

ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΖΕΥΞΕΙΣ

7^ο Εξάμηνο

Σώζος Κώστας

Πολλαπλή πρόσβαση και Αρχιτεκτονικές

- Σύνοψη Ύλης
- Επαναληπτικές Ασκήσεις

Δομή εξέτασης

1 Θέμα: 4 Ερωτήσεις πολλαπλής (2 μονάδες)

2 Θέμα: 4 Θεωρητικά ή απλά υπολογιστικά ερωτήματα (2 μονάδες). π.χ Γιατί επιλέγουμε να μεταδώσουμε στις μικρότερες συχνότητες μιας μπάντας για το downlink και στις μεγαλύτερες στο uplink;

3 Θέμα: Άσκηση Ζεύξης με 5 ερωτήματα (Υπολογισμό απωλειών, Κερδών, G/T , C/N , E_b/N_0 κλπ) (3 μονάδες)

4 Θέμα: Άσκηση Πολλαπλής πρόσβασης με 5 ερωτήματα (FDMA, TDMA, CDMA, NOMA) (3 μονάδες)

Σχόλια στην ύλη

Παρουσιάσεις 1, 2 → Γρήγορη ανάγνωση

Παρουσιάσεις 3, 4, 5 → Ανάγνωση με κατανόηση και απομνημόνευση των βασικών τύπων (κόκκινα) για επίλυση ασκήσεων στο Link Budget (Απλό link και συνολικό link για Transparent δορυφόρους).

Παρουσίαση 6 → Ανάγνωση και θεωρητικές ερωτήσεις

Παρουσίαση 7 → Καλή ανάγνωση

Παρουσίαση 8 → Καλή ανάγνωση έως και την τυχαία πρόσβαση (διαφάνεια 26)

Όλες οι ασκήσεις (στο τέλος κάθε παρουσίασης και των παρουσιάσεων 5 και 9) είναι σημαντικές!

Ερωτήσεις

1. Ποιο είναι το βασικό πλεονέκτημα του DAMA σε δορυφορικά συστήματα;

- A. Μείωση του θορύβου
- B. Δυναμική εκχώρηση πόρων ανάλογα με τη ζήτηση**
- C. Απλοποίηση συγχρονισμού
- D. Αύξηση της ισχύος εκπομπής

2. Το DAMA είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για:

- A. Σταθερό, συνεχές traffic
- B. Bursty και απρόβλεπτο traffic**
- C. Μόνο real-time εφαρμογές
- D. Μόνο uplink επικοινωνία

3. Ποιο μειονέκτημα εμφανίζεται συχνά σε DAMA σε GEO δορυφόρους;

- A. Υψηλό BER
- B. Μεγάλη καθυστέρηση λόγω αιτημάτων**
- C. Απώλειες από fading
- D. Χαμηλό processing gain

4. Σε σχέση με το στατικό TDMA, το DAMA:

- A. Χρησιμοποιεί λιγότερο εύρος ζώνης
- B. Έχει μικρότερη καθυστέρηση
- C. Προσαρμόζεται δυναμικά στις ανάγκες χρηστών**
- D. Δεν απαιτεί κεντρικό έλεγχο

5. Στο καθαρό ALOHA, ένας χρήστης μεταδίδει:

- A. Μόνο σε προκαθορισμένες χρονοθυρίδες
- B. Όποτε έχει δεδομένα**
- C. Μόνο μετά από άδεια του σταθμού ελέγχου
- D. Σε διαφορετική συχνότητα από τους άλλους

6. Ποιο είναι το κύριο αίτιο χαμηλής απόδοσης του ALOHA;

- A. Θόρυβος καναλιού
- B. Περιορισμένο εύρος ζώνης
- C. Συγκρούσεις πακέτων**
- D. Χαμηλή ισχύς εκπομπής

7. Ποια είναι η μέγιστη θεωρητική απόδοση του καθαρού ALOHA;

- A. 18.4%**
- B. 25.6%
- C. 36.8%
- D. 50.4%

Ερωτήσεις

8. Το slotted ALOHA διαφέρει από το καθαρό ALOHA επειδή:

- A. Χρησιμοποιεί διαφορετικό εύρος ζώνης
- B. Απαιτεί συγχρονισμό χρηστών**
- C. Δεν επιτρέπει collisions
- D. Έχει μικρότερη αποδοτικότητα

