

Χωρητικότητα σταθμών φωνής σε Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

Μπρουζιούτης Χαρίσης

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης

20 Ιανουαρίου 2010



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Χαρακτηριστικά μελέτης

- Μετάδοση φωνής με πιθανή ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων
- Υπολογισμός χωρητικότητας σε *καλής ποιότητας* τηλεφωνικές κλήσεις



Μετάδοση φωνής

Βασικά χαρακτηριστικά

- Μετάδοση χωρίς επιβεβαίωση (RTP)
- Μετάδοση πακέτου μεγέθους l_{voice}
- Θεωρούμε n_{voice} σταθμούς φωνής
- Περιορισμοί ποιότητας στις συνθήκες του δικτύου
- Διαδεδομένα Codecs: G.711, G.729, G.723.1



Μετάδοση δεδομένων

Βασικά χαρακτηριστικά

- Μετάδοση με επιβεβαίωση (TCP)
- Μετάδοση πακέτου μεγέθους l_{data}
- Επιβεβαίωση με πακέτο μεγέθους l_{ack}
- Θεωρούμε n_{data} σταθμούς δεδομένων και $n_{ack} = n_{data}$ σταθμούς που επιβεβαιώνουν την αποστολή



Τι είναι χωρητικότητα;

Χωρητικότητα

Οι τηλεφωνικές κλήσεις (συνεδρίες), που μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα ικανοποιώντας συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιότητας.

Ποιότητα	Καθυστέρηση (ms)	Απόκλιση καθυστέρησης (ms)	Απώλεια πακέτων
Καλή	0 - 150	0 - 75	< 3%
Μεσαία	150 - 400	0 - 125	< 7%
Κακή	>400	0 - 225	> 7%



Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
 - Πλαίσια
 - Media Access Control
 - Σημαντικά χρονικά διαστήματα
- 2 Αναλυτικό Μοντέλο
- 3 Αποτελέσματα



Χρονική διάρκεια αποστολής πλαισίων

- Πλαίσιο Δεδομένων $T_H + \frac{l}{C}$
- Πλαίσιο Επιβεβαίωσης - ACK T_{ACK}
- Πλαίσιο RTS T_{RTS}
- Πλαίσιο CTS T_{CTS}

$C=11\text{Mbps}$



Πορεία

- 1 **IEEE 802.11b**
 - Πλαίσια
 - **Media Access Control**
 - Σημαντικά χρονικά διαστήματα
- 2 Αναλυτικό Μοντέλο
- 3 Αποτελέσματα



Distributed Coordination Function

Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)



Distributed Coordination Function

Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)
- Binary Exponential Backoff



Υποχώρηση - Binary Exponential Backoff

- Επιλογή αρχικής τιμής μετρητή υποχώρησης από $[0, W_j]$ για το στάδιο υποχώρησης j
- Μείωση μετρητή για κάθε slot σ αναμονής
- Πάγωμα μετρητή όσο γίνεται εκπομπή στο κανάλι
- Απόπειρα εκπομπής, όταν ο μετρητής γίνει μηδέν
- Σε αποτυχημένη μετάδοση (σύγκρουση), αύξηση σταδίου κατά ένα
- Αν $j > m$, το πλαίσιο απορρίπτεται



Υποχώρηση - Binary Exponential Backoff

Μέγεθος παραθύρου ανταγωνισμού στο στάδιο j

$$W_j = \begin{cases} 2^j \cdot CW_{min} & j \leq m \\ 2^{m'} \cdot CW_{min} & j > m' \end{cases}, j \in [0, m]$$

