

ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΖΕΥΞΕΙΣ

7^ο Εξάμηνο

Σώζος Κώστας

Πολλαπλή πρόσβαση και Αρχιτεκτονικές

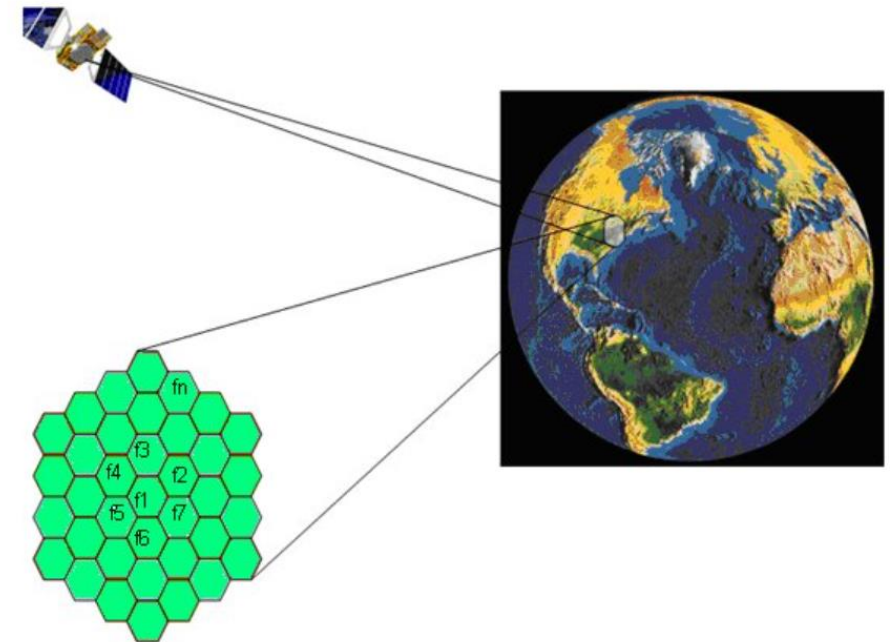
- Τεχνικές πολλαπλής και τυχαίας πρόσβασης (Συνέχεια)
 - SDMA
 - NOMA
 - DAMA
 - ALOHA
- Τοπολογίες και Αρχιτεκτονικές δικτύων

SDMA

Οι βασικές ΜΑ (FDMA, TDMA, CDMA) τεχνικές επιτρέπουν σε πολλαπλούς επίγειους σταθμούς να αποκτήσουν πρόσβαση σε μια καθορισμένη χωρητικότητα αναμεταδότη, χωρίς να προκαλούν παρεμβολές μεταξύ τους.

Η SDMA, είναι μια τεχνική που επιτρέπει κυρίως την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, όπου γειτονικοί επίγειοι σταθμοί, που βρίσκονται μέσα στο ίχνος του δορυφόρου, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα μετάδοσης φέροντος, χρησιμοποιώντας ορθογώνια πόλωση στη δέσμη της κεραίας, αποφεύγοντας έτσι την ομοδιαυλική παρεμβολή (co-channel interference).

Επίσης, οι μεταδόσεις από/προς τον δορυφόρο προς/από πολλαπλούς επίγειους σταθμούς **μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια φέρουσα συχνότητα**, κάνοντας χρήση κεραιών στενής δέσμης. Σε μία συνολική δορυφορική ζεύξη, η τεχνική SDMA επιτυγχάνεται συνήθως σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, όπως FDMA, TDMA και CDMA.



SDMA

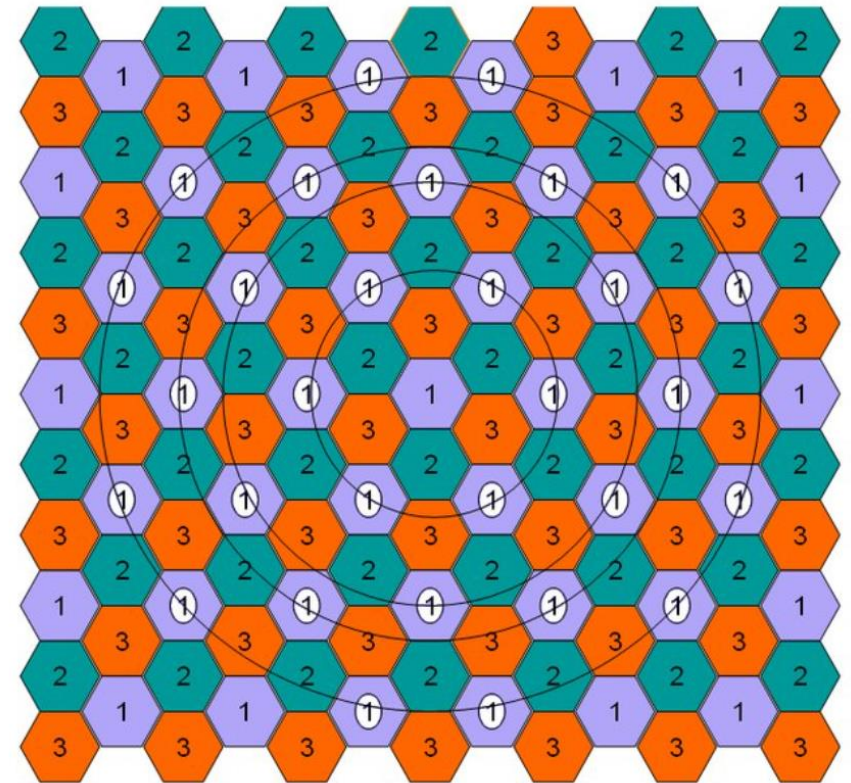
Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για τον σκοπό αυτό είναι:

- ο διαχωρισμός της δέσμης (beam separation)
- η πόλωση της δέσμης (beam polarization).

Ο διαχωρισμός δέσμης βασίζεται στο γεγονός ότι, εάν δύο δέσμες είναι έτσι διαμορφωμένες, ώστε να καλύπτουν δύο διαφορετικές περιοχές στην επιφάνεια της Γης χωρίς επικαλύψεις, τότε η ίδια ζώνη συχνοτήτων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στις δύο δέσμες, χωρίς να προκαλείται οποιαδήποτε αμοιβαία παρεμβολή.

Βασικό ζήτημα είναι η επίτευξη στενής δέσμης με δυνατότητα εύκολης κατεύθυνσης (steering). Με τη στενότερη δέσμη αυξάνεται και το C/N στο downlink.

Ιδιαίτερα στο uplink, πρέπει να επιτυγχάνεται επαρκής Beam isolation. Τυπική απαιτούμενη απομόνωση είναι >20 dB.



SDMA

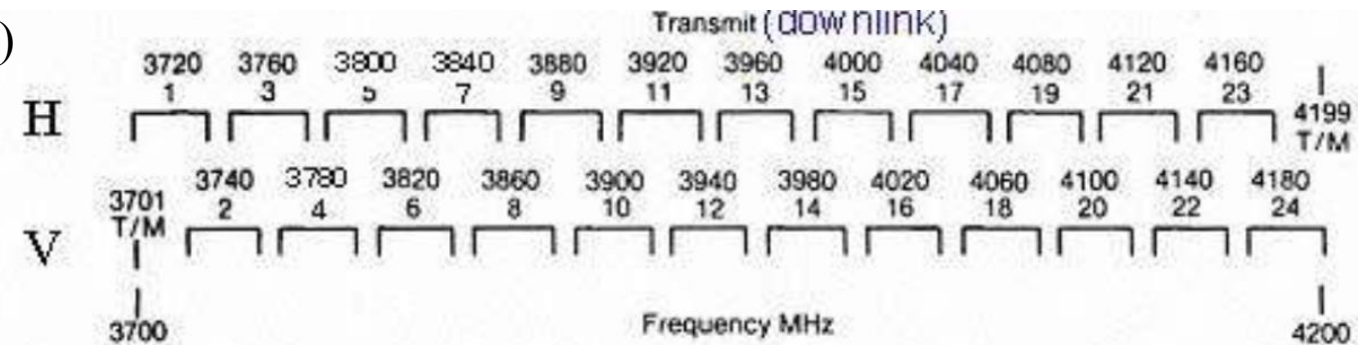
Η πόλωση της δέσμης βασίζεται στην αρχή της χρησιμοποίησης δύο ορθογώνια πολωμένων κυμάτων (οριζόντια-κατακόρυφα, δεξιόστροφα-αριστερόστροφα) για μετάδοση και λήψη, χρησιμοποιώντας την ίδια ζώνη συχνοτήτων, χωρίς αμοιβαία παρεμβολή μεταξύ των δύο κυμάτων. Για την ακρίβεια επιλέγονται ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες στην ίδια ζώνη συχνοτήτων για τις δύο πολώσεις.

Ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να απαρτίζονται από polarization selective στοιχεία (φίλτρα, πολωτές, κλπ). Συγκεκριμένα ο δέκτης πρέπει να είναι ικανός να κρατήσει μόνο τη μια πόλωση, απομονώνοντας τελείως τη δεύτερη.

Το μέγιστο κέρδος που μπορεί να προσφέρει αυτός ο τύπος SDMA, που καλείται και PDMA είναι **ο διπλασιασμός της χωρητικότητας**. Η μέθοδος αυτή πάντα συνδυάζεται με άλλες μεθόδους πολλαπλής πρόσβασης.

Βασικός δείκτης της απόδοσης είναι η XPD (Cross-Polarization Discrimination), που ποσοτικοποιεί την ισχύ της χρήσιμης πόλωσης σε σχέση με την απορριπτέα. Συνήθως θέλουμε $XPD \geq 25\text{--}30\text{ dB}$. Παράγοντες που επιβαρύνουν την XPD είναι:

- Αποπόλωση λόγω βροχής (ειδικά στις Ku/Ka band)
- Κακή Ευθυγράμμιση των κεραιών
- Ατέλειες στο hardware που αφορά την πόλωση

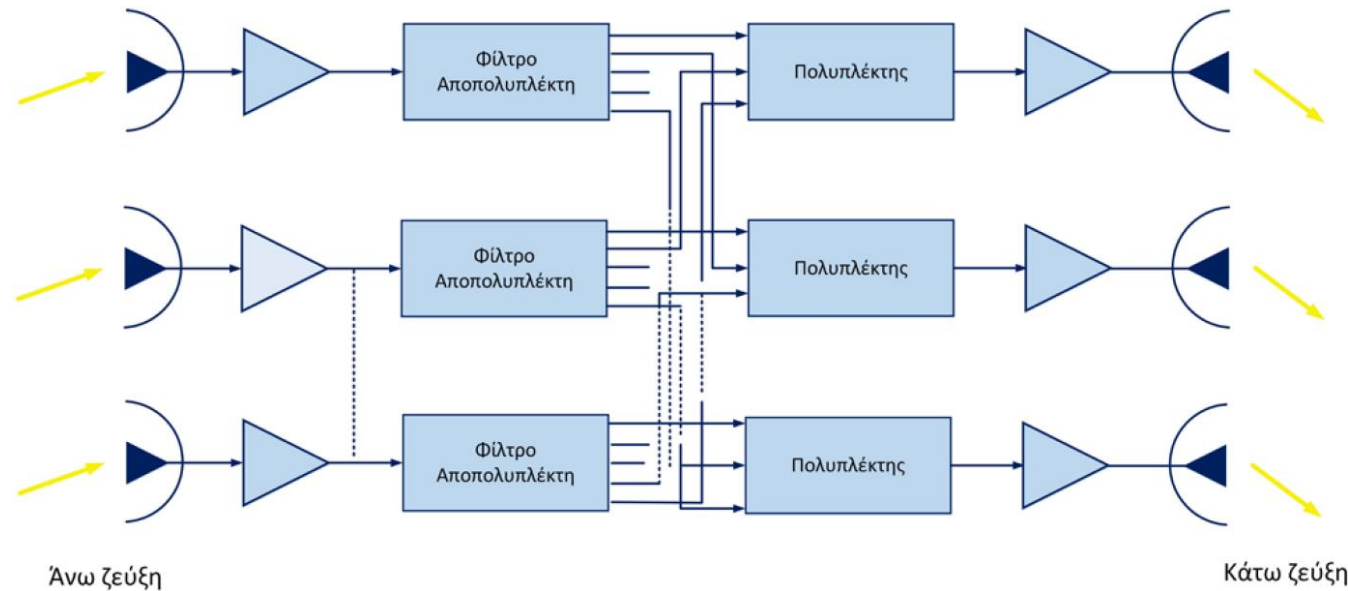


SDMA/FDMA

Τυπική δομική διάταξη του συστήματος SDMA/FDMA, στο οποίο ο δορυφόρος χρησιμοποιεί σταθερές συνδέσεις για να δρομολογήσει το εισερχόμενο σήμα άνω ζεύξης, όπως λαμβάνεται από την κεραία λήψης σε μια συγκεκριμένη κεραία πομπού κάτω ζεύξης. Ο δορυφόρος χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες για τη δημιουργία πολλαπλών δεσμών. Ο συνδυασμός κεραίας εκπομπής και κεραίας λήψης ορίζει την πηγή και τον προορισμό των επίγειων σταθμών.

Οι επιθυμητές σταθερές ζεύξεις μπορούν να ρυθμιστούν επί του δορυφόρου (on-board), χρησιμοποιώντας κάποιας μορφής διακόπτη, ο οποίος μπορεί να επιλεγεί μόνο περιστασιακά, όταν ο δορυφόρος χρειάζεται να αναδιαρθρωθεί.

