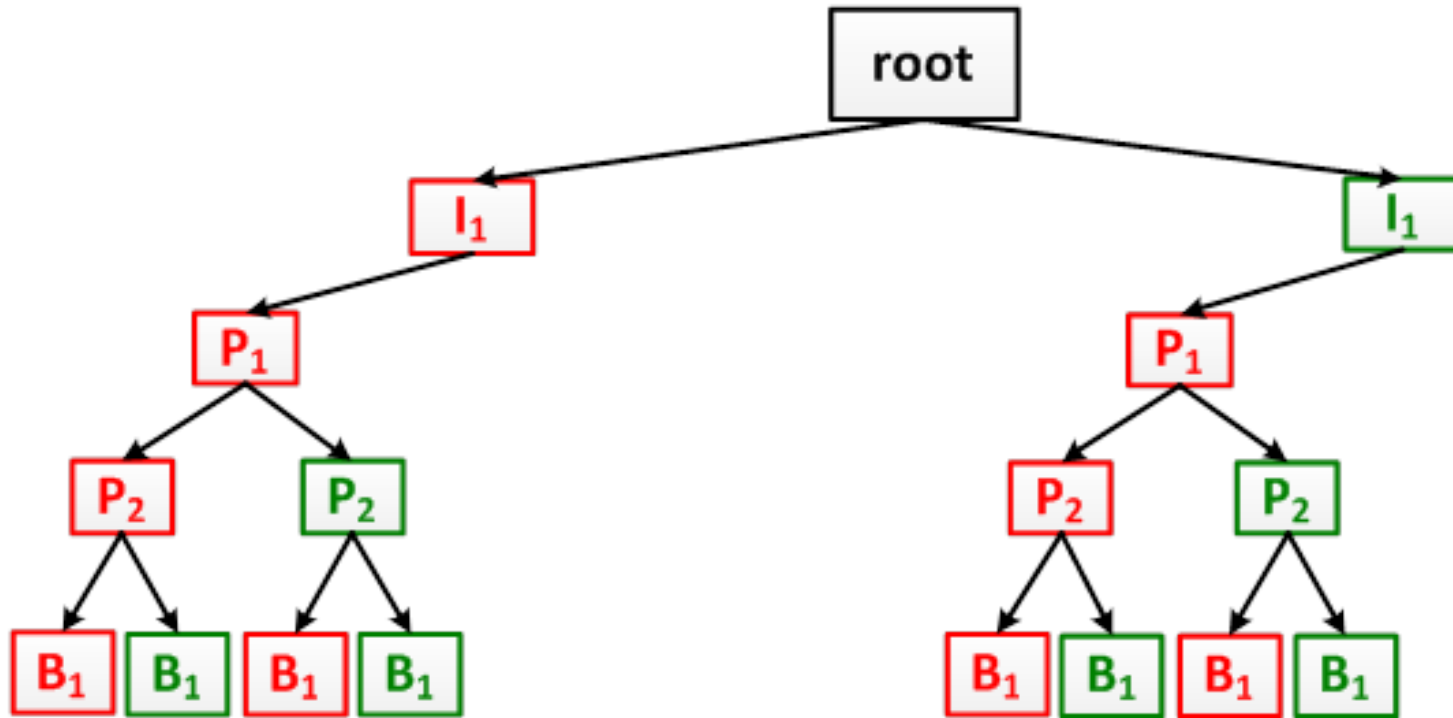
# Επέκταση PartC (2)- QoET



Το QoET για την ακολουθία πακέτων  $I_1P_1P_2B_1$

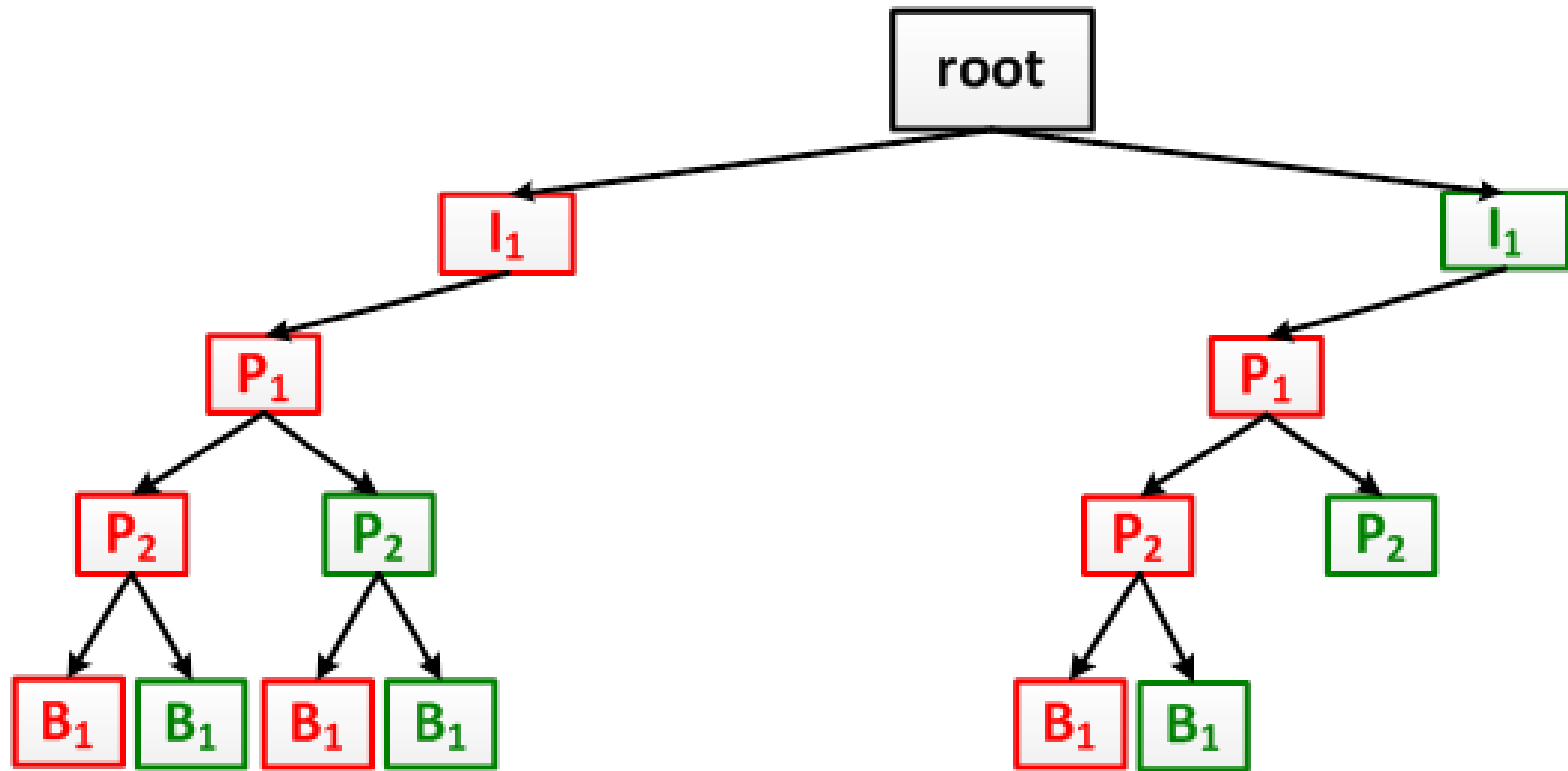


# Επέκταση PartC (2)- QoET



Το QoET για την ακολουθία πακέτων  $I_1P_1P_2B_1$  όπου το  $P_1$  έχει λήξει

# Επέκταση PartC (2)- QoET



Το QoET για την ακολουθία πακέτων  $I_1P_1P_2B_1$  όπου το  $P_1$  έχει λήξει και η διαθέσιμη χωρητικότητα της σύνδεσης ξεπερνιέται με την μετάδοση των  $I_1$  και  $P_2$  frames



# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoE αλγόριθμος

- 5) Επιλέγεται το μονοπάτι με την καλύτερη LA-MLR τιμή.
- 6) Η διαθέσιμη χωρητικότητα για την επόμενη σύνδεση μειώνεται από τα συνολικά bytes του επιλεγμένου μονοπατιού.
- 7) Για τα πακέτα που έχουν αφιχθεί σε αυτό το υπερπλαίσιο, χρησιμοποιείται η λογική του FC\_MDI\_S αλγορίθμου εφόσον υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα.
- 8) Η μετάδοση καθώς και το πέταμα των πακέτων προσμετρούνται στον υπολογισμό LA-MLR μετρικής των συνδέσεων του επόμενου υπερπλαισίου



# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoERA αλγόριθμος

Κάνει επιπλέον προσαρμογή ρυθμού (υψηλό-3, μεσαίο-2, χαμηλό-1). Πάνω από ένα κατώφλι, μεταδίδει σε χαμηλότερη ποιότητα.