m όριο επανεκπομπών

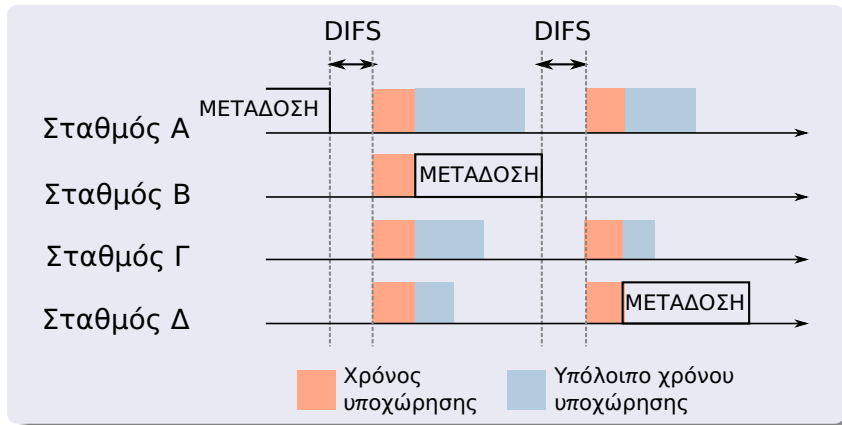
m' πλήθος μεγεθών παραθύρου

CW_{min} αρχικό μέγεθος παραθύρου

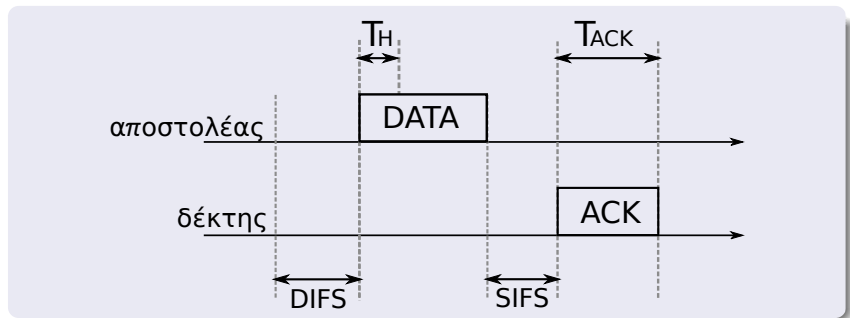


ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Distributed Coordination Function



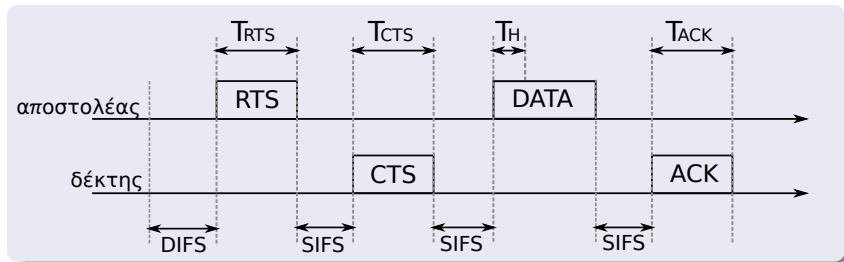
Basic Access



$$O^{bas} = O_c^{bas} = DIFS + T_H + SIFS + T_{ACK} + \delta$$



RTS / CTS



$$O^{RTS} = DIFS + T_H + T_{RTS} + 3SIFS + 4\delta + T_{CTS} + T_{ACK}$$

$$O_c^{RTS} = DIFS + T_{RTS} + \delta + SIFS + T_{CTS}$$



Hybrid mode

- Χρήση είτε Basic Access είτε RTS/CTS στο ίδιο δίκτυο
- Επιλογή μηχανισμού βάση μεγέθους πακέτου (Όριο RTS)



Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
 - Πλαίσια
 - Media Access Control
 - **Σημαντικά χρονικά διαστήματα**
- 2 Αναλυτικό Μοντέλο
- 3 Αποτελέσματα



Μέσος χρόνος καθυστέρησης

Ο μέσος χρόνος που ένας σταθμός φωνής καθυστερεί περιμένοντας να στείλει σε ένα slot

$$E[slot] = (1 - P_{tr}) \cdot \sigma + P_{tr} \cdot P_s \cdot T_s + P_{tr} \cdot (1 - P_s) \cdot T_c$$

Είναι

- Ίσος με το χρόνο σ ενός slot, όταν δεν εκπέμπει κανείς άλλος σταθμός
- Ίσος με το μέσο χρόνο επιτυχούς εκπομπής T_s , όταν υπάρχει επιτυχημένη εκπομπή
- Ίσος με το μέσο χρόνο σύγκρουσης T_c , όταν υπάρχει ανεπιτυχής εκπομπή