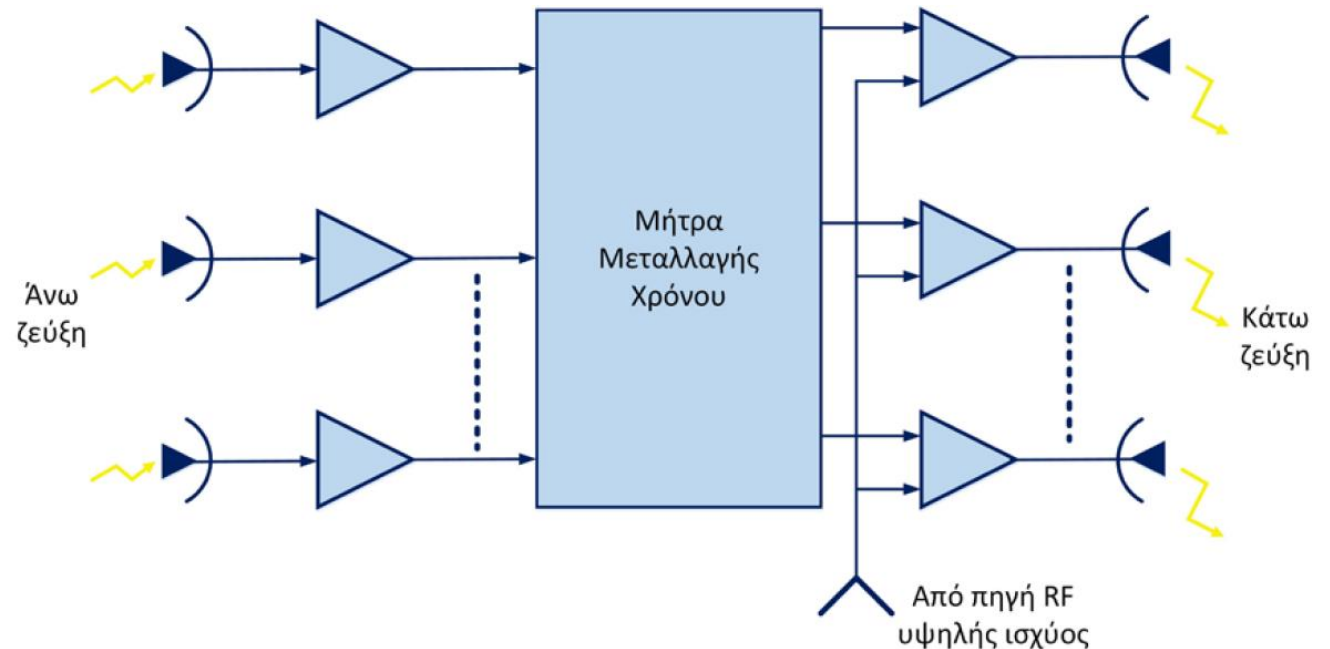
Εναλλακτικά, οι ζεύξεις θα μπορούσαν να υλοποιηθούν, αλλάζοντας τα φίλτρα με μία μήτρα μεταγωγής.



SDMA/TDMA

Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί έναν πίνακα μετατροπής για να σχηματιστούν τα ζεύγη δεσμών άνω και κάτω ζεύξης. Σε συνδυασμό με την TDMA, το σύστημα επιτρέπει την κίνηση TDMA από τις δέσμες άνω ζεύξης στις δέσμες κάτω ζεύξης κατά τη διάρκεια ενός frame TDMA. Η ζεύξη μεταξύ ενός καθορισμένου συνδυασμού πηγής-προορισμού υπάρχει στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ριπής του πλαισίου TDMA. Για παράδειγμα, το σήμα στη δέσμη 1 μπορεί να δρομολογηθεί στη δέσμη 3 κατά τη διάρκεια π.χ. των πρώτων 40μs από τα 2ms του TDMA πλαισίου και στη συνέχεια να δρομολογηθεί προς τη δέσμη n κατά τη διάρκεια της επόμενης χρονοσχισμής των 40μs.

Η διαδικασία συνεχίζεται, έως ότου κάθε σύνδεση του προτύπου κίνησης να έχει ολοκληρωθεί. Το Σχήμα παρουσιάζει μια τυπική διάταξη αναμεταδότη για σύστημα SDMA/SS/TDMA, όπου το SS (satellite switched) σημαίνει μεταγωγή στο δορυφόρο.



Non orthogonal multiple access (NOMA)

Η Μη Ορθογώνια Πρόσβαση Πολλαπλών Χρηστών (Non-Orthogonal Multiple Access - NOMA) αναδεικνύεται ως μία από τις πιο κρίσιμες τεχνολογίες για την επόμενη γενιά ασύρματων δικτύων (6G), αποτελώντας μια ριζική απόκλιση από τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως οι OMA (Orthogonal Multiple Access) που περιλαμβάνουν τα FDMA, TDMA και CDMA.

Το θεμελιώδες πρόβλημα που επιδιώκει να λύσει το NOMA είναι ο διαρκώς αυξανόμενος κορεσμός του φάσματος και η ανάγκη για υποστήριξη μαζικής συνδεσιμότητας, ιδίως σε σενάρια Internet of Things (IoT), όπου χιλιάδες συσκευές ανταγωνίζονται για περιορισμένους πόρους.

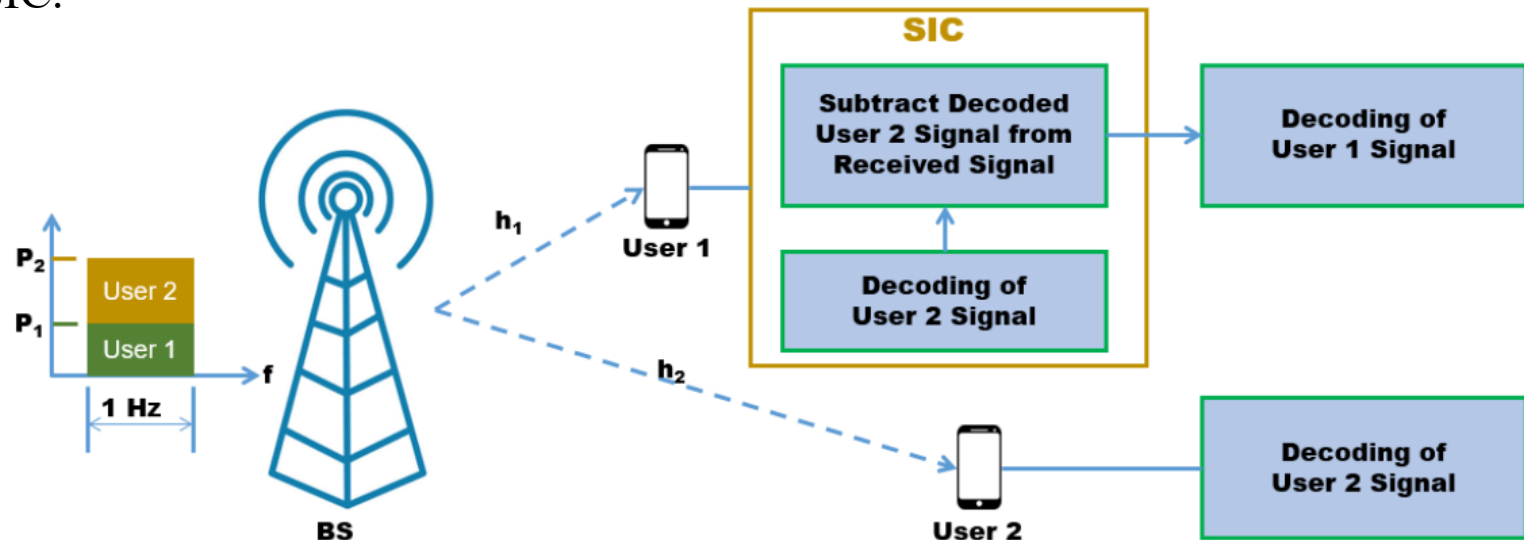
Ενώ οι μέθοδοι OMA διαχωρίζουν τους χρήστες σε ορθογώνιους πόρους (διαφορετικός χρόνος ή συχνότητα), αφήνοντας συχνά αναξιοποίητη χωρητικότητα, το NOMA επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο κανάλι και την ίδια συχνότητα, υπέρθετοντας τα σήματά τους. Ο διαχωρισμός των χρηστών επιτυγχάνεται όχι στο πεδίο του χρόνου ή της συχνότητας, αλλά κυρίως στο **πεδίο της ισχύος (Power Domain NOMA)**. Αυτό σημαίνει ότι ο πομπός αναθέτει διαφορετικά επίπεδα ισχύος στα σήματα των χρηστών, δίνοντας υψηλότερη ισχύ στους χρήστες με κακές συνθήκες καναλιού (π.χ. μακριά από τον δορυφόρο) και χαμηλότερη ισχύ σε αυτούς με καλές συνθήκες.

Non orthogonal multiple access (NOMA)

Στον δέκτη, χρησιμοποιείται η τεχνική **Διαδοχικής Ακύρωσης Παρεμβολής (Successive Interference Cancellation - SIC)**. Με το SIC, ο δέκτης, ο οποίος λαμβάνει ένα σύνθετο, υπέρτεθειμένο σήμα, αποκωδικοποιεί πρώτα το ισχυρότερο σήμα, το αφαιρεί (cancelling) από το σύνολο και στη συνέχεια προχωρά στην αποκωδικοποίηση του επόμενου ισχυρότερου, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία έως ότου απομονωθεί το δικό του σήμα.

Στην περίπτωση δύο χρηστών, ο χρήστης που βρίσκεται στη μικρότερη απόσταση, λαμβάνει σήμα μικρότερης ισχύος και πρέπει να αποκωδικοποιήσει και να αφαιρέσει το σήμα του δεύτερου χρήστη. Ο δεύτερος χρήστης όμως θα λάβει το σήμα μεγαλύτερης ισχύος με σχετικά καλό SNR ενώ το σήμα του πρώτου χρήστη θα αποτελεί έναν επιπλέον θόρυβο. Έτσι δεν θα χρειαστεί να εφαρμόσει SIC.

Η επιτυχία του SIC εξαρτάται από την ακρίβεια της ανακατασκευής του σήματος. Οποιοδήποτε σφάλμα στην αποκωδικοποίηση του ισχυρότερου σήματος θα μεταδοθεί ως λάθος ακύρωση και θα επηρεάσει την αποκωδικοποίηση όλων των ασθενέστερων σημάτων που ακολουθούν.



Non orthogonal multiple access (NOMA)

Κέρδος καναλιού NOMA (h).

- Περιγράφει την ποιότητα του καναλιού χρήστη–δορυφόρου
- Περιλαμβάνει path loss, κέρδη κεραιών, fading
- Καθορίζει:
 - ποιος είναι strong / weak user
 - ποιος εκτελεί SIC

SINR ανά χρήστη

$$\text{SINR}_i = \frac{P_i h_i}{\sum P_j h_i + N_0} \quad \text{όπου } P_i = a_i P \quad \text{και} \quad \sum a_i = 1$$

SINR μεγαλύτερο του 3 dB συνήθως είναι επαρκές για επιτυχή αποκωδικοποίηση.

Φασματική απόδοση R_i

$$R_i = \log_2(1 + \text{SINR}_i) \text{ σε bit/s/Hz}$$

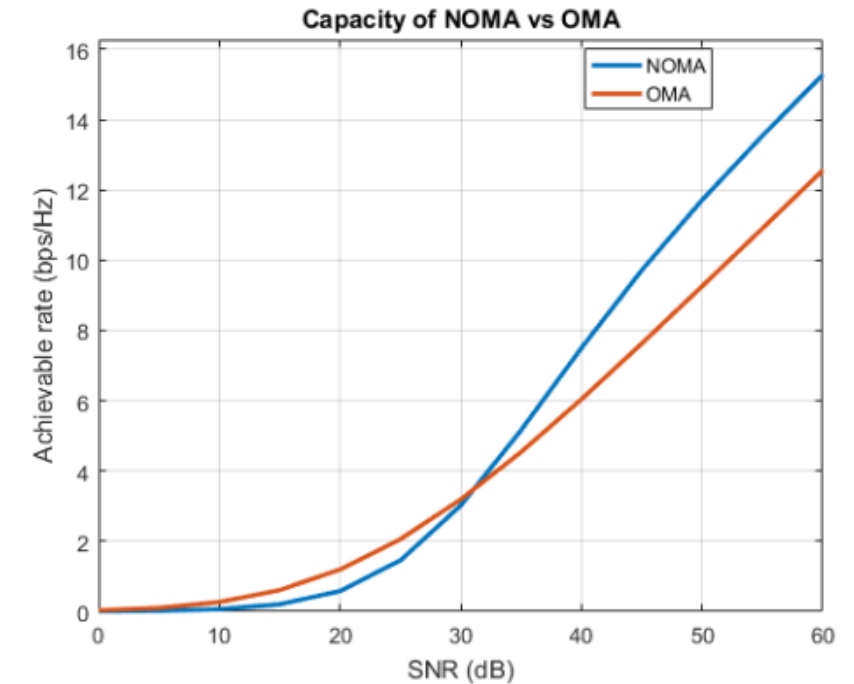
Ο πιο αδύναμος χρήστης (μικρότερο h αλλά μεγαλύτερη P) λαμβάνει: $y_A = \sqrt{h_A P_B} s_B + \sqrt{h_A P_A} s_A + n$

Αφού αποκωδικοποιήσει και αφαιρέσει το σήμα του δυνατότερου χρήστη έχει: $y'_A = y_A - \sqrt{h_A P_B} s_B$

Non orthogonal multiple access (NOMA)

Υψηλή φασματική απόδοση: Δεδομένου ότι μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς χρήστες χρησιμοποιώντας το ίδιο μπλοκ πόρων, το NOMA είναι εξαιρετικά αποδοτικό από φασματική άποψη.