9. Ποια είναι η μέγιστη θεωρητική απόδοση του slotted ALOHA;

- A. 18.4%
- B. 25.6%
- C. 36.8%**
- D. 50.4%

10. Στο power NOMA, οι χρήστες λαμβάνουν μεγαλύτερη ισχύ όταν:

- A. Είναι πιο μακριά**
- B. Είναι πιο κοντά
- C. Έχουν ανάγκη να μεταδώσουν περισσότερα δεδομένα
- D. Αιτηθούν περισσότερους πόρους

11. Ποιος χρήστης εκτελεί SIC σε ένα power-NOMA σύστημα;

- A. Ο χρήστης με το χειρότερο κανάλι (μικρότερο h)
- B. Όλοι οι χρήστες
- C. Ο χρήστης με το καλύτερο κανάλι (μεγαλύτερο h)**
- D. Μόνο ο κεντρικός σταθμός

12. Το βασικό πλεονέκτημα του NOMA έναντι του OMA είναι:

- A. Απλούστεροι δέκτες
- B. Μικρότερη καθυστέρηση
- C. Μεγαλύτερη φασματική αποδοτικότητα**
- D. Μικρότερες απαιτήσεις συγχρονισμού

13. Ποιο από τα παρακάτω αποτελεί βασική πρόκληση του NOMA;

- A. Έλλειψη processing gain
- B. Πολυπλοκότητα SIC**
- C. Ανάγκη guard bands
- D. Υψηλή πιθανότητα collisions

Ερωτήσεις

14. Το FDMA είναι πιο ευαίσθητο σε μη γραμμικότητες ενισχυτών επειδή:

- A.** Όλοι οι χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα
- B. Χρησιμοποιεί μεγαλύτερα frames
- C. Έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση
- D. Απαιτεί αυστηρό συγχρονισμό

15. Ο βασικός περιορισμός στον αριθμό των χρηστών με το CDMA προέρχεται από:

- A. Τα Guard bands
- B.** Την παρεμβολή από τους άλλους χρήστες
- C. Τον περιορισμένο αριθμό ανεξάρτητων κωδικών
- D. Το θερμικό θόρυβο

16. Ποιο σχήμα απαιτεί τον αυστηρότερο συγχρονισμό;

- A. FDMA
- B.** TDMA
- C. CDMA
- D. ALOHA

17. Σε ποιο σχήμα όλοι οι χρήστες μοιράζονται τους ίδιους πόρους ταυτόχρονα;

- A. TDMA
- B. FDMA
- C.** CDMA
- D. Slotted ALOHA

18. Ποιο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης είναι πιο κατάλληλο για mobile data networks;

- A. FDMA
- B. TDMA με DAMA
- C. CDMA
- D.** TDMA με ALOHA

19. Σε σύνδεση μεταξύ δύο χρηστών με DAMA η καθυστέρηση είναι:

- A. 1 Hop
- B. 2 Hops
- C.** 4 Hops
- D. Μηδενική

Ερωτήσεις

20. Ποιο είναι βασικό πλεονέκτημα της υβριδικής τοπολογίας δορυφορικών δικτύων (αστέρα/πλέγματος);

- A. Ελάχιστη καθυστέρηση για όλους τους χρήστες
- B. Πλήρης απουσία κεντρικού ελέγχου
- C. Ευελιξία και καλύτερη εκμετάλλευση πόρων**
- D. Χαμηλότερη ισχύς εκπομπής

21. Για ποιο λόγο η τοπολογία αστέρα είναι λιγότερο αποδοτική για επικοινωνία μεταξύ απομακρυσμένων χρηστών;

- A. Απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης
- B. Αυξάνει την καθυστέρηση λόγω διπλού hop μέσω hub**
- C. Έχει χαμηλό SNR
- D. Δεν υποστηρίζει full-duplex επικοινωνία

22. Ποιο είναι το κύριο χαρακτηριστικό της τοπολογίας αστέρα;

- A. Όλοι οι σταθμοί επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους
- B. Όλη η κίνηση περνά από έναν κεντρικό σταθμό (hub)**
- C. Δεν απαιτείται κεντρικός έλεγχος
- D. Χρησιμοποιούνται πολλά inter-satellite links