Διαφοροποιείται στα εξής:

- 1) Η ταξινόμηση των συνδέσεων βίντεο βασίζεται στη μέση τιμή των τιμών της LA-MLR μετρικής των συνδέσεων και στο μέσο ρυθμό (mR) των συνδέσεων με μία άπληστη έκδοση (LAQoERAG) και μία δίκαιη (LAQoERAF). Στη LAQoERAG βάσει το mR τους σε φθίνουσα σειρά και στη συνέχεια βάσει του LA-MLR τους σε αύξουσα σειρά.





# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoERA αλγόριθμος

## 2) Διαφορές στο QoET:

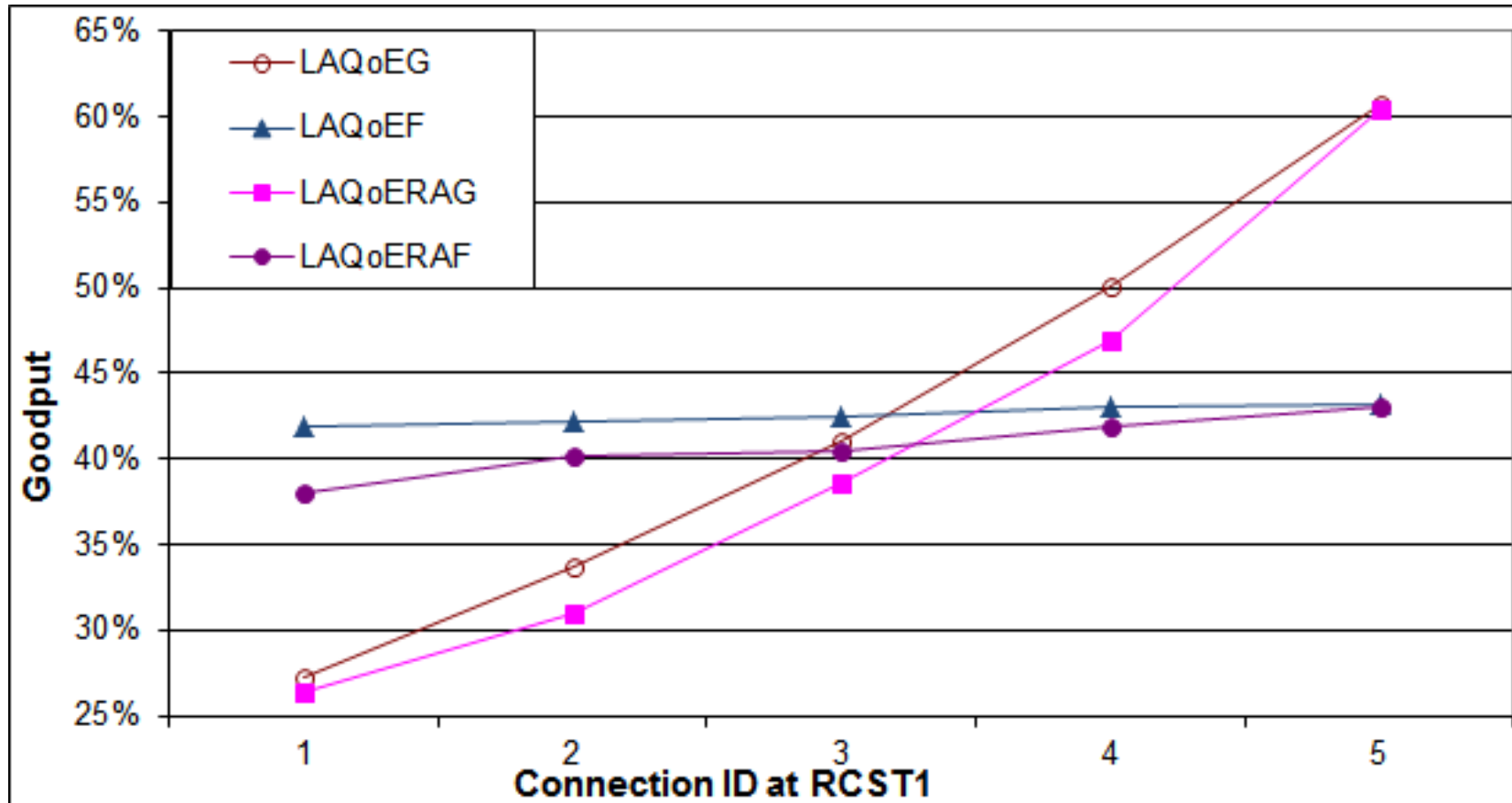
- Η ύπαρξη σημαιών σε κάθε μονοπάτι που δείχνουν αν υπάρχει η δυνατότητα αυτό το μονοπάτι να μεταδοθεί σε ρυθμό 3, 2 και 1. Η σημαία ενός ρυθμού γίνεται ψευδής μόνο όταν η χωρητικότητα ενός μονοπατιού ξεπερνά την διαθέσιμη χωρητικότητα αυτής της σύνδεσης.
- Αν οι σημαίες και των τριών ρυθμών είναι ψευδείς, τότε το μονοπάτι σταματάει.
- Η ύπαρξη σημαιών που δείχνουν την ύπαρξη ενός μονοπατιού σε ολόκληρο το δένδρο σε ρυθμό 3, ρυθμό 2 ή ρυθμό 1.