Μαζική συνδεσιμότητα: Το IoT φέρνει δισεκατομμύρια συσκευές, αντικείμενα και μηχανές που χρειάζονται συνδεσιμότητα ακόμη και στις πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το 5G και τα επόμενα πρότυπα αναμένεται να υποστηρίξουν αυτή τη μαζική συνδεσιμότητα και το NOMA μπορεί να ικανοποιήσει τις προσδοκίες σε κάποιο βαθμό. Δεδομένου ότι ο αριθμός των υποστηριζόμενων χρηστών/συσκευών NOMA δεν περιορίζεται αυστηρά από τον αριθμό των διαθέσιμων ορθογώνιων πόρων, το NOMA είναι σε θέση να τους εξυπηρετήσει χρησιμοποιώντας λιγότερους πόρους.



OMA (TDMA)

60% Capacity

NOMA

90% Capacity

Non orthogonal multiple access (NOMA)

Βελτιωμένη δικαιοσύνη για τους χρήστες: Η κατανομή ισχύος του NOMA επιτρέπει σε ένα σύστημα να πραγματοποιεί μια ανταλλαγή μεταξύ της δικαιοσύνης μεταξύ των χρηστών και της απόδοσης. Επομένως, εάν υιοθετηθεί μια κατάλληλη κατανομή ισχύος, οι χρήστες στην άκρη του κυττάρου μπορούν επίσης να απολαύσουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων.

Χαμηλή καθυστέρηση: Το OMA εξαρτάται από αιτήματα χορήγησης πρόσβασης — ένας χρήστης ανερχόμενης ζεύξης πρέπει πρώτα να στείλει ένα αίτημα προγραμματισμού στο base station (BS). Στη συνέχεια, το BS στέλνει ένα σαφές σήμα στον χρήστη στο κανάλι κατερχόμενης ζεύξης. Η διαδικασία χορήγησης πρόσβασης αυξάνει έτσι την καθυστέρηση (ακόμη και με επιπλέον επιβάρυνση σηματοδότησης), κάτι που δεν είναι επιθυμητό στη συνδεσιμότητα επόμενης γενιάς. Αντίθετα, η πολλαπλή πρόσβαση χωρίς χορήγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σχήματα NOMA με την τυφλή ανίχνευση ενεργών χρηστών και την αποκωδικοποίηση των ροών δεδομένων τους. Η NOMA χωρίς αίτηση συνοδεύεται έτσι από μειωμένη καθυστέρηση. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της καθυστέρησης, καθώς πολλοί χρήστες εξυπηρετούνται ταυτόχρονα στο NOMA.

Non orthogonal multiple access (NOMA)

Ένας δορυφόρος GEO εξυπηρετεί δύο χρήστες μέσα στην ίδια δέσμη (beam) χρησιμοποιώντας Power-Domain NOMA στο downlink. Οι χρήστες είναι:

Χρήστης 1 (U1): Κοντινός χρήστης (strong user)

Κέρδος καναλιού: $h_1 = 1$

Χρήστης 2 (U2): Μακρινός χρήστης (weak user)

Κέρδος καναλιού: $h_2 = 0.25$

Ο δορυφόρος εκπέμπει συνολική ισχύ: $P = 1 \text{ W}$

Η κατανομή ισχύος είναι : $P_1 = 0.3 \text{ W}$ για τον U1 και $P_2 = 0.7 \text{ W}$ για τον U2

Η ισχύς θορύβου είναι : $N_0 = 0.005 \text{ W/Hz}$

1. Ποιος χρήστης εκτελεί Successive Interference Cancellation (SIC) και γιατί;
2. Υπολογίστε το SINR του U2.
3. Υπολογίστε το SINR του U1 πριν και μετά την επιτυχή SIC.
4. Υπολογίστε τον ρυθμό μετάδοσης του U2 χρησιμοποιώντας τον τύπο του Shannon.

Non orthogonal multiple access (NOMA)

1. Ο Χρήστης 1 (U1) εκτελεί SIC, διότι:

Έχει ισχυρότερο κανάλι ($h_1 > h_2$)

Μπορεί να αποκωδικοποιήσει πρώτα το σήμα του U2.

Στη συνέχεια αφαιρεί το σήμα του U2 και αποκωδικοποιεί το δικό του.

2. Ο U2 **δεν** εκτελεί SIC και βλέπει το σήμα του U1 ως παρεμβολή.

$$\text{SINR}_{U2} = \frac{P_2 h_2}{P_1 h_2 + N_0}$$

Αντικαθιστώντας:
$$\text{SINR}_{U2} = \frac{0.7 \times 0.25}{0.3 \times 0.25 + 0.005} = \frac{0.175}{0.075 + 0.005} = \frac{0.175}{0.08} = 2.1875$$

3. Ο U1 πριν την SIC βλέπει
$$\text{SINR}_{U1_prin} = \frac{P_2 h_1}{P_1 h_1 + N_0} = \frac{0.7 \times 0.75}{0.3 \times 0.75 + 0.005} = \frac{0.525}{0.23} = 2.283$$

Μετά την επιτυχή αφαίρεση του σήματος του U2, ο U1 βλέπει μόνο θόρυβο:
$$\text{SINR}_{U1} = \frac{P_1 h_1}{N_0} = \frac{0.3 \times 1}{0.005} = 60$$

4. Χρησιμοποιούμε τον τύπο Shannon:

$$R_{U2} = \log_2(1 + \text{SINR}_{U2})$$

$$R_{U2} = \log_2(1 + 2.1875) = \log_2(3.1875) \approx 1.67 \text{ bits/s/Hz}$$

Κατ' αίτηση εκχώρηση πολλαπλής πρόσβασης (DAMA)

Με την κατ' αίτηση εκχώρηση, ένας δορυφορικός σταθμός λαμβάνει μια αίτηση κλήσης από έναν άλλο τερματικό χρήστη που βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο μέσω ενός κεντρικού σταθμού (Hub). Ο χρόνος που μεσολαβεί για να περατωθεί η αίτηση ονομάζεται «χρόνος άφιξης κλήσης».

Η παρούσα κλήση μπορεί να αφορά:

- Μια εφαρμογή στον server, που είναι συνδεδεμένο το Hub, ή
- Έναν τερματικό χρήστη, που συνδέεται με κάποιον άλλο δορυφορικό σταθμό στο δίκτυο.

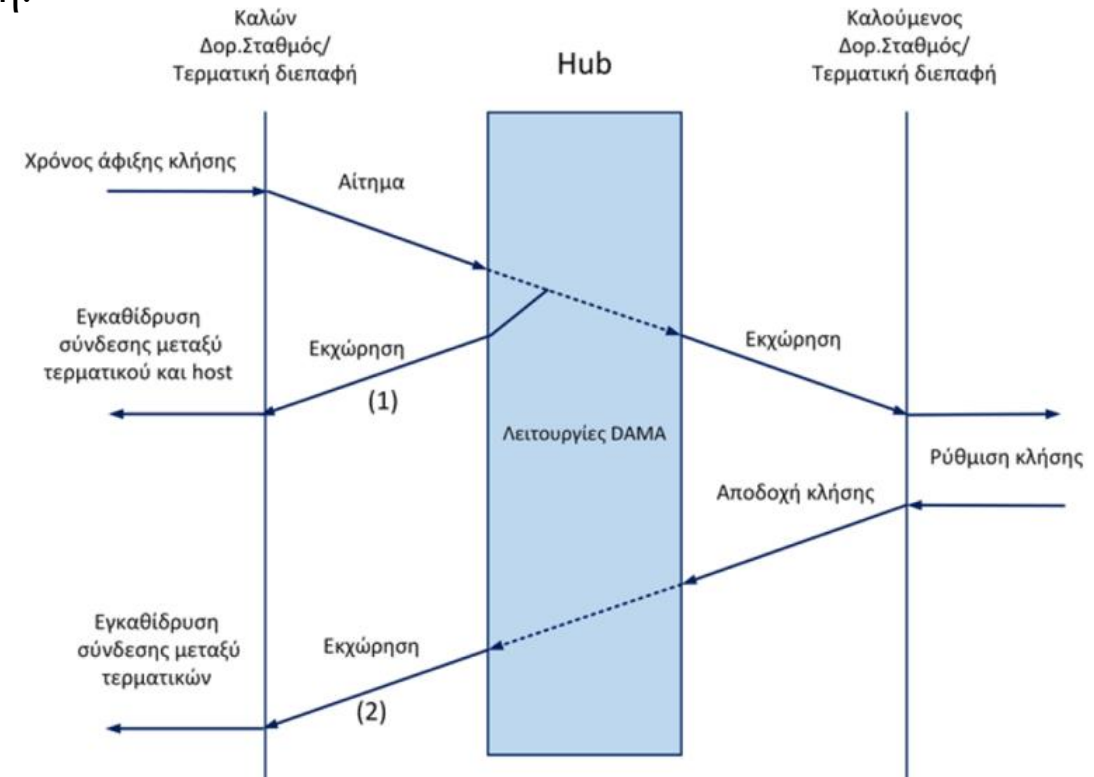
Ο δορυφορικός σταθμός στέλνει ένα αίτημα στο Hub μέσω ενός ειδικού εισερχόμενου (inbound) καναλιού σηματοδοσίας και το Hub εκχωρεί την αιτούμενη χωρητικότητα, εάν υπάρχει, προς τον αντίστοιχο δορυφορικό σταθμό μέσω μηνυμάτων απόκρισης, τα οποία μεταδίδονται σε ένα εξερχόμενο (outbound) κανάλι σηματοδοσίας, μεταφέροντας τις εκχωρήσεις της χωρητικότητας (φέρουσα συχνότητα, χρονοσχισμή ή κωδικό).

DAMA

Εάν η σύνδεση πραγματοποιείται μεταξύ ενός χρήστη και του server, η καθυστέρηση της εισερχόμενης απάντησης είναι δύο hops, συν τον χρόνο επεξεργασίας που χρειάζεται η σύνδεση.

Εάν η σύνδεση πραγματοποιείται μεταξύ δύο χρηστών, το Hub μεταδίδει μια εκχώρηση στο τερματικό του προορισμού και περιμένει για ένα μήνυμα αποδοχής κλήσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή εκχώρησης χωρητικότητας στην εισερχόμενη κλήση, πριν από τη διαβεβαίωση ότι η κλήση μπορεί να γίνει αποδεκτή από το τερματικό προορισμού.

Στη συνέχεια, ο κόμβος αναθέτει χωρητικότητα στον καλούντα δορυφορικό σταθμό και η εγκαθίδρυση της σύνδεσης έχει μια καθυστέρηση τεσσάρων hops, συν τον χρόνο επεξεργασίας. Μόλις η σύνδεση είναι εγκατεστημένη από το τερματικό στο τερματικό, το Hub λειτουργεί ως αναμεταδότης (relay).



Λειτουργία DAMA: (1) εγκαθίδρυση σύνδεσης τερματικού χρήστη με κεντρικό server, (2) εγκαθίδρυση σύνδεσης τερματικού με τερματικό χρήστη

DAMA

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η κατ' αίτηση εκχώρηση επιτρέπει σε περισσότερους δορυφορικούς σταθμούς να μοιραστούν τους δορυφορικούς πόρους, ή, για ένα δεδομένο μέγεθος του δικτύου, επιτρέπει τη μείωση του χρησιμοποιούμενου δορυφορικού εύρους ζώνης. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η χωρητικότητα για τη σηματοδοσία. Ωστόσο, αυτή μπορεί να διατηρηθεί αρκετά μικρή.

Μεγαλύτερη μέριμνα πρέπει να δοθεί στη χρονική καθυστέρηση: **ένα μήνυμα πρέπει να περιμένει στον δορυφορικό σταθμό προτού μεταδοθεί**, ενώ οι αιτήσεις προωθούνται και ολοκληρώνεται η εκχώρηση των καναλιών. Ως αποτέλεσμα του χρόνου διάδοσης και του χρόνου επεξεργασίας, η καθυστέρηση μπορεί να είναι αρκετά υψηλή, **από ένα έως δύο δευτερόλεπτα για GEO και ~10 ms για LEO**. Αυτή η καθυστέρηση δεν είναι συμβατή με την αποτελεσματική μετάδοση σύντομων μηνυμάτων που συνιστούν την καταιγιστική (bursty) κίνηση, και θα πρέπει η σύνδεση να δημιουργηθεί κάθε φορά που έρχεται ένα μήνυμα.