23. Ποιο είναι βασικό πλεονέκτημα της τοπολογίας αστέρα;

- A. Υψηλή αξιοπιστία χωρίς εφεδρείες
- B. Απλή διαχείριση και έλεγχος δικτύου**
- C. Μικρότερη καθυστέρηση για απομακρυσμένους χρήστες
- D. Δεν απαιτεί ισχυρός κεντρικός σταθμός

24. Ποιο είναι κύριο μειονέκτημα της τοπολογίας αστέρα;

- A. Υψηλή πολυπλοκότητα τερματικών
- B. Μεγάλη κατανάλωση φάσματος
- C. Single point of failure στον hub**
- D. Αδυναμία υποστήριξης πολλών χρηστών

25. Σε ποια τοπολογία οι απομακρυσμένοι σταθμοί επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους μέσω δορυφόρου;

- A. Αστέρα
- B. Δέντρου
- C. Πλέγματος**
- D. Σειριακή

29. Ποιο μειονέκτημα χαρακτηρίζει την τοπολογία πλέγματος;

- A. Χαμηλή φασματική αποδοτικότητα
- B. Υψηλή πολυπλοκότητα και κόστος τερματικών**
- C. Αδυναμία υποστήριξης real-time εφαρμογών
- D. Ανάγκη για κεντρικό σταθμό

Ερωτήσεις

30. Τι είναι το φαινόμενο του σπινθηρισμού στις δορυφορικές επικοινωνίες;

- A. Μόνιμη εξασθένηση λόγω βροχής
- B. Ταχεία τυχαία διακύμανση πλάτους και φάσης του σήματος**
- C. Περιστροφή της πόλωσης
- D. Καθυστέρηση διάδοσης λόγω ιονόσφαιρας

31. Ποια ζώνη συχνοτήτων επηρεάζεται περισσότερο από τον ιονοσφαιρικό σπινθηρισμό;

- A. Ka-band
- B. Ku-band
- C. C-band
- D. L-band**

32. Ποιο φαινόμενο προκαλεί τυχαίες διακυμάνσεις στο πλάτος λόγω ανομοιογενειών δείκτη διάθλασης;

- A. Απώλειες ελεύθερου χώρου
- B. Σπινθηρισμός**
- C. Doppler shift
- D. Διασπορά

33. Τι είναι η διασπορά στη δορυφορική ζεύξη;

- A. Εξασθένηση ισχύος λόγω απόστασης
- B. Διασπορά ενέργειας σε διαφορετικές πολώσεις
- C. Εξάρτηση της ταχύτητας διάδοσης από τη συχνότητα**
- D. Θόρυβος λόγω θερμοκρασίας

34. Ποια είναι η βασική συνέπεια της διασποράς στο σήμα;

- A. Μείωση ισχύος λήψης
- B. Παραμόρφωση παλμών (ISI)**
- C. Περιστροφή πόλωσης
- D. Αύξηση Doppler

35. Ποιο φαινόμενο προκαλεί η ιονόσφαιρα στην πόλωση του σήματος;

- A. Αποπόλωση
- B. Στροφή Faraday**
- C. Multipath fading
- D. Σκέδαση

36. Από τι εξαρτάται κυρίως η στροφή Faraday;

- A. Από την ισχύ εκπομπής
- B. Από το μήκος της ζεύξης
- C. Από τη συχνότητα και το μαγνητικό πεδίο της Γης**
- D. Από τη θερμοκρασία του δέκτη

Ερωτήσεις

37. Ποια ζώνη επηρεάζεται περισσότερο από την στροφή Faraday;

- A. Ka-band
- B. Ku-band
- C. C-band
- D. VHF / UHF / L-band**

38. Τι είναι η αποπόλωση λόγω βροχής;

- A. Πλήρης απώλεια σήματος
- B. Μετατροπή γραμμικής πόλωσης σε κυκλική
- C. Μεταφορά ισχύος μεταξύ ορθογώνιων πολώσεων**
- D. Αύξηση φάσματος

39. Ποια ζώνη συχνοτήτων επηρεάζεται περισσότερο από την αποπόλωση λόγω βροχής;

- A. L-band
- B. C-band
- C. Ku-band
- D. Ka-band**

40. Ποιος είναι ο βασικός μηχανισμός απωλειών λόγω βροχής;