Βασικές πιθανότητες p , τ

Θεωρούμε δύο βασικές πιθανότητες

- Γενική πιθανότητα σύγκρουσης, p
- Γενική πιθανότητα μετάδοσης, τ



Πιθανότητες μεταδόσεων των υπολοίπων $n - 1$ σταθμών

Πιθανότητα εκπομπής

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$$

Πιθανότητα επιτυχίας εκπομπής

$$P_s = \frac{(n - 1) \cdot \tau \cdot (1 - \tau)^{n-2}}{1 - (1 - \tau)^{n-1}}$$

Η πιθανότητα, ότι ακριβώς ένας από τους $n - 1$ σταθμούς εκπέμπει δεδομένου, ότι υπάρχει εκπομπή

Διάρκεια επιτυχών εκπομπών

Διάρκεια επιτυχούς εκπομπής φωνής

$$T_S^{voice} = O^{bas} + \frac{l_{voice}}{C}$$

Μέση διάρκεια επιτυχούς εκπομπής

$$T_S = \left(O^{RTS} + \frac{l_{data}}{C} \right) \frac{n_{data}}{n-1} + \left(O^{bas} + \frac{l_{ack}}{C} \right) \frac{n_{ack}}{n-1} + \left(O^{bas} + \frac{l_{voice}}{C} \right) \frac{n_{voice}-1}{n-1}$$

Διάρκεια ανεπιτυχών εκπομπών

Διάρκεια ανεπιτυχούς εκπομπής φωνής

$$T_c^{voice} = O_c^{RTS}$$

Μέση διάρκεια ανεπιτυχούς εκπομπής

$$T_c = \left(O_c^{bas} + \frac{l_{ack}}{C} \right) \sum_{k=2}^{n-1} P_k P_{ack,k} + O_c^{RTS} \sum_{k=2}^{n-1} P_k P_{data,k} \\ + \left(O_c^{bas} + \frac{l_{voice}}{C} \right) \sum_{k=2}^{n-1} P_k P_{voice,k}$$

Μέση διάρκεια ανεπιτυχούς εκπομπής

Η πιθανότητα ακριβώς k από $n - 1$ σταθμούς να εμπλέκονται σε μία σύγκρουση

$$P_k = \binom{n-1}{k} \frac{\tau^k (1-\tau)^{n-1-k}}{P_{tr}(1-P_s)}$$

Οι πιθανότητες το μεγαλύτερο πακέτο που εμπλέκεται σε μία σύγκρουση k σταθμών να είναι ACK, φωνής ή δεδομένων αντίστοιχα

$$P_{ack,k} = \prod_{r=0}^{k-1} \frac{n_{ack} - r}{n - 1 - r}$$

$$P_{voice,k} = 1 - \prod_{r=0}^{k-1} \frac{n_{data} + n_{ack} - r}{n - 1 - r}$$

$$P_{data,k} = 1 - P_{ack,k} - P_{voice,k}$$

$$2 \leq k \leq n - 1$$



Τι καταφέραμε;

Μπορούμε να υπολογίσουμε τα χρονικά διαστήματα $E[slot]$, T_s , T_s^{voice} , T_c και T_c^{voice} συναρτήσει των βασικών πιθανοτήτων p και τ .

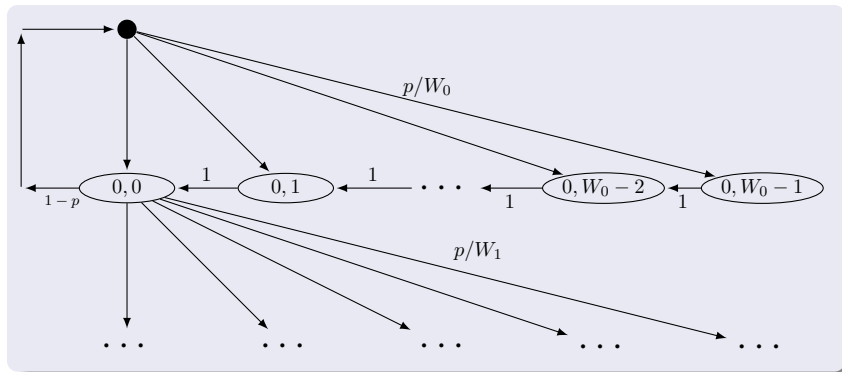


Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
- 2 **Αναλυτικό Μοντέλο**
 - Αλυσίδα Markov
 - Πιθανότητα Απόρριψης Πακέτων
 - Μέση Καθυστέρηση Πακέτων
 - Απόκλιση Καθυστέρησης Πακέτων - Jitter
- 3 Αποτελέσματα