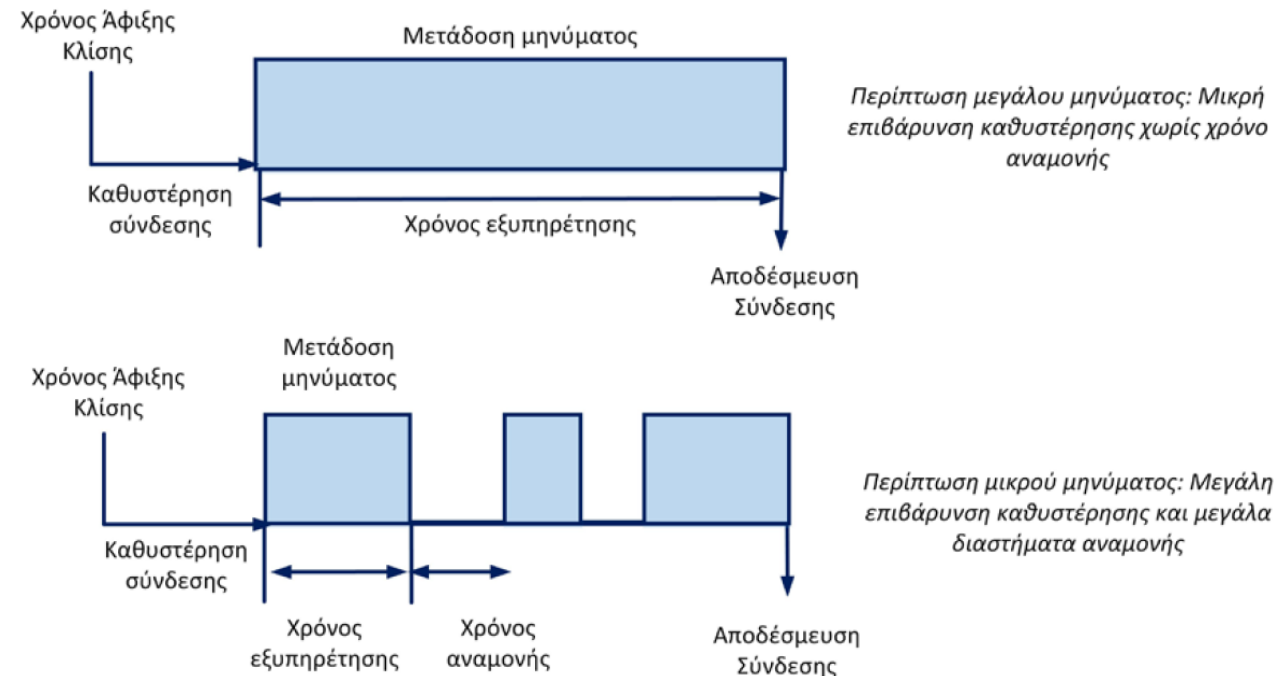
DAMA

Η καθυστέρηση εγκαθίδρυσης της σύνδεσης συγκρίνεται με τον χρόνο μετάδοσης ενός μηνύματος, που ονομάζεται χρόνος υπηρεσίας (service time). Συνήθως, το τυπικό μήκος ενός μηνύματος για καταιγιστική κίνηση είναι μερικές εκατοντάδες bytes. Όταν το μήκος ενός μηνύματος είναι 125 bytes και ο ρυθμός 1 Mbps, τότε ο χρόνος υπηρεσίας είναι 1 ms. Αν υποθεθεί καθυστέρηση εγκαθίδρυσης σύνδεσης ακόμα και της τάξεως του 10 ms, τότε η επιπρόσθετη καθυστέρηση πριν από τη μετάδοση του μηνύματος είναι 10 φορές τον χρόνο μετάδοσης του μηνύματος. Άρα **για μικρού όγκου μεταδόσεις η DAMA είναι αναποτελεσματική**.

Η καταιγιστική κίνηση δρομολογείται καλύτερα, εάν:

- Οι δορυφορικοί σταθμοί μεταδίδουν ταυτόχρονα κάθε φορά που λαμβάνουν κίνηση από τα τερματικά των χρηστών. Αυτό απαγορεύει οποιαδήποτε καθυστέρηση δημιουργίας της σύνδεσης.
- Η χωρητικότητα που προέρχεται από τη χρήση του εύρους ζώνης του αναμεταδότη, μοιράζεται μεταξύ όλων των δορυφορικών σταθμών με σκοπό να επιτρέψει τη στατιστική πολυπλεξία των ριπών.

Αυτές οι προϋποθέσεις πληρούνται σε σχήματα τυχαίας πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου.



ALOHA

Αυτός ο τύπος πρόσβασης είναι καταλληλότερος για δίκτυα με μεγάλο αριθμό σταθμών, όπου κάθε σταθμός απαιτείται να εκπέμπει σύντομα μηνύματα, που παράγονται σε τυχαίες στιγμές, με μεγάλους ενδιάμεσους χρόνους μεταξύ των μηνυμάτων. Υπάρχουν τρεις βασικές υλοποιήσεις του πρωτοκόλλου ALOHA: το καθαρό ALOHA (pure) και το ALOHA με σχισμές (Slotted) και το ALOHA επιλεκτικής απόρριψης (selective reject).

Η βασική αρχή της τεχνικής τυχαίας πρόσβασης είναι να επιτρέπει τη μετάδοση μηνυμάτων σχεδόν χωρίς περιορισμό, με τη μορφή ριπών μικρής διάρκειας, οι οποίες καταλαμβάνουν όλο ή μέρος του εύρους ζώνης του καναλιού του αναμεταδότη. **Πρόκειται λοιπόν, για πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου και τυχαία εκπομπή.** Είναι μερικώς αποδεκτή η πιθανότητα 'σύγκρουσης' μεταξύ των ριπών στον δορυφόρο, όπου σ' αυτή την περίπτωση, ο επίγειος δέκτης έχει να αντιμετωπίσει την παρουσία θορύβου και παρεμβολής, που μπορούν να αποτρέψουν την αναγνώριση του μηνύματος. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η επανεκπομπή όλης ή μέρους της ριπής.

Η απόδοση της τεχνικής τυχαίας πρόσβασης εκτιμάται με βάση τη διακίνηση πληροφοριών και τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης. Η κανονικοποιημένη απόδοση είναι ο λόγος του όγκου της πληροφορίας που φθάνει στον προορισμό της προς τον μέγιστο όγκο πληροφοριών που θα μπορούσε να εκπεμφθεί στο ίδιο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ο χρόνος μετάδοσης (καθυστέρηση) είναι μία τυχαία μεταβλητή, η μέση τιμή του οποίου υποδεικνύει τον μέσο χρόνο μεταξύ της παραγωγής ενός μηνύματος και της σωστής λήψης του από τον σταθμό προορισμού.

Καθαρό ALOHA

Στο καθαρό ALOHA, τα πακέτα εκπέμπονται από κάθε επίγειο σταθμό χωρίς περιορισμό όσον αφορά τον χρόνο εκπομπής. Επομένως, **πρόκειται για ένα ολοκληρωτικά ασύγχρονο πρωτόκολλο**. Με απουσία συγκρούσεων, οι σταθμοί προορισμού εκπέμπουν ένα πακέτο επιβεβαίωσης λήψης πακέτου (ACK). Σε περίπτωση σύγκρουσης, ο δέκτης του σταθμού δεν μπορεί να αναγνωρίσει το μήνυμα, και δεν εκπέμπει επιβεβαίωση λήψης. **Αν δεν ληφθεί η βεβαίωση λήψης εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος μετά την εκπομπή, ο σταθμός εκπομπής επανεκπέμπει το μήνυμα**. Αυτή η νέα εκπομπή γίνεται μετά από έναν τυχαίο χρόνο, που καθορίζεται ανεξάρτητα σε κάθε σταθμό, για να αποφευχθούν οι περαιτέρω συγκρούσεις πακέτων.

Στην περίπτωση που ο πληθυσμός των χρηστών είναι ομοιογενής (η διάρκεια των πακέτων και ο ρυθμός παραγωγής μηνυμάτων είναι σταθερά), αποδεικνύεται ότι οι πληροφορίες S που διακινήθηκαν (δηλαδή τα πακέτα που λήφθηκαν σωστά από τον δέκτη) ως συνάρτηση του συνολικού όγκου πληροφορίας G (αρχικά και επανεκπεμπόμενα μηνύματα) δίνονται από τη σχέση $S = G \exp(-2G)$ (πακέτα ανά χρονοσχισμή).

Τα μεγέθη S και G εκφράζονται ως αριθμός πακέτων ανά χρονοσχισμή ίσο με τη κοινή διάρκεια των πακέτων. Η ποσότητα S αντιστοιχεί στην κανονικοποιημένη απόδοση. Η κανονικοποιημένη απόδοση του πρωτοκόλλου δεν υπερβαίνει το 18.4%. **Ο μέσος χρόνος εκπομπής αυξάνεται, καθώς αυξάνεται ο όγκος διακινούμενης πληροφορίας, πράγμα που οφείλεται στην αύξηση των συγκρούσεων και των επανεκπομπών των πακέτων**.

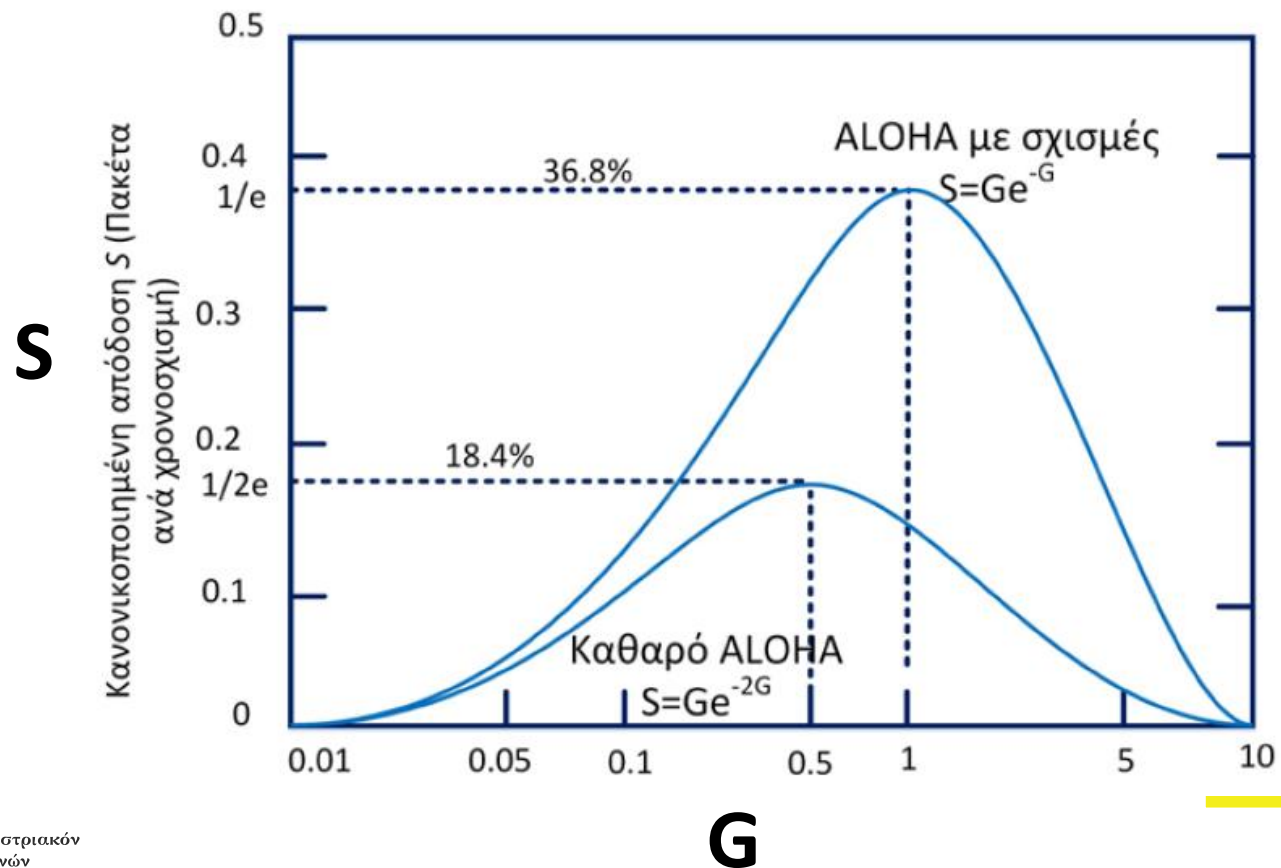
ALOHA με σχισμές

Στο πρωτόκολλο ALOHA με σχισμές (S-ALOHA), κάθε φέρον εκπέμπεται με τη μορφή ριπής διάρκειας ίση με αυτή της χρονοσχισμής και επομένως ίση με την κοινή διάρκεια των πακέτων. Στην περίπτωση αυτή οι δορυφορικοί σταθμοί είναι συγχρονισμένοι, αφού οι εκπομπές γίνονται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές που καθορίζονται από το ρολόι του δικτύου, αλλά όχι συντονισμένα με την έννοια ότι, όταν ένας δορυφορικός σταθμός εκπέμπει σε κάποια χρονική στιγμή, αγνοεί, αν κάποιος άλλος δορυφορικός σταθμός εκπέμπει ή όχι την ίδια χρονική στιγμή. Κάθε τερματικός χρήστης, που είναι προσαρτημένος σε κάποιο δορυφορικό σταθμό, παράγει ένα μήνυμα προς μετάδοση, το μήκος του οποίου μπορεί να μη συμπίπτει με το μήκος του πακέτου. Αν είναι μικρότερο, συμπληρώνεται με εικονικά ψηφία (dummy bits), ενώ αν είναι μεγαλύτερο, τεμαχίζεται σε έναν αριθμό πακέτων. Είναι προφανές ότι **δεν μπορούν να υπάρχουν μερικές συγκρούσεις. Κάθε σύγκρουση συμβαίνει με πλήρη επικάλυψη των πακέτων.** Η διάρκεια της σύγκρουσης περιορίζεται στη διάρκεια ενός πακέτου, σε αντίθεση με το καθαρό ALOHA, που ισούται με τη διάρκεια δύο πακέτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό της πιθανότητας σύγκρουσης, και έτσι η απόδοση δίνεται από τη σχέση $S = G \exp(-G)$ (πακέτα ανά χρονοσχισμή). Μπορούμε να δούμε την αυξημένη απόδοση που οφείλεται στον συγχρονισμό. Η κανονικοποιημένη απόδοση αυτού του πρωτοκόλλου έχει ως μέγιστη τιμή το 36,8%.