# Επέκταση PartC (2)- Ο LAQoERA αλγόριθμος

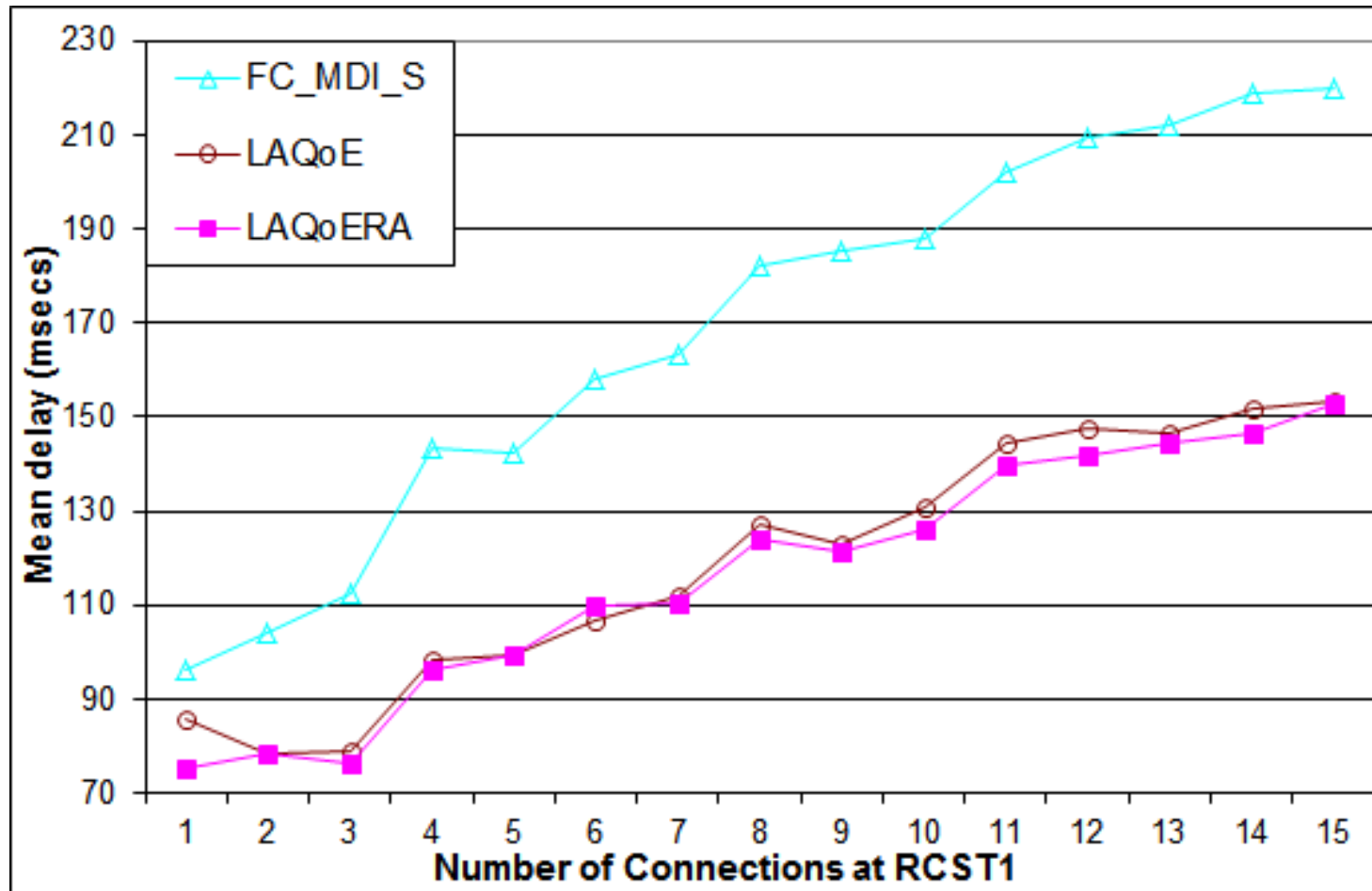
- 3) Επιλογή μονοπατιού με την καλύτερη LA-MLR τιμή στον καλύτερο ρυθμό που αυτή η σύνδεση έχει τη δυνατότητα να μεταδώσει:
- Αν η σημαία ολόκληρου του δένδρου για τον ρυθμό 3 είναι αληθής, τότε επιλέγεται από τα μονοπάτια που έχουν την αντίστοιχη σημαία στον ρυθμό 3 αληθή το μονοπάτι με την καλύτερη LA-MLR μετρική.