Μηχανισμός Υποχώρησης/Μετάδοσης

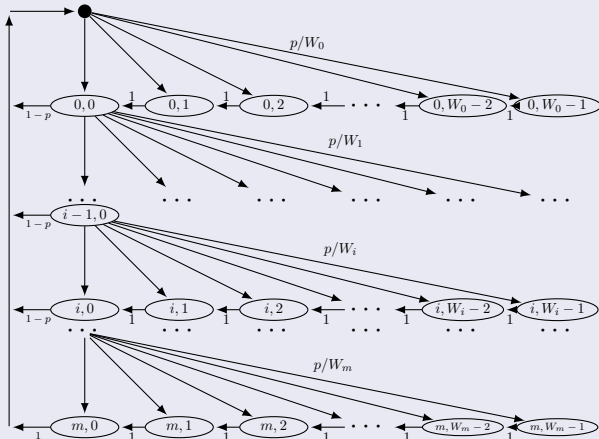


Δυσδιάστατη στοχαστική διαδικασία $\{s(t), b(t)\}$:

$b(t)$: Μετρητής υποχώρησης τη χρονική στιγμή t

$s(t)$: Στάδιο υποχώρησης τη χρονική στιγμή t

Αλυσίδα Markov



$\{s(t), b(t)\}$

Βασικές πιθανότητες p , τ

Πιθανότητα σύγκρουσης, p

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$$

Πιθανότητα μετάδοσης, τ

$$\tau = \frac{2(1-2p)(1-p^{m+1})}{W(1-(2p)^{m'+1})(1-p) + (1-2p)[(1-p^{m+1}) + W2^{m'} p^{m'+1}(1-p^{m-m'})]}$$

για $m > m'$

$p \in [0, 1]$, $\tau \in [0, 1]$



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
- 2 **Αναλυτικό Μοντέλο**
 - Αλυσίδα Markov
 - **Πιθανότητα Απόρριψης Πακέτων**
 - Μέση Καθυστέρηση Πακέτων
 - Απόκλιση Καθυστέρησης Πακέτων - Jitter
- 3 Αποτελέσματα



Πιθανότητα Απόρριψης Πακέτων P_{drop}

Η πιθανότητα ένα πακέτο να ξεπεράσει το όριο επανεκπομπής m και να απορριφθεί.

$$P_{drop} = p^{m+1}$$



Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
- 2 **Αναλυτικό Μοντέλο**
 - Αλυσίδα Markov
 - Πιθανότητα Απόρριψης Πακέτων
 - **Μέση Καθυστέρηση Πακέτων**
 - Απόκλιση Καθυστέρησης Πακέτων - Jitter
- 3 Αποτελέσματα



Μέση Καθυστέρηση Πακέτων, $E[D^{voice}]$

Ο μέσος όρος των μέσων καθυστερήσεων μετάδοσης από τα m στάδια, ζυγισμένος ως προς την πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης από το αντίστοιχο στάδιο.

$$E[D^{voice}] = \sum_{j=0}^m \left(E[D_j^{voice}] \cdot Q_j \right)$$



Πιθανότητα επιτυχούς εκπομπής από το στάδιο j , Q_j

Η πιθανότητα για επιτυχημένη εκπομπή μετά από j συγκρούσεις δεδομένου, ότι το πακέτο δεν απορρίπτεται.

$$Q_j = \frac{(1-p)p^j}{1-p^{m+1}}, \quad 0 \leq j \leq m$$



Μέση καθυστέρηση από το στάδιο j , $E[D_j^{voice}]$

Ο χρόνος επιτυχούς μετάδοσης φωνής συν το χρόνο που σπαταλήθηκε σε συγκρούσεις τα τελευταία j στάδια σύν το μέσο χρόνο που περιμέναμε (backoff) για j στάδια

$$E[D_j^{voice}] = T_s^{voice} + j \cdot T_c^{voice} + E[slot] \cdot \sum_{i=0}^j \frac{(W_i - 1)}{2}$$
$$0 \leq j \leq m$$



Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
- 2 **Αναλυτικό Μοντέλο**
 - Αλυσίδα Markov
 - Πιθανότητα Απόρριψης Πακέτων
 - Μέση Καθυστέρηση Πακέτων
 - **Απόκλιση Καθυστέρησης Πακέτων - Jitter**
- 3 Αποτελέσματα



Απόκλιση Καθυστέρησης Πακέτων - J^{voice}

Φόρμουλα τυπικής απόκλισης

$$J^{voice} = \sqrt{E[D^{voice^2}] - (E[D^{voice}])^2}$$

Ο πρώτος όρος άγνωστος

$$E[D^{voice^2}] = \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^{W_j-1} ((E[D_{j,i}^{voice}])^2 P_j)$$



Πιθανότητα επιτυχούς εκπομπής από το στάδιο j έχοντας επιλέξει i , P_j

Η πιθανότητα για επιτυχημένη εκπομπή από το στάδιο j επί την πιθανότητα επιλογής της τιμής i για τον μετρητή υποχώρησης στο στάδιο j .

$$P_j = \frac{1}{W_j} Q_j, \quad 0 \leq j \leq m$$

Υποθέτοντας κανονική κατανομή στο διάστημα $[0, W_j - 1]$, η πιθανότητα επιλογής της τιμής i στο στάδιο j είναι $1/W_j$, ανεξάρτητη του i .

Μέση καθυστέρηση επιτυχούς μετάδοσης από το στάδιο j έχοντας επιλέξει i , $E[D_{j,i}^{voice}]$

Ο χρόνος επιτυχούς μετάδοσης φωνής συν το χρόνο που σπαταλήθηκε σε συγκρούσεις τα τελευταία j στάδια σύν το μέσο χρόνο που περιμέναμε (backoff) για $j - 1$ στάδια σύν το χρόνο που περιμέναμε στο τελευταίο στάδιο, όπου επιλέχθηκε i

$$E[D_{j,i}^{voice}] = T_s^{voice} + j \cdot T_c^{voice} + E[slot] \cdot \left(\sum_{k=0}^{j-1} \frac{W_k - 1}{2} + i \right)$$

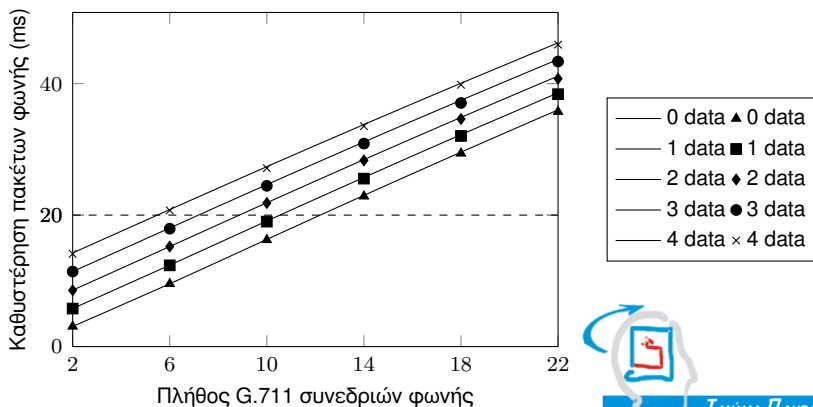
όπου $0 \leq j \leq m$, $0 \leq i \leq W_j - 1$