Η σχετικά χαμηλή απόδοση των πρωτοκόλλων ALOHA είναι αναμενόμενη, καθώς οι δορυφορικοί σταθμοί εκπέμπουν με τυχαίο τρόπο. Το ALOHA με σχισμές έχει μεγαλύτερο throughput από το καθαρό ALOHA. **Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι έχει μικρότερη μέση καθυστέρηση σε χαμηλό throughput (π.χ. με κίνηση σε ριπές) απ' αυτή που επιτυγχάνεται με δυναμική εκχώρηση FDMA ή TDMA.**

ALOHA

G (Κίνηση)	S/G→Αποδοτικότητα	Throughput
Πολύ Μικρό	Κοντά στο 100 %	Κοντά στο 0
Βέλτιστο	30-36.8 %	Μέγιστο
Πολύ Υψηλό	Κοντά στο 0 %	Κοντά στο 0



Απόδοση πρωτοκόλλων τυχαίας πρόσβασης

Η απόδοση των πρωτοκόλλων τυχαίας πρόσβασης περιορίζεται για τους εξής, κυρίως, λόγους:

- **Αστάθεια:** Τα πακέτα που συγκρούονται πρέπει να επαναμεταδοθούν, δημιουργώντας επιπλέον τηλεπικοινωνιακή κίνηση, η οποία προστίθεται σ' αυτή που οφείλεται στα νέα πακέτα.
- **Περιορισμοί μεγάλου μηνύματος:** Η επιτυχημένη μετάδοση μεγάλου μηνύματος συνεπάγεται την επιτυχημένη μετάδοση αρκετών διαδοχικών πακέτων. Αποδεικνύεται ότι η απόδοση ενός πρωτοκόλλου ALOHA με σχισμές στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S = \frac{Ge^{-G}}{1 + G^2}$$

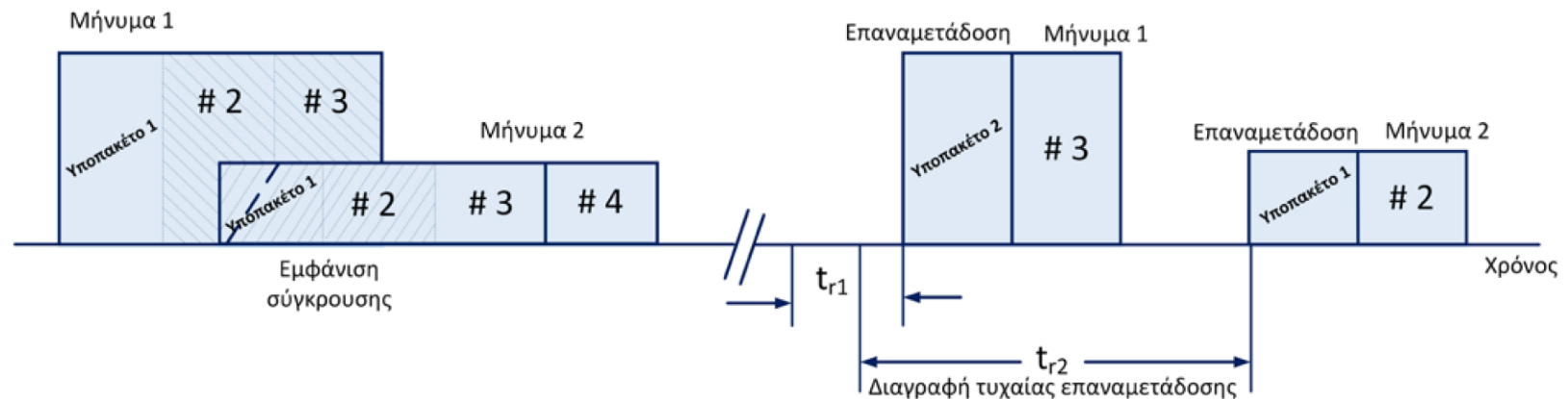
Από τον τύπο αυτό προκύπτει ότι η απόδοση ενός πρωτοκόλλου ALOHA με σχισμές στην περίπτωση μεγάλου μηνύματος, συγκρινόμενο με την περίπτωση ενός μοναδικού πακέτου, μειώνεται κατά έναν παράγοντα $1+G^2$.

Για να ξεπεραστούν οι παραπάνω περιορισμοί, χρησιμοποιούνται εναλλακτικές υλοποιήσεις πρωτοκόλλων τυχαίας πρόσβασης, με τις κυριότερες να είναι το πρωτόκολλο επιλεκτικής απόρριψης (selective repeat ALOHA) και οι κρατήσεις πακέτων.

Πρωτόκολλο επιλεκτικής απόρριψης ALOHA (selective reject ALOHA)

Μια βελτίωση του καθαρού ALOHA, η οποία επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση και μικρότερη καθυστέρηση για μία σειρά από διαδραστικά χαρακτηριστικά κίνησης, χωρίς την απαίτηση χρονισμού ή συντονισμού μεταξύ των σταθμών, είναι η selective reject ALOHA. Αυτή προσεγγίζει το θεωρητικό όριο απόδοσης των 0.368 της ασύγχρονης πολλαπλής πρόσβασης, **προκαλώντας υποδιαίρεση των μηνυμάτων (subpacketizing) σε ανεξάρτητα λαμβανόμενα υπο-πακέτα και επαναμετάδοση μόνο εκείνων των υπο-πακέτων, που πραγματικά αντιμετωπίζουν συγκρούσεις στον δίαυλο.** Επιπλέον, δεν χρειάζεται συγχρονισμό όπως η slotted ALOHA.

Στην πράξη, η ωφέλιμη απόδοση δεδομένων που επιτυγχάνεται κυμαίνεται μεταξύ 0.25–0.3, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μήκους του μηνύματος, τις δυνατότητες ανάκτησης των πακέτων στον δέκτη και την αντιμετώπιση των επιπρόσθετων bits (overhead) που απαιτούνται σε κάθε υπο-πακέτο.



ALOHA

Σε τελική ανάλυση, η τυχαία πρόσβαση με χρήση πρωτοκόλλων ALOHA δίνει το πλεονέκτημα της στατιστικής αύξησης των χρηστών ενός δικτύου, όταν η πιθανότητα μετάδοσης ανά πάσα στιγμή είναι σχετικά μικρή, όπως και η DAMA. Όταν η πιθανότητα μετάδοσης αυξάνεται, τα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης φτάνουν σε μια απόδοση κόρου της τάξης του 30%, ενώ η DAMA μπορεί να φτάσει το 80%.

Αλλά, όσον αφορά την κίνηση ριπών, η DAMA μπορεί να επιβαρύνει αρκετά τη χωρητικότητα λόγω της καθυστέρησης μετάδοσης και σε αρκετές περιπτώσεις να προσφέρει μικρότερο αριθμό χρηστών και throughput από τα εξελιγμένα σχήματα ALOHA.

Τέλος, το latency που επιβάλλει η DAMA δεν υπάρχει στην τυχαία πρόσβαση. Έτσι, η τυχαία πρόσβαση είναι ιδανική για δίκτυα που ισχύουν ταυτόχρονα τα εξής:

1. Υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών που ξεπερνά κατά πολύ τους πόρους για Fixed assignment.
2. Οι χρήστες μεταδίδουν στατιστικά σπάνια
3. Ο όγκος πακέτων ανά μετάδοση είναι σχετικά μικρός
4. Η μεγάλη καθυστέρηση (latency) δεν είναι επιθυμητή.

Το κλασικότερο παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι τα mobile data networks.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Τα δορυφορικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για να παρέχουν δύο βασικούς τύπους υπηρεσιών:

- υπηρεσίες τηλεόρασης, που σχετίζονται με τις υπηρεσίες ευρυεκπομπής (broadcasting)
- υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών, που σχετίζονται με τις υπηρεσίες αμφίδρομης επικοινωνίας, συμμετρικής τηλεφωνίας ή την ασύμμετρη πρόσβαση διαδικτύου.

Στην περιοχή κάλυψης ενός μόνο δορυφόρου μπορούν να αναπτυχθούν ένα ή περισσότερα δορυφορικά δίκτυα και να λειτουργούν με έναν μόνο πάροχο δορυφορικού δικτύου. Με αυτό τον τρόπο, ο πάροχος θα βασίζεται στο επίγειο τμήμα και θα χρησιμοποιεί ορισμένους πόρους επί του δορυφόρου (on-board), μέσω των δορυφορικών διαύλων που χρησιμοποιούνται.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Επίγειο τμήμα → τμήμα χρηστών + τμήμα ελέγχου και διαχείρισης.

Στο τμήμα χρηστών βρίσκονται τα δορυφορικά τερματικά (Satellite Terminals, ST), που συνδέονται με τον εξοπλισμό του τελικού χρήστη στις εγκαταστάσεις του πελάτη (Customer Premises Equipment, CPE) άμεσα ή μέσω ενός LAN και ενός κεντρικού σταθμού (Hub) ή σταθμών-πυλών (gateways), που μερικές φορές ονομάζονται τερματικά πρόσβασης στο δίκτυο (Network Access Terminals, NAT), τα οποία συνδέονται με τα επίγεια δίκτυα.

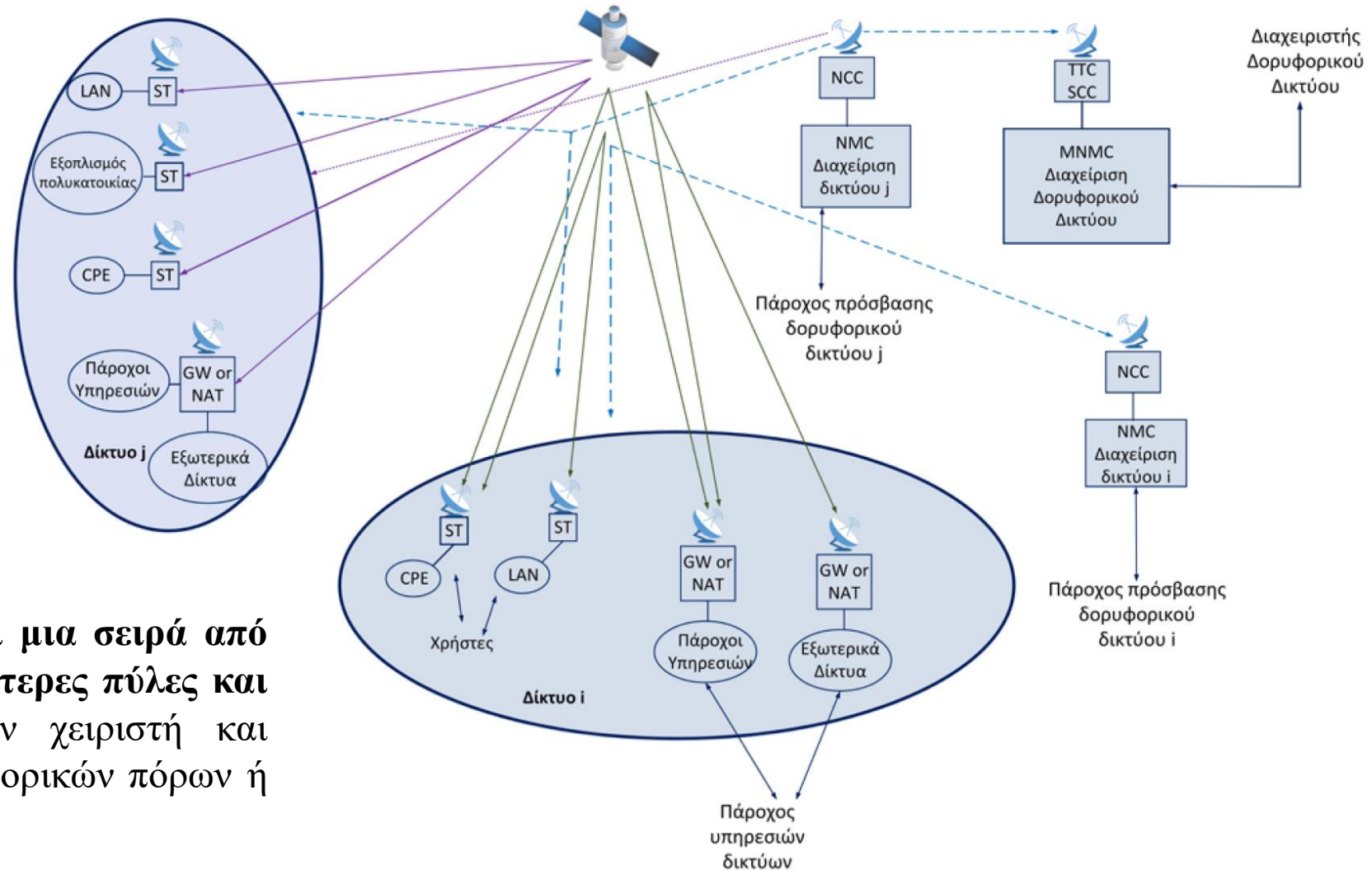
Το τμήμα των χρηστών αποτελείται από:

- Τα δορυφορικά τερματικά, που είναι επίγειοι σταθμοί, οι οποίοι συνδέονται στα CPE, στέλνοντας ή λαμβάνοντας φέροντα από έναν δορυφόρο, αποτελώντας τα σημεία δορυφορικής πρόσβασης ενός δικτύου.
- Τα CPE, που ονομάζονται και τερματικά χρηστών (User Terminals, UT), τα οποία περιλαμβάνουν εξοπλισμό, όπως τηλεφωνικές συσκευές, τηλεοράσεις και set-top-boxes, και προσωπικούς υπολογιστές. Τα τερματικά των χρηστών είναι ανεξάρτητα από την τεχνολογία του δικτύου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στα επίγεια όσο και στα δορυφορικά δίκτυα.
- Τον επίγειο σταθμό-πύλη (Gateway, GW), που παρέχει λειτουργίες διαδικτύωσης σε ένα επίγειο δίκτυο ή μεταξύ του δορυφορικού δικτύου και του Internet.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Τμήμα χρηστών → τα δορυφορικά τερματικά (Satellite Terminals, ST) συνδέονται με τον εξοπλισμό του τελικού χρήστη στις εγκαταστάσεις του πελάτη (Customer Premises Equipment, CPE) άμεσα ή μέσω ενός LAN και ενός κεντρικού σταθμού (Hub) ή σταθμών-πυλών (gateways), που ονομάζονται τερματικά πρόσβασης στο δίκτυο (Network Access Terminals, NAT).