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (1)



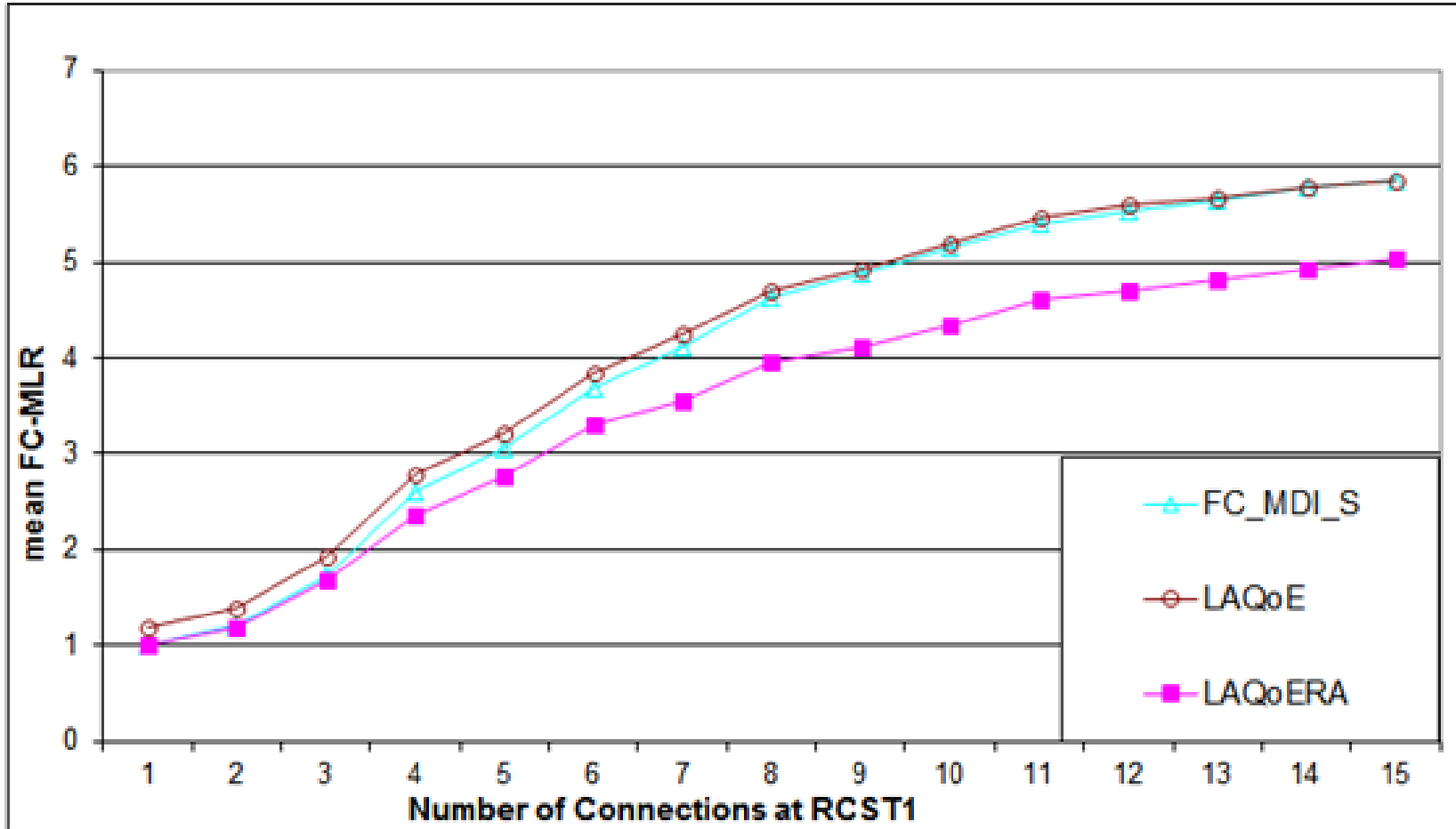
Η ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (2)