- A. Ανάκλαση στα σταγονίδια
- B. Απορρόφηση και σκέδαση από σταγονίδια βροχής**
- C. Θερμικός θόρυβος
- D. Doppler μετατόπιση

41. Πώς μεταβάλλονται οι απώλειες βροχής με τη συχνότητα;

- A. Μειώνονται με τη συχνότητα
- B. Παραμένουν σταθερές
- C. Αυξάνονται με τη συχνότητα**
- D. Εξαρτώνται μόνο από το ύψος δορυφόρου

42. Ποιο φαινόμενο είναι κυρίαρχο σε Ka-band δορυφορικές ζεύξεις;

- A. Στροφή Faraday
- B. Ιονοσφαιρικός σπινθηρισμός
- C. Εξασθένιση λόγω βροχής**
- D. Doppler shift

43. Ποια τεχνική χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των φαινομένων βροχής;

- A. Spread spectrum
- B. Power control και site/orbit diversity**
- C. Frequency hopping
- D. ALOHA

Άσκηση 1

Ένας GEO δορυφόρος διαθέτει **80 MHz** συνολικό εύρος ζώνης για uplink FDMA.

Κάθε χρήστης απαιτεί **1.8 MHz**, ενώ απαιτείται **guard band 150 kHz** μεταξύ γειτονικών καναλιών.

Ερωτήματα

1. Να υπολογιστεί ο μέγιστος αριθμός χρηστών.
2. Να υπολογιστεί το συνολικό εύρος guard bands.
3. Να βρεθεί η φασματική αποδοτικότητα του συστήματος.
4. Αν το guard band μειωθεί κατά 50%, πόσοι επιπλέον χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν;

$$B_{tot} = 80 \text{ MHz}, \quad B_u = 1.8 \text{ MHz}, \quad B_g = 0.15 \text{ MHz}$$

$$(1) \text{ Αριθμός χρηστών} \quad B_{user} = 1.8 + 0.15 = 1.95 \text{ MHz}, \quad N = \left\lfloor \frac{80}{1.95} \right\rfloor = 41$$

$$(2) \text{ Guard bands} \quad B_{g,tot} = 41 \times 0.15 = 6.15 \text{ MHz}$$

$$(3) \text{ Φασματική αποδοτικότητα} \quad \eta = \frac{41 \times 1.8}{80} = 0.923 \text{ (92.3\%)}$$

$$(4) \text{ Guard band 50\%} \quad B_g = 0.075 \Rightarrow B = 1.875, \quad N = \lfloor 80/1.875 \rfloor = 42 \quad \text{ή ένας επιπλέον χρήστης}$$

Άσκηση 2

Ένα TDMA δορυφορικό σύστημα έχει:

- Ρυθμό μετάδοσης: **72 Mbps**
- Διάρκεια frame: **25 ms**
- Overhead: **12%**

Ερωτήματα

1. Να υπολογιστούν τα συνολικά bits ανά frame.
2. Να βρεθούν τα καθαρά bits ανά frame.
3. Αν κάθε χρήστης απαιτεί την αποστολή με **1.2 Mbps**, πόσοι χρήστες υποστηρίζονται;

$$R=72\text{Mbps}, T_f = 25 \text{ ms}, \text{OH}=12\%$$

$$(1) \text{ Bits/frame} \quad 72 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 1.8 \cdot 10^6$$

$$(2) \text{ Καθαρά bits} \quad 0.88 \times 1.8 \cdot 10^6 = 1.584 \cdot 10^6$$

(3) Χρήστες (1.2 Mbps)

$$\text{Κάθε χρήστης στο frame} \rightarrow 1.2 \cdot 10^6 \cdot 0.025 = 30000$$

$$N = 1.584 \cdot 10^6 / 30000 = 52$$

Άσκηση 3

Ένας γεωστατικός δορυφόρος (GEO) παρέχει σύνδεση σε ένα δίκτυο τερματικών VSAT. Το σύστημα χρησιμοποιεί TDMA για την πρόσβαση στο uplink. Το συνολικό frame (πλαίσιο) του TDMA περιλαμβάνει χρονικές θυρίδες για τη μετάδοση δεδομένων από τους χρήστες, καθώς και απαραίτητα πεδία ελέγχου και συγχρονισμού.