Ένα δορυφορικό δίκτυο περιλαμβάνει μια σειρά από δορυφορικά τερματικά, μία ή περισσότερες πύλες και ένα NCC, που λειτουργεί από έναν χειριστή και χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο των δορυφορικών πόρων ή την αντίστοιχη χωρητικότητα.



Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

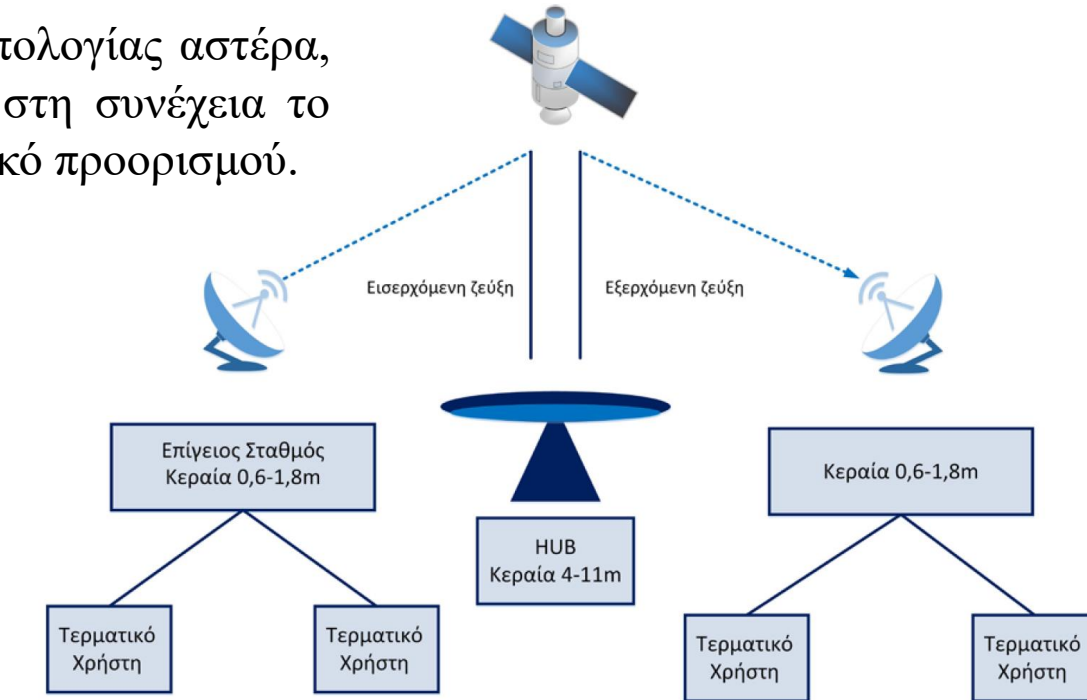
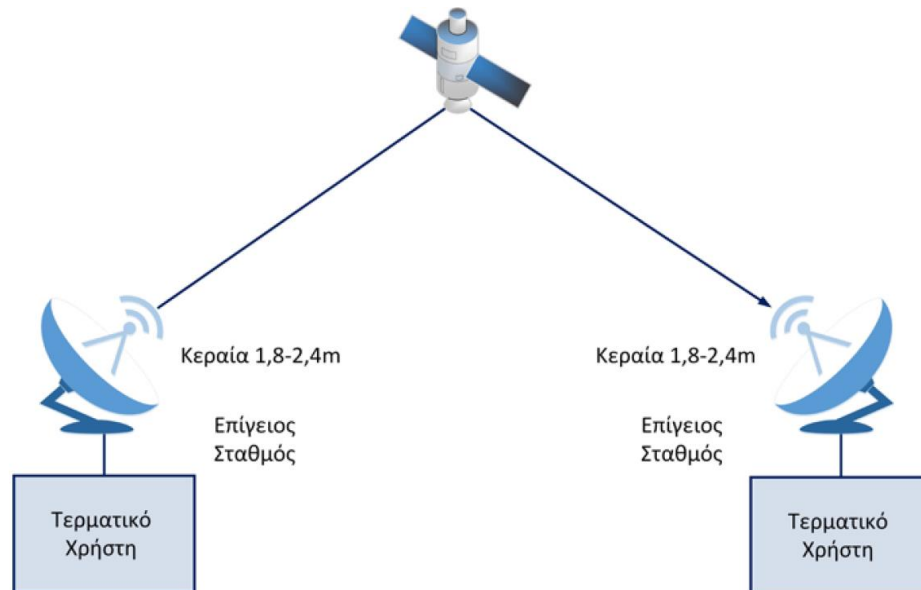
Το τμήμα ελέγχου και διαχείρισης αποτελείται από:

- **Τα κέντρα ελέγχου του δικτύου (Network Control Centres, NCC)** για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των συνδέσεων και των συσχετισμένων πόρων που εκχωρούνται στα τερματικά, τα οποία αποτελούν το δορυφορικό δίκτυο. (Allocating satellite bandwidth and time slots (TDMA/FDMA), Controlling access to the satellite (who can transmit and when), Managing synchronization and timing, Handling call/session setup, Enforcing QoS and traffic prioritization)
- **Τα κέντρα διαχείρισης του δικτύου (Network Management Centres, NMC)**, που ονομάζονται επίσης διαδραστικά κέντρα διαχείρισης δικτύου (Interactive Network Management Centres INMC), για λειτουργίες διαχείρισης μη-πραγματικού χρόνου, οι οποίες σχετίζονται με ένα μόνο δορυφορικό δίκτυο. (Network configuration and provisioning, Performance monitoring and reporting, Fault management and alarms, Software/firmware updates, Security management)
- **Το κέντρο διαχείρισης και αποστολής του δικτύου (Mission and Network Management Centre, MNMC)**, που είναι υπεύθυνο για τις υψηλού επιπέδου και μη-πραγματικού χρόνου λειτουργίες διαχείρισης για όλα τα δορυφορικά δίκτυα που έχουν αναπτυχθεί στην περιοχή κάλυψης ενός δορυφόρου. Μπορεί να διαχειρίζεται πολλά NCC και NMC. (Network-wide policies and standards, Consolidated performance and fault reporting, Cross-network coordination and escalation, Disaster recovery and redundancy control)

Συνδεσιμότητα

Η συνδεσιμότητα χαρακτηρίζει τον τρόπο με τον οποίο οι κόμβοι ενός δικτύου συνδέονται μεταξύ τους. Η συνδεσιμότητα μεταξύ των τερματικών των χρηστών που συνδέονται σε επίγειους σταθμούς μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου:

- είτε με απευθείας ζεύξη (one hop) από ένα δορυφορικό τερματικό σε ένα άλλο μέσω δορυφόρου, κατά την οποία θα πρέπει η απόδοση της ζεύξης να τηρεί την απαιτούμενη ποιότητα. Αυτό ισχύει ιδίως για την τοπολογία πλέγματος.
- είτε με διπλή ζεύξη (double hop) μέσω δορυφόρου σε δίκτυο τοπολογίας αστέρα, με το πρώτο τμήμα από το δορυφορικό τερματικό στο Hub και στη συνέχεια το δεύτερο hop, χρησιμοποιώντας το Hub ως αναμεταδότη στο τερματικό προορισμού.



Είδη συνδέσεων δορυφορικών δικτύων

Για σήματα που παράγονται από έναν τερματικό σταθμό της πηγής, με σκοπό να παραδοθούν σε έναν τερματικό σταθμό του προορισμού, το δορυφορικό δίκτυο πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- να δημιουργήσει μια σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών,
- να δρομολογήσει τα σήματα από τον τερματικό σταθμό της πηγής στον τερματικό προορισμού, αν και ο φυσικός πόρος που προσφέρεται για την παρούσα σύνδεση μπορεί να μοιραστεί με άλλα σήματα σε άλλες συνδέσεις, και
- να παρέχει την πληροφορία με αξιόπιστο τρόπο.

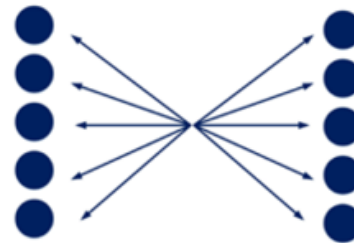
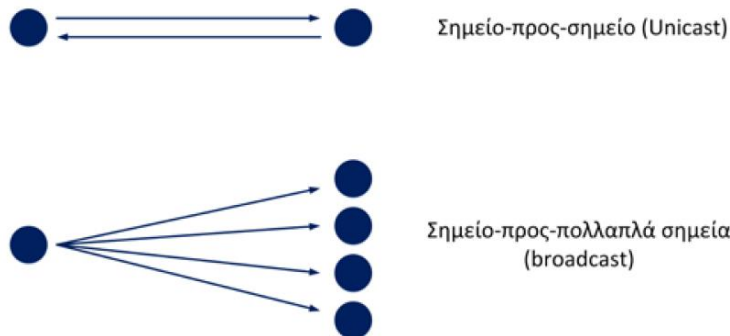
Αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων σημαίνει ότι τα δεδομένα είναι αποδεκτά στο ένα άκρο μιας σύνδεσης με την ίδια σειρά όπως μεταδόθηκαν στο άλλο άκρο, χωρίς απώλειες και χωρίς επαναλήψεις. Τα παραπάνω υποδηλώνουν τέσσερις περιορισμούς:

- Καμία απώλεια (τουλάχιστον ένα αντίγραφο από κάθε τμήμα του πληροφοριακού περιεχομένου παραδίδεται).
- Καμία επανάληψη (δεν παραδίδεται περισσότερο από ένα αντίγραφο κάθε φορά).
- Παράδοση First-In First-Out (FIFO), με τα διάφορα τμήματα του περιεχομένου της πληροφορίας να παραδίδονται σύμφωνα με την αρχική σειρά.
- Το περιεχόμενο της πληροφορίας λαμβάνεται εντός λογικής χρονικής καθυστέρησης.

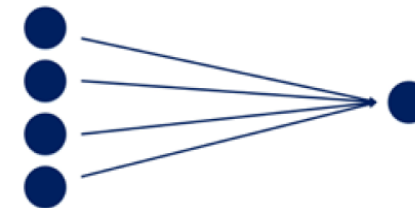
Είδη συνδέσεων δορυφορικών δικτύων

Θα μπορούσαν να προβλεφθούν δίκτυα για την υποστήριξη πολλών διαφορετικών τύπων κίνησης. Ωστόσο, το δίκτυο δεν μπορεί να μεταφέρει όλα τα διαφορετικά είδη κίνησης με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ως εκ τούτου, **τα δορυφορικά δίκτυα βελτιστοποιούνται για δεδομένους τύπους κίνησης**, οι οποίοι αποτυπώνουν την εκάστοτε ζήτηση υπηρεσιών από τον χρήστη, προσφέροντας επίσης ως επιλογή άλλα είδη υπηρεσιών. **Τα περισσότερα δορυφορικά δίκτυα βελτιστοποιούνται για αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων.**

Οι συνδέσεις σημείο-προς-σημείο (point-to-point) είναι στοιχειώδεις και αποτελούν απλά μια αμφίδρομη σύνδεση μεταξύ δύο επίγειων σταθμών. Ο όρος σύνδεσης σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) περιγράφει ένα δίκτυο που συνδέει αμοιβαίως έναν περιορισμένο αριθμό από επίγειους σταθμούς, οι οποίοι είναι κατά προτίμηση του ίδιου τύπου. Τα δίκτυα point-to-point και point-to-multipoint είναι οι πιο κοινοί και συμβατικοί τύποι δορυφορικών δικτύων. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές τους είναι στη διασύνδεση των κύριων τηλεφωνικών κέντρων, σε συστήματα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, στην ανταλλαγή τηλεοπτικών προγραμμάτων κ.λπ.