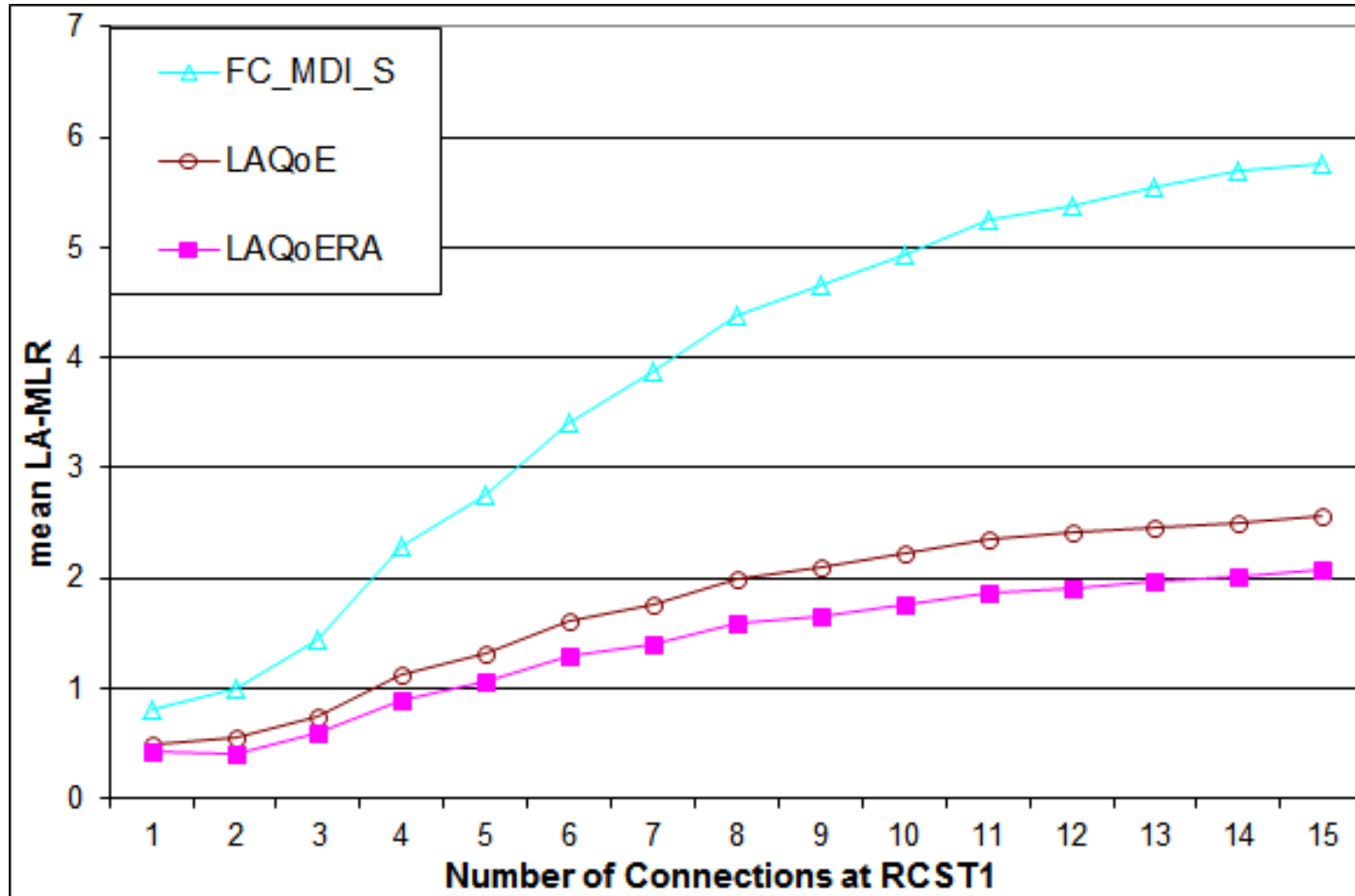
Μέση καθυστέρηση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (3)