Πορεία

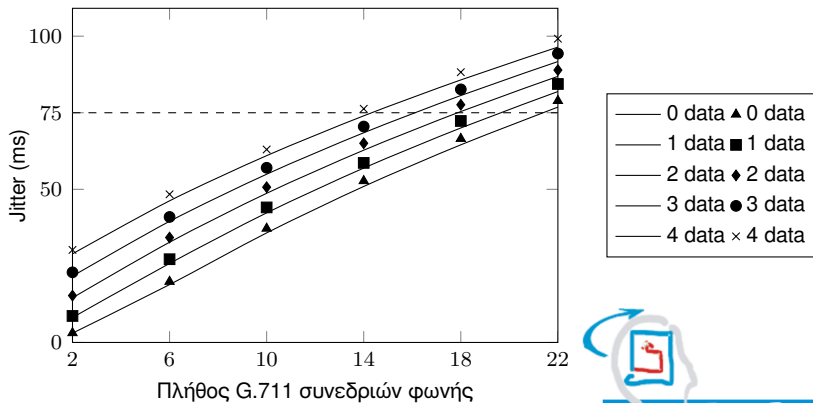
- 1 IEEE 802.11b
- 2 Αναλυτικό Μοντέλο
- 3 **Αποτελέσματα**
 - **Επιβεβαίωση Αναλυτικού Μοντέλου**
 - Χωρητικότητα



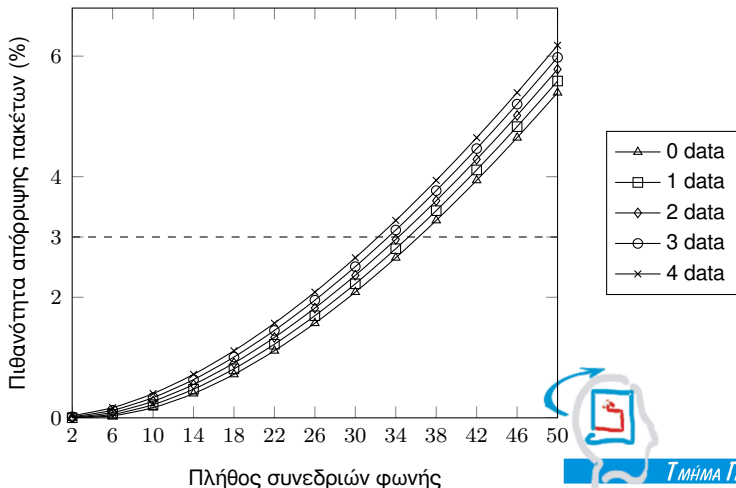
Καθυστέρηση G.711 / Πλήθος συνεδριών



G.711 Jitter / Πλήθος συνεδριών



Πιθανότητα απόρριψης / Πλήθος συνεδριών



Πορεία

- 1 IEEE 802.11b
- 2 Αναλυτικό Μοντέλο
- 3 **Αποτελέσματα**
 - Επιβεβαίωση Αναλυτικού Μοντέλου
 - Χωρητικότητα