Πολλαπλά σημεία-προς-πολλαπλά σημεία



Πολλαπλά σημεία-προς-σημείο (Multiplexing/concentration)

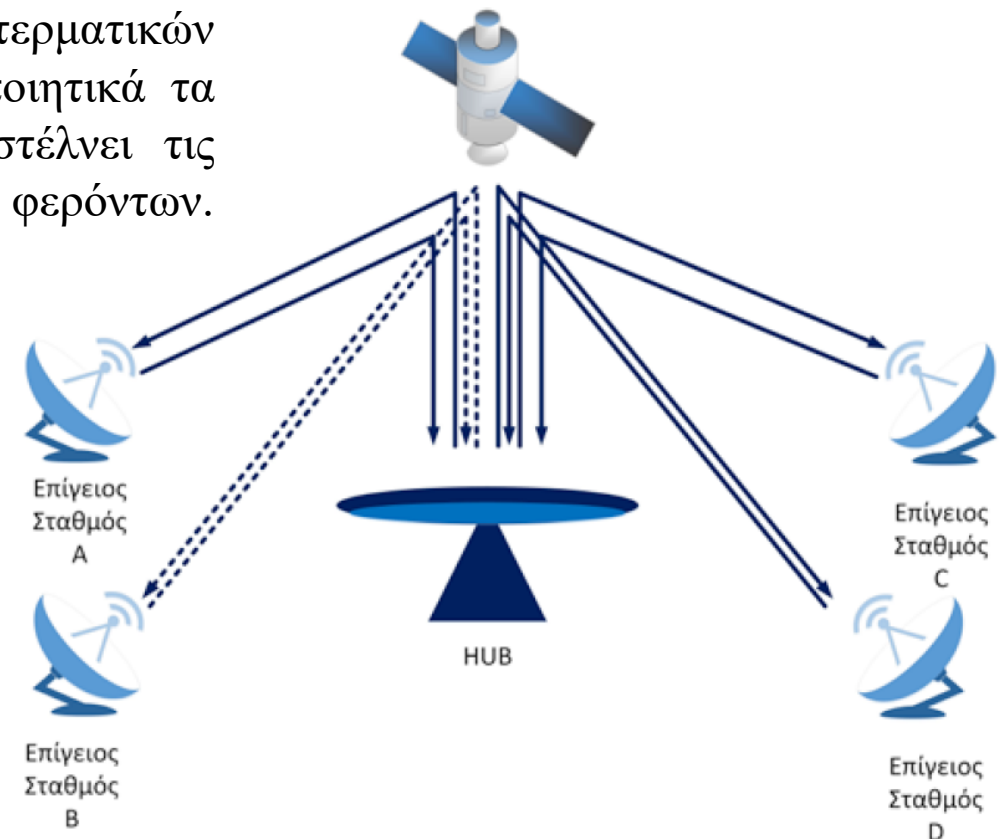
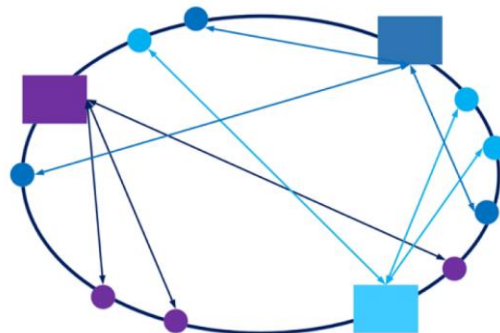
Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Τοπολογία Δικτύου Αστέρα

Η τοπολογία ενός δικτύου με κεντρικό σταθμό (Hub) ονομάζεται **τοπολογία αστέρα (star topology)**. Το Hub είναι εφοδιασμένο με ισχυρότερο πομπό και μεγαλύτερων διαστάσεων κεραία από έναν τυπικό επίγειο τερματικό σταθμό.

Λόγω των βελτιωμένων χαρακτηριστικών του έναντι των επίγειων τερματικών σταθμών (μεγάλο EIRP και G/T), το Hub μπορεί να λαμβάνει ικανοποιητικά τα φέροντα που εκπέμπονται από τους τερματικούς σταθμούς και να στέλνει τις ζητούμενες πληροφορίες προς τα τερματικά μέσω δικών του εκπεμπόμενων φερόντων.

Σε μία τοπολογία πολλαπλού αστέρα (multi-star), αρκετοί κεντρικοί σταθμοί (Hubs) και κόμβοι μπορεί να συνυπάρχουν σε ένα δορυφορικό δίκτυο που επισημαίνεται με τον δακτύλιο. Οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μόνο με εκείνον τον κεντρικό σταθμό Hub με τον οποίο συνεργάζονται.



Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Τοπολογία Δικτύου Αστέρα

Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι ότι για την εγκατάσταση της ζεύξης μεταξύ δύο τερματικών σταθμών **απαιτείται διπλό άλμα (double hop)**, εξαιτίας του οποίου **εισάγεται μια χρονική καθυστέρηση της τάξης των 0.1-1 sec**, η οποία και δημιουργεί σημαντικό πρόβλημα σε μερικές εφαρμογές, με κυριότερο αυτό της μετάδοσης φωνής, που είναι ευαίσθητη στις χρονικές καθυστερήσεις. Εξίσου προβληματική είναι και η ζεύξη για εφαρμογές που απαιτούν μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας, γιατί καθώς το Hub εκπέμπει προς όλους τους σταθμούς, πρέπει να μοιράζει την ισχύ του προς όλες τις ζεύξεις. Αντίθετα, δεν εμφανίζεται πρόβλημα στην περίπτωση μετάδοσης πληροφορίας μικρού όγκου, που συναντάται π.χ. σε εφαρμογές αναζήτησης και ανάκτησης δεδομένων. **Η τοπολογία αστέρα προτιμάται στα γεωστατικά δίκτυα, τα δίκτυα VSAT και φυσικά στα δίκτυα broadcast, όπου είναι ιδανική (point-to-multipoint με ένα hop).**

Η ύπαρξη κεντρικού σταθμού Hub στην περίπτωση δικτύων αστέρα προσφέρει μεγάλη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου με τη χρησιμοποίηση λογισμικού που ονομάζεται Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (Network Management System, NMS), το οποίο είναι εγκατεστημένο στο NMC, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η ενημέρωση για την προσθήκη νέων σταθμών τοπικά στο Hub, από όπου μπορεί να αλλάξει και η διαστασιολόγηση όλου του δικτύου. **Ρυθμοί μετάδοσης, σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, καθώς και πρωτόκολλα διασύνδεσης ελέγχονται και ανανεώνονται μέσω του λογισμικού NMS από το Hub.**

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Πλεονεκτήματα Τοπολογίας Αστέρα

- **Απλή διαχείριση δικτύου**
 - Ο κεντρικός κόμβος συντονίζει την κυκλοφορία, την κατανομή πόρων και το routing.
- **Χαμηλή πολυπλοκότητα τερματικών**
 - Τα τερματικά επικοινωνούν μόνο με το hub.
 - Απλοποιείται η παρακολούθηση δέσμης και η διαμόρφωση κεραιών.
- **Οικονομικό για uplink-heavy traffic**
 - Ο hub αναλαμβάνει την επεξεργασία και τη σύνδεση με το backhaul.
- **Αξιόπιστο και προβλέψιμο routing**
 - Λιγότερες αποφάσεις δρομολόγησης, ο hub διαχειρίζεται τη συμφόρηση και το QoS.

Μειονεκτήματα Τοπολογίας Αστέρα

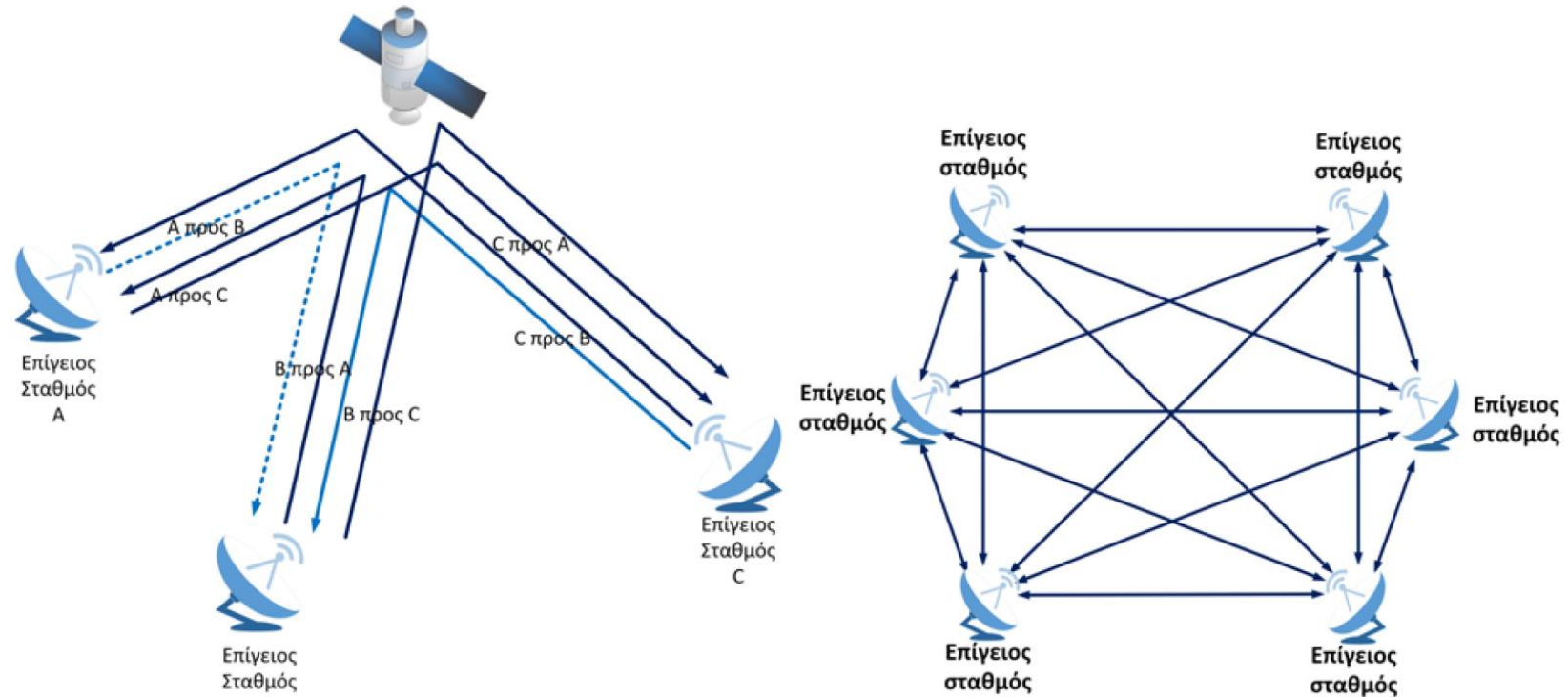
- **Σημείο αποτυχίας (single point of failure)**
 - Ανεπιτυχία του hub → όλο το δίκτυο επηρεάζεται.
- **Υψηλότερη καθυστέρηση για κυκλοφορία χρήστη-προς-χρήστη**
 - Το σήμα περνάει πάντα από το hub, ακόμη κι αν οι χρήστες είναι κοντά.
- **Όρια στην επεκτασιμότητα**
 - Η χωρητικότητα του hub γίνεται bottleneck καθώς αυξάνεται ο αριθμός χρηστών.

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Τοπολογία Δικτύου Πλέγματος

Όταν η επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών τερματικών σταθμών μπορεί να γίνει και χωρίς τη μεσολάβηση κεντρικού σταθμού, τότε η τοπολογία ονομάζεται **τοπολογία πλέγματος (mesh topology)**.

Ένας σταθμός μπορεί να εκπέμπει ένα σήμα προς όλους τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου, εκμεταλλευόμενος τη δυνατότητα του δορυφόρου να εκπέμπει προς όλους τους σταθμούς στην περιοχή κάλυψής του ή να εκπέμπει τόσους διαύλους όσοι είναι και οι σταθμοί με τους οποίους επιθυμεί να εγκαταστήσει ζεύξη.



Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της τοπολογίας είναι ότι για την ολοκλήρωση κάθε ζεύξης **απαιτείται ένα «άλμα» (one hop)**, δηλαδή μία άνω και μία κάτω ζεύξη, εισάγοντας μία χρονική καθυστέρηση της τάξης των **50-500 ms**. Επίσης, η τοπολογία πλέγματος μπορεί να βασιστεί σε ένα transparent ή OBP δορυφόρο. Στην πρώτη περίπτωση, η ποιότητα ραδιοζεύξης μεταξύ δύο οποιωνδήποτε επίγειων σταθμών θα πρέπει να είναι υψηλή, για να παρέχει στους τελικούς χρήστες μία δεδομένη ποιότητα υπηρεσίας. Αυτό συνεπάγεται επαρκή ισχύ EIRP και ποιότητα κεραίας G/T για κάθε επίγειο σταθμό. Στην περίπτωση του OBP δορυφόρου, η αποδιαμόρφωση των σημάτων επί του δορυφόρου βάζει λιγότερους περιορισμούς στις τιμές στόχου EIRP και G/T των επίγειων σταθμών.

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής περιορισμοί που συνεπάγεται η τοπολογία πλέγματος:

- η εξασθένηση της ισχύος του φέροντος τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη είναι της τάξης των 200 dB, εξαιτίας της απόστασης του επίγειου σταθμού από και προς το δορυφόρο αντίστοιχα,
- η ισχύς του δορυφόρου είναι περιορισμένη, της τάξης των μερικών δεκάδων Watt
- το μικρό μέγεθος των επίγειων σταθμών περιορίζει την εκπεμπόμενη ισχύ, καθώς και την ευαισθησία της λήψης.

Οι προαναφερθέντες περιορισμοί μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα το αποδιαμορφωμένο φέρον στο τερματικό λήψης να μην έχει την απαιτούμενη από τον χρήστη ποιότητα, καθιστώντας την απευθείας ζεύξη από επίγειο σταθμό σε επίγειο σταθμό απορριπτέα.

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Πλεονεκτήματα τοπολογίας πλέγματος

- **Χαμηλότερη καθυστέρηση για peer-to-peer κυκλοφορία**
 - Άμεσες διαδρομές μειώνουν τον χρόνο μετάδοσης.
- **Καλύτερη επεκτασιμότητα**
 - Νέα κόμβοι προστίθενται χωρίς να επιβαρύνεται ο κεντρικός hub.
- **Απουσία single point of failure**
 - Το δίκτυο είναι πιο ανθεκτικό· υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές.
- **Αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση φάσματος**
 - Οι δορυφόροι κατευθύνουν την κυκλοφορία βέλτιστα.

Μειονεκτήματα τοπολογίας πλέγματος

- **Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα**
 - Το routing και η κατανομή πόρων είναι κατανεμημένα και δυναμικά.
- **Ακριβότερα τερματικά**
 - Απαιτούν συχνά ανίχνευση κεραιών, phased arrays ή inter-satellite links.
- **Αυξημένη κατανάλωση ισχύος**
 - Η απευθείας επικοινωνία απαιτεί ισχυρότερα σήματα και καταναλώνει περισσότερη ενέργεια.
- **Προβλήματα διαχείρισης**
 - Η κινητικότητα των δορυφόρων (ιδίως LEO) δυσκολεύει το routing και τη διαχείριση των δεσμών.