Δεδομένα Συστήματος

Ρυθμός Μετάδοσης (R): **20 Mbps**, Διάρκεια Πλαισίου (Tf): **20 ms**, Πακέτο Αναφοράς (Trb): **50 μs**
Guard Interval (tg): **5 μs**, Preamble Χρήστη (Npre): **400 bits**, Bit κυκλοφορίας (Nburst): **8000 bits**

1) Ποια είναι η συνολική χρονική διάρκεια (Tb) που καταλαμβάνει το πακέτο ενός χρήστη μαζί με το Guard Time;

$$T_{\text{bits}} = (N_{\text{pre}} + N_{\text{burst}}) / R$$

$$T_{\text{bits}} = (400 + 8000) / 20000000$$

$$T_{\text{bits}} = 8400 / 20000000 = 0.000420 \text{ s} = \mathbf{420 \mu s}$$

$$T_b = T_{\text{bits}} + t_g \rightarrow T_b = 420 \mu s + 5 \mu s = \mathbf{425 \mu s}$$

2) Πόσοι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν ανά frame;

$$T_{\text{available}} = T_f - T_{\text{rb}} = 20 \text{ ms} - 0.05 \text{ ms} = 19.95 \text{ ms}$$

$$N = T_{\text{available}} / T_b = 19.95 / 0.425 = 46.94 \text{ ή } \mathbf{N = 46 \text{ χρήστες}}$$

Άσκηση 3

3) Ποια είναι η αποδοτικότητα του πλαισίου (Frame efficiency, η)

$$\eta = (N * T_{\text{bits}}) / T_f = (46 * 420 * 10^{-6}) / (20 * 10^{-3}) = 19.32 \text{ ms} / 20 \text{ ms} = 0.966 \rightarrow \eta = 96.6\%$$

4) Ποιος είναι ο καθαρός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (throughput) για το σύνολο του συστήματος;

$$R_{\text{throughput}} = (N * N_{\text{burst}}) / T_f = (46 * 8000) / 0.020 = 368000 / 0.020 = 18.4 \text{ Mbps}$$

5) Αν ο δορυφόρος είναι GEO (απόσταση 35,800 km), αρκεί το Guard Interval των 5 μs για να καλύψει ένα σφάλμα χρονισμού που προέρχεται από απόκλιση θέσης του δορυφόρου κατά 2 km ή θα υπάρξει σύγκρουση πακέτων; (Δίνεται Ταχύτητα φωτός $c = 300,000 \text{ km/s}$).

$$\Delta t = \text{Απόσταση} / c = 2 \text{ km} / 300,000 \text{ km/s} = 0.00000667 \text{ s} = 6.67 \mu\text{s}$$

Επειδή $\Delta t (6.67 \mu\text{s}) > t_g (5 \mu\text{s})$, το σήμα θα "βγει" έξω από τα όρια της χρονοσχισμής. Άρα, θα υπάρξει σύγκρουση.

Άσκηση 4

Ένα CDMA σύστημα έχει:

- Chip rate: **4 Mcps**, Ρυθμό χρήστη: **40 kbps**,
- Θόρυβο παρεμβολών 10 dB μεγαλύτερο του θερμικού θορύβου.

Απαιτούμενο E_b/N_0 : **7 dB**

Ερωτήματα

1. Να υπολογιστεί το processing gain.
2. Να υπολογιστεί το απαιτούμενο SNR.
3. Να εκτιμηθεί ο μέγιστος αριθμός χρηστών (interference-limited).
4. Πώς αλλάζει ο αριθμός χρηστών αν το chip rate διπλασιαστεί;

(1) Processing Gain $G = \frac{4 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^4} = 100 \Rightarrow 20 \text{ dB}$

(2) Απαιτούμενο SNR $SNR = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{B} \Rightarrow -13 \text{ dB}$

(3) Χρήστες $N \approx \frac{G}{\frac{E_b}{N_0}} \left(1 - \frac{N_0}{N_t}\right) = \frac{100}{5} 0.9 = 18$

(4) Διπλάσιο chip rate $G = 200 \Rightarrow N \approx 36$

Άσκηση 5

Ένας δορυφόρος εξυπηρετεί τρεις χρήστες (U1, U2, U3) που βρίσκονται εντός της ίδιας δέσμης (spot beam), χρησιμοποιώντας την ίδια ζώνη συχνοτήτων ταυτόχρονα μέσω της τεχνικής Power-NOMA.