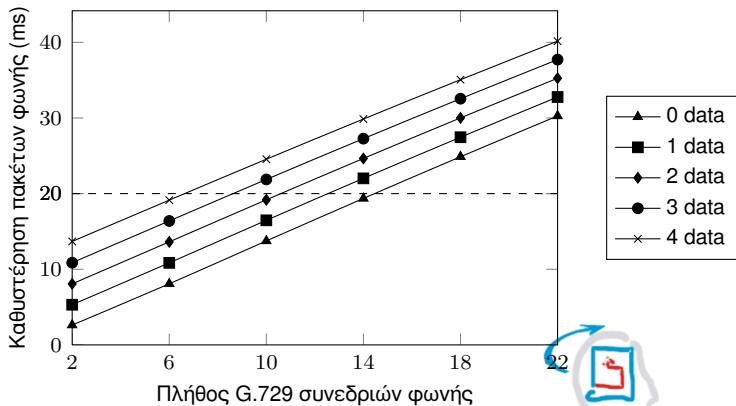


Μεθοδολογία

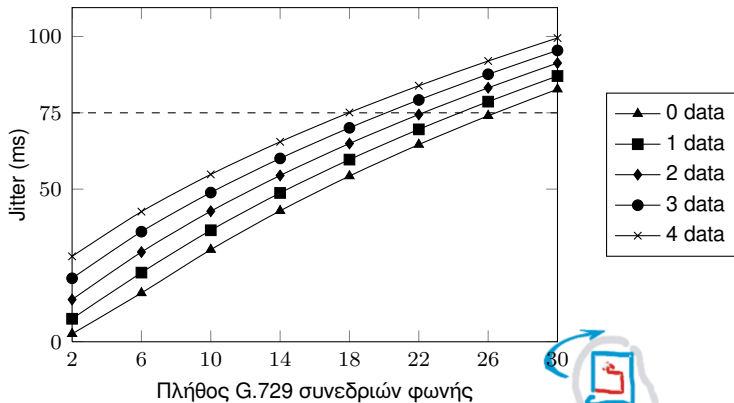
- Υπολογίζουμε την τιμή της χωρητικότητας στο σημείο τομής της καμπύλης υπολογισμών με το όριο ποιότητας
- Η μικρότερη τιμή χωρητικότητας από αυτές που υπολογίστικαν για τα τρία μέτρα ποιότητας αποτελεί την τιμή χωρητικότητας του δικτύου
- Για την μέση καθυστέρηση θεωρούμε σαν όριο το packetization interval του εν λόγω codec



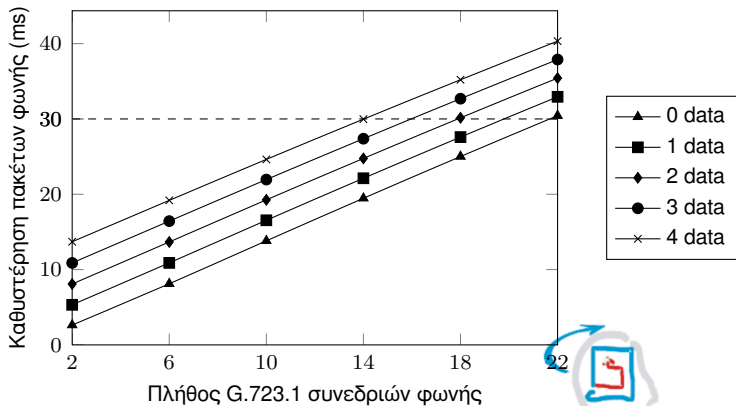
Καθυστέρηση G.729 / Πλήθος συνεδριών



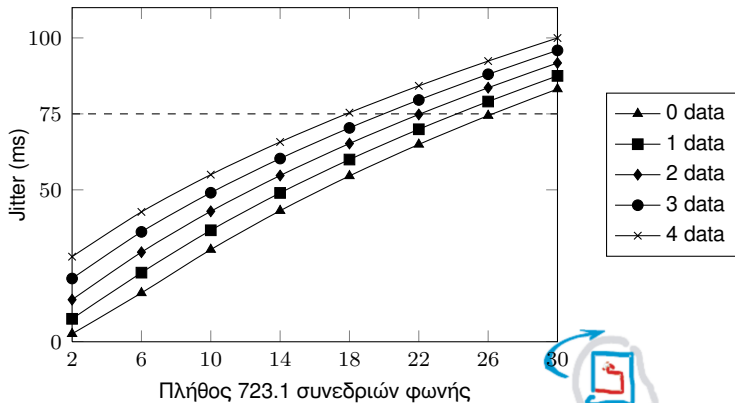
Jitter G.729 / Πλήθος συνεδριών



Καθυστέρηση G.723.1 / Πλήθος συνεδριών



G.723.1 Jitter / Πλήθος συνεδριών



Συνοπτικά

Σενάριο	Χωρητικότητα		
	λόγω καθυστέρησης	λόγω jitter	λόγω απόρριψης
<i>G.711</i>			
Μόνο Φωνή	12	21	36
1 Data	10	19	35
2 Data	8	17	34
3 Data	7	16	33
4 Data	5	13	32
<i>G.729</i>			
Μόνο Φωνή	14	26	36
1 Data	12	24	35
2 Data	10	22	34
3 Data	8	20	33
4 Data	6	17	32
<i>G.723.1</i>			
Μόνο Φωνή	21	26	36
1 Data	19	24	35
2 Data	17	22	34
3 Data	15	19	33
4 Data	14	17	32

Ευχαριστώ

Ερωτήσεις;

Μπρουζιούτης Χαρίσης
ΤΕΙ Θεσσαλονίκης
Τμήμα Πληροφορικής
charisis@gmail.com



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