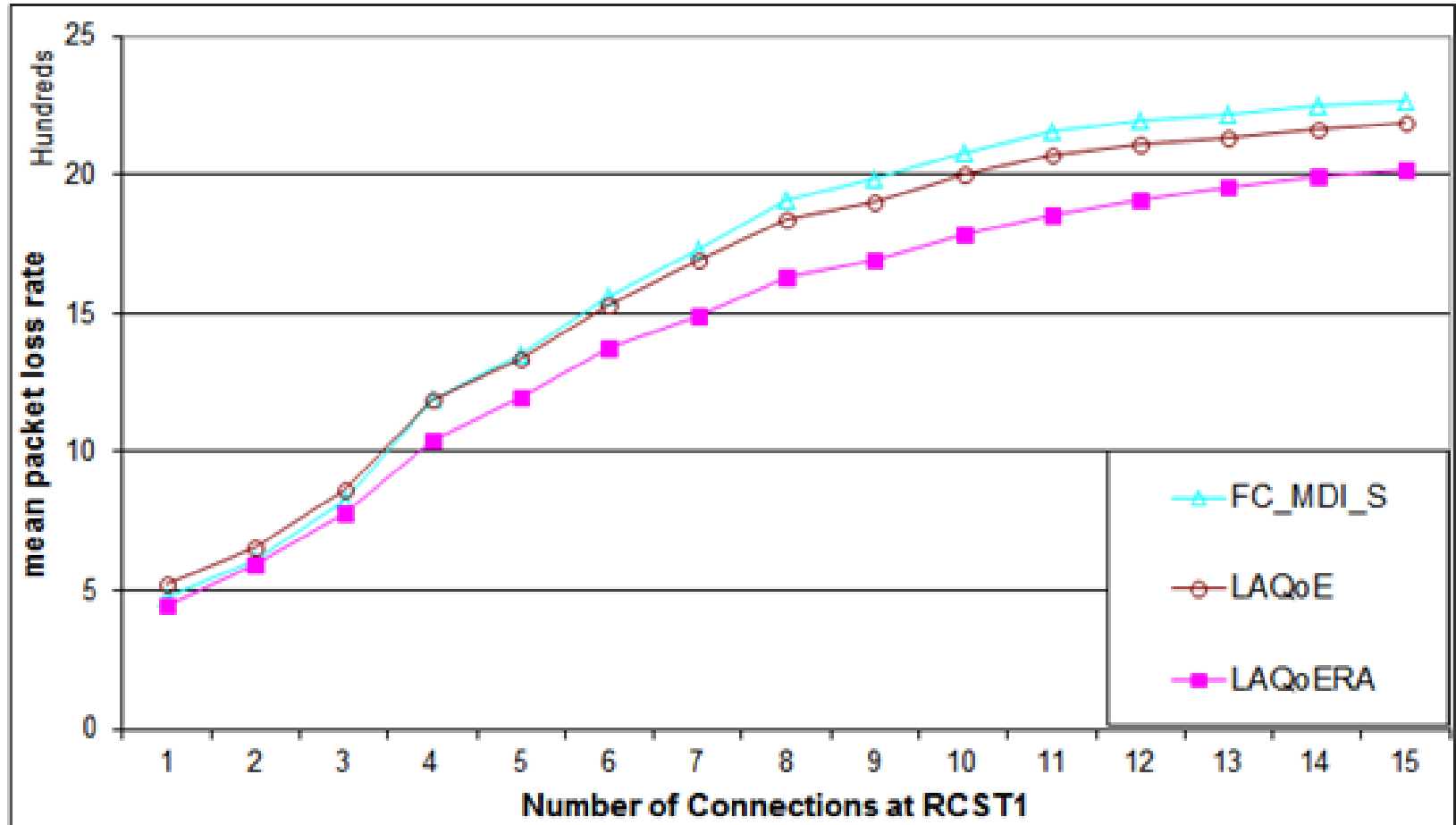
Μέση FC-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (4)