•**Παράμετροι:**

- Συνολική Ισχύς (P_{total}): **60 W**
- Εύρος Ζώνης (B): **10 MHz**
- Θόρυβος (N): **10^{-6} W**

•**Ποιότητα Καναλιού (h):**

- U1 (Strong): 0.8 U2 (Mid): 0.4 U3 (Weak): 0.1

•**Κατανομή Ισχύος:**

- $P1 = 6 \text{ W (10\%)}$ $P2 = 18 \text{ W (30\%)}$ $P3 = 36 \text{ W (60\%)}$

1) Να βρεθούν τα SINR πριν και μετά την SIC για καθέναν από τους χρήστες.

2) Να βρεθεί η φασματική απόδοση και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί για κάθε χρήστη.

Άσκηση 5

Υπολογισμός SINR

•Χρήστης 3 (Weakest - Χωρίς SIC):

- $$\text{SINR}_{U3} = \frac{P_3 h_3}{P_1 h_3 + P_2 h_3 + N_0} \approx 3.6 / 2.4 = 1.5 \text{ (1.76 dB)}$$

•Χρήστης 2 (Intermediate - SIC για U3):

- $$\text{SINR}_{U2} = \frac{P_3 h_2}{P_1 h_2 + P_2 h_2 + N_0} \approx 14.4 / 9.6 = 1.5$$
- Αφού αφαιρέσει το σήμα του U3 τότε:
$$\text{SINR}_{U2} = \frac{P_2 h_2}{P_1 h_2 + N_0} = \frac{14.4}{4.8} = 3$$

•Χρήστης 1 (Strongest - SIC για U3, U2):

- $$\text{SINR}_{U1} = \frac{P_3 h_1}{P_1 h_1 + P_2 h_1 + N_0} = \frac{28.8}{19.2} = 1.5 \text{ για τον U3}$$

- $$\text{SINR}_{U1} = \frac{P_2 h_1}{P_1 h_1 + N_0} = \frac{14.4}{4.8} = 3 \text{ για τον U2}$$

- Αφού αφαιρέσει τα δύο σήματα:

$$\text{SINR}_{U1} = \frac{P_1 h_1}{N_0} = 4.8 * 10^6 = \mathbf{66.8 \text{ dB}}$$

Χωρητικότητα Shannon

Τύπος: $R = B * \log_2(1 + \text{SINR})$

•Ρυθμοί Μετάδοσης (Mbps):

- $R3 = 10 * \log_2(1 + 1.5) = \mathbf{13.22 \text{ Mbps}}$
- $R2 = 10 * \log_2(1 + 3) = \mathbf{20 \text{ Mbps}}$
- $R1 = 10 * \log_2(1 + 4.8 * 10^{-6}) = \mathbf{221.9 \text{ Mbps}}$

•Μέγιστο Rate (NOMA): $R_{\text{total}} = \mathbf{255.12 \text{ Mbps}}$

Άσκηση προς λύση

Ένα δορυφορικό δίκτυο CDMA λειτουργεί με κανάλια των 10 Mbps. Ο θόρυβος παρεμβολών είναι 10 dB μεγαλύτερος του θερμικού θορύβου.

(α) Να προσδιοριστεί το κέρδος επεξεργασίας (processing gain) για εύρος ζώνης διασποράς 5 GHz.

(β) Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός καναλιών που μπορούν να υποστηριχθούν στο δίκτυο, αν το απαιτούμενο E_b/N_t για αποδεκτή ανάκτηση σήματος είναι 9 dB;

Κάθε πλαίσιο σε ένα δορυφορικό δίκτυο TDMA αποτελείται από ένα burst αναφοράς ανά frame, και 15 bursts κυκλοφορίας, ανάλογα με τη ζήτηση φορτίου και την κάλυψη της περιοχής εξυπηρέτησης. Χρησιμοποιείται διαμόρφωση QPSK με συνολικό μήκος frame 64000 σύμβολα. Η preamp σε κάθε ριπή κυκλοφορίας έχει μήκος 200 σύμβολα, το κανάλι ελέγχου και καθυστέρησης έχει 40 σύμβολα και το guard frame είναι 160 σύμβολα. Υπολογίστε την απόδοση πλαισίου.