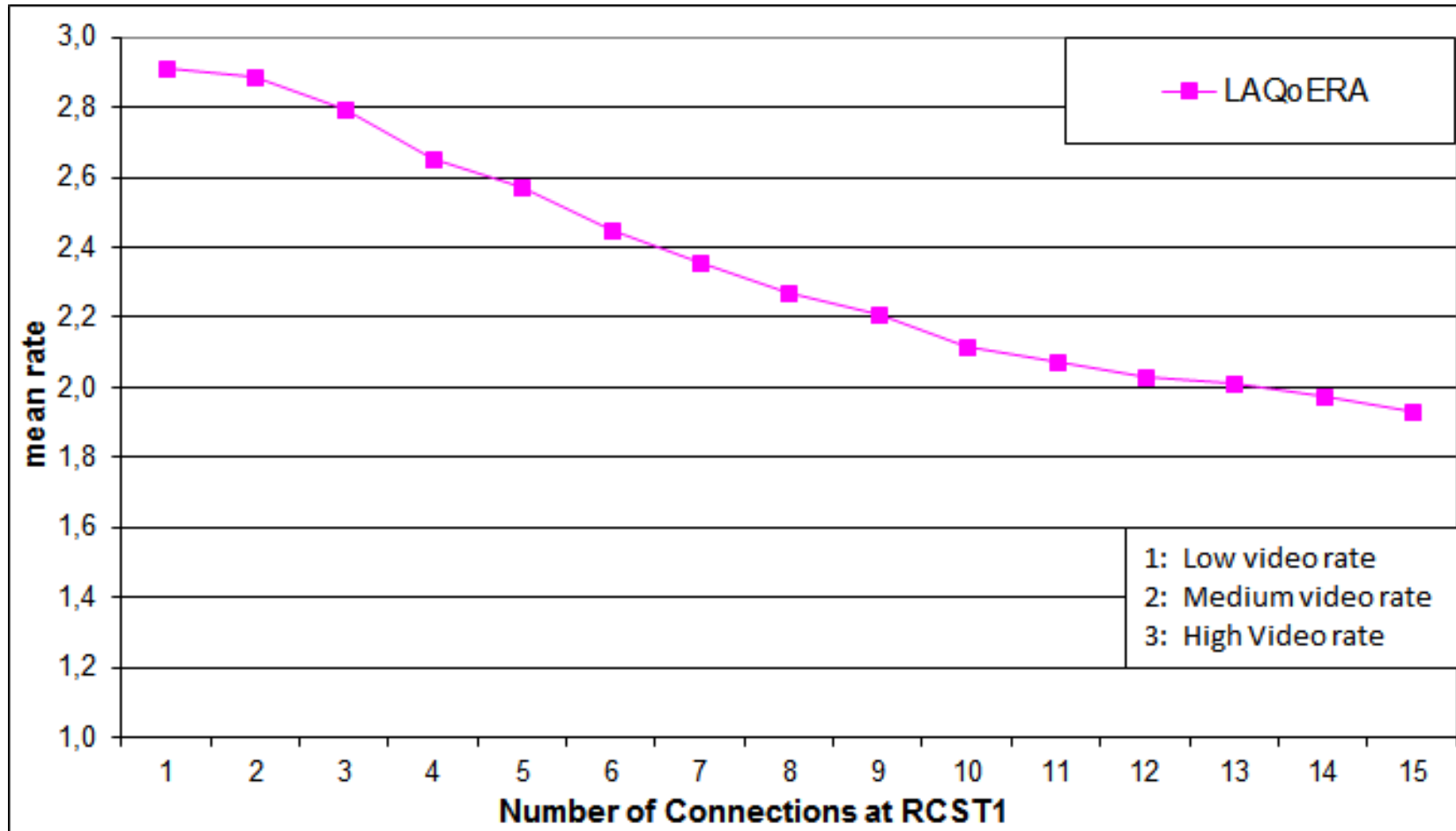
Μέση LA-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (5)



Ο ρυθμός απώλειας ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

# Αποτελέσματα Προσομοίωσης (6)



Μέσος ρυθμός των συνδέσεων ενός SS



# Επέκταση PartC (2)- Συμπέρασμα

- ο LAQoE αλγόριθμος μειώνει επιπλέον τη μέση καθυστέρηση των συνδέσεων και βελτιώνει την QoE απόδοση των βίντεο συνδέσεων συγκριτικά με τον FC\_MDI\_S.
- LAQoERA αλγόριθμος έχει την καλύτερη μέση καθυστέρηση και την QoE απόδοση στις βίντεο συνδέσεις, καθώς χάνει την λιγότερη από την πληροφορία που πρέπει να μεταδοθεί με την προσαρμογή του ρυθμού που κάνει.



Ευχαριστώ!