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

Υβριδική Τοπολογία

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης υβριδικής αρχιτεκτονικής του δικτύου, όπου μια ομάδα επίγειων σταθμών μπορούν να επικοινωνούν σε τοπολογία πλέγματος, ενώ οι υπόλοιποι επίγειοι σταθμοί, που απαρτίζουν το δίκτυο, να επικοινωνούν σε τοπολογία αστέρα. Αυτό γίνεται, επειδή **κάποια τερματικά των επίγειων σταθμών με υψηλότερες απαιτήσεις τηλεπικοινωνιακής κίνησης μπορούν να εξυπηρετηθούν σε τοπολογία πλέγματος, ώστε να μειωθεί το κόστος που θα προκαλούσε η χρησιμοποίηση ενός κατάλληλου Hub**, καθώς και να εξοικονομηθούν δορυφορικοί πόροι. Το υπόλοιπο δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί με τοπολογία αστέρα.

Καλύτερη επεκτασιμότητα: Νέα nodes προστίθενται χωρίς να υπερφορτώνεται αποκλειστικά ο κεντρικός hub.

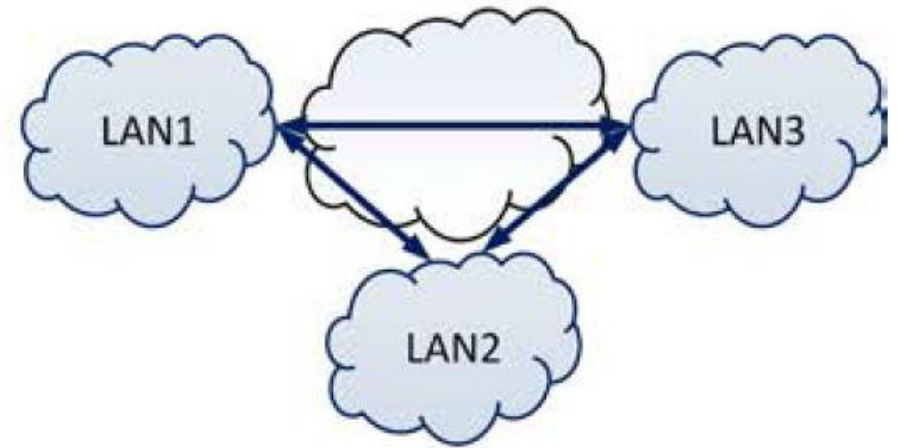
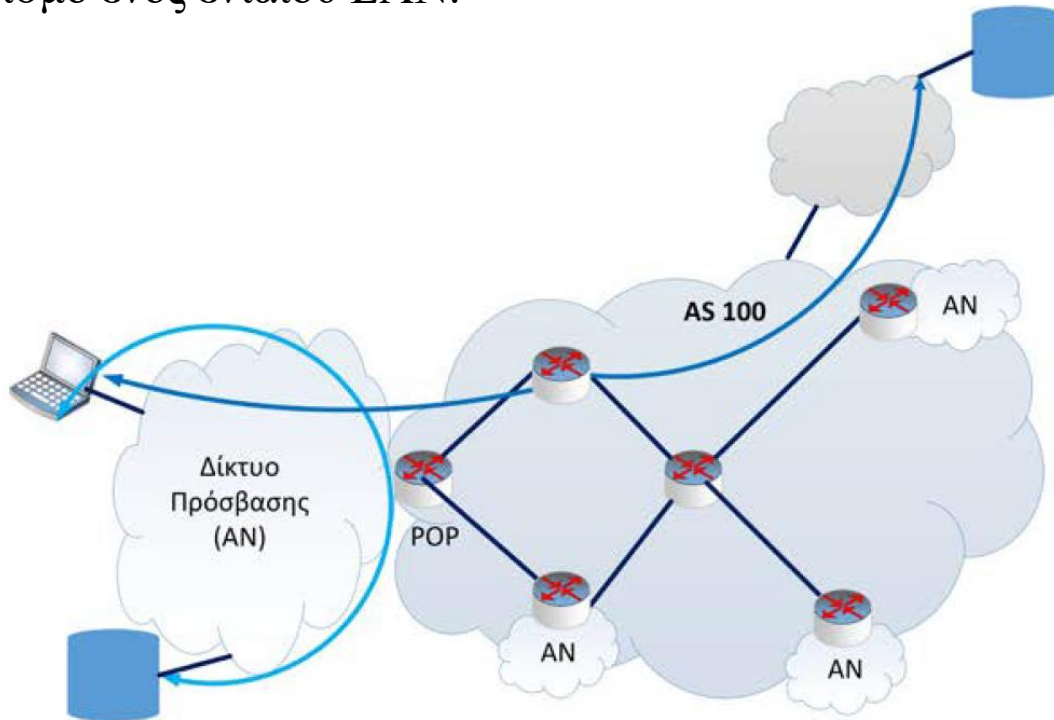
Ανθεκτικότητα: Υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές για την κυκλοφορία → μείωση κινδύνου από **αποτυχία ενός hub** ή ενός δορυφόρου.

Αποτελεσματική χρήση πόρων και φάσματος: Μπορεί να εφαρμόζει δυναμικό routing και να επαναχρησιμοποιεί το φάσμα σε διαφορετικά τμήματα του δικτύου.

Ευελιξία: Μπορεί να συνδυάζει **hub-centric υπηρεσίες** για μεγάλες μεταδόσεις και **mesh υπηρεσίες** για latency-sensitive εφαρμογές.

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων

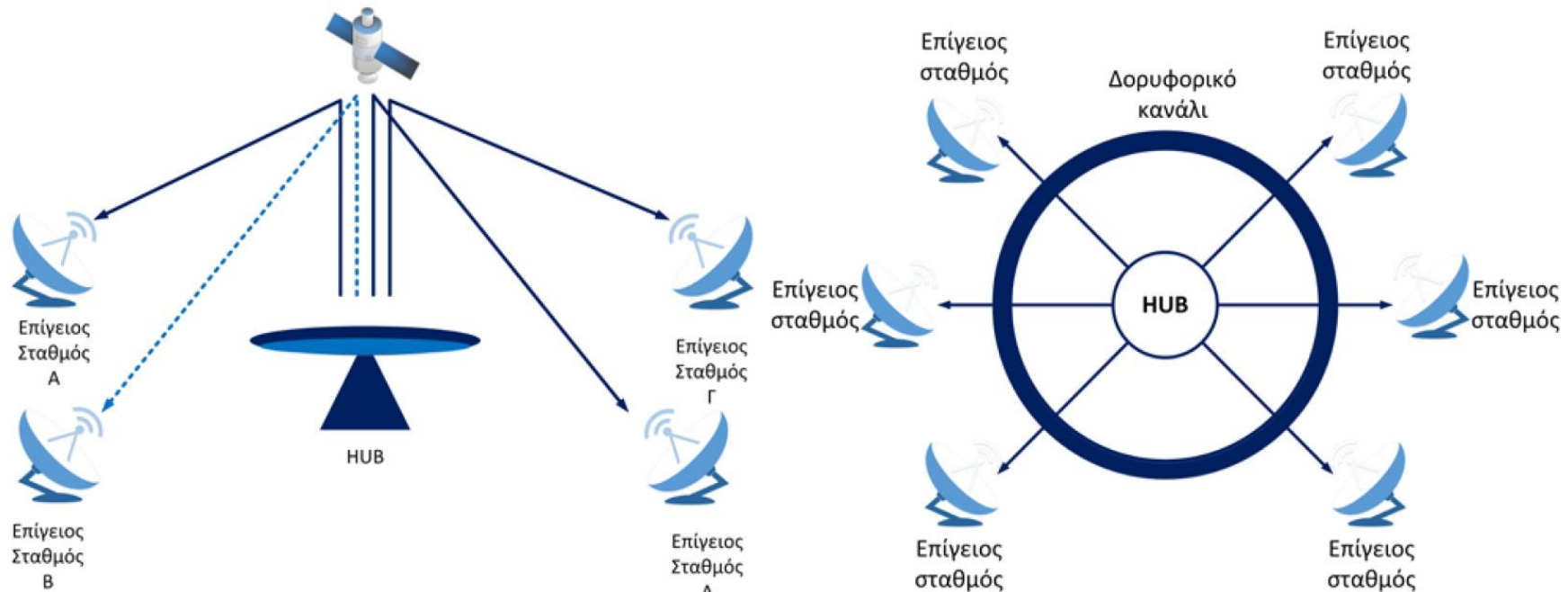
Η υπηρεσία πρόσβασης στο Διαδίκτυο χαρακτηρίζεται από τοπολογία αστέρα ή πολλαπλών αστέρων με συνδεσιμότητα **multipoint-to-point**: η κίνηση του πελάτη δρομολογείται υποχρεωτικά μέσα από ένα σημείο παρουσίας (POP) και το τερματικό του χρήστη (CPE) συνδέεται με το πλησιέστερο POP του παρόχου του χρήστη. Η υπηρεσία εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN) χαρακτηρίζεται από τοπολογία πλέγματος, με συνδεσιμότητα **point-to-point**, με τη συνδεσιμότητα multipoint-to-multipoint να μπορεί, επίσης, να υιοθετηθεί για υπηρεσίες VPN πολυεκπομπής (multicast). Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει τη διασύνδεση διαφόρων δικτύων LAN μιας επιχείρησης για τον σχηματισμό ενός ενιαίου LAN.



Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Μονόδρομα Δίκτυα

Στα μονόδρομα (one-way) δίκτυα, το Hub εκπέμπει πολλαπλά φέροντα προς τους επίγειους σταθμούς με δυνατότητα λήψης μόνο (receive only). Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει υπηρεσίες ευρυεκπομπής (broadcasting) από μία κεντρική θέση, όπου βρίσκεται το Hub προς απομακρυσμένες θέσεις, και όπου έχουν εγκατασταθεί οι τερματικοί σταθμοί λήψης. Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζονται μόνο οι εξερχόμενες ζεύξεις, αφού το Hub κάνει ευρυεκπομπή πληροφορίας προς όλους τους επίγειους σταθμούς του δικτύου. Οι τερματικοί χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν με τον πάροχο και να υποβάλουν το αίτημά τους μέσω του Δημοσίου Τηλεφωνικού Δικτύου (PSTN).



Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Δίκτυα Διανομής (Distribution Networks)

Στα δίκτυα διανομής η πληροφορία μεταδίδεται σε μία μόνο κατεύθυνση, χρησιμοποιώντας τον δορυφόρο ως αναμεταδότη, από τον κεντρικό σταθμό Hub προς έναν αριθμό από απομακρυσμένους σταθμούς μόνο λήψης (receive only), παρέχοντας έτσι ένα παράδειγμα τοπολογίας αστέρα.

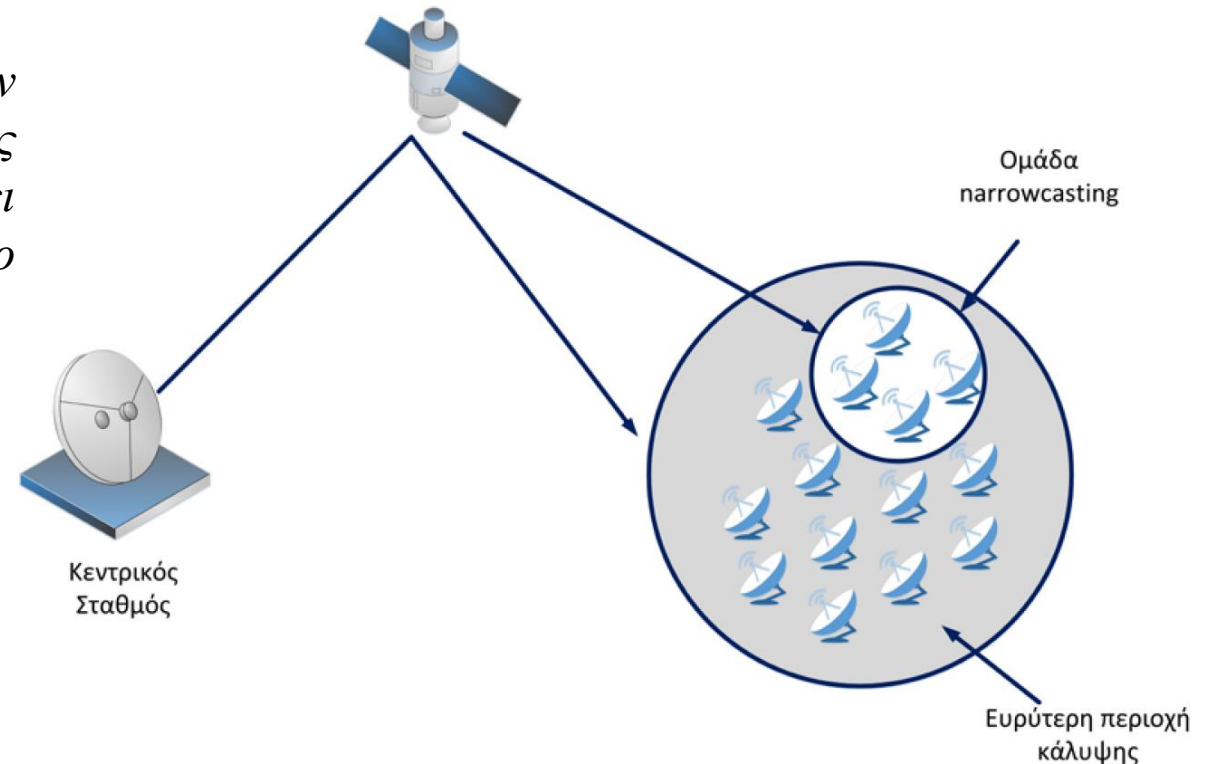
Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της δορυφορικής διανομής πληροφορίας για τερματικά σε λειτουργία receive only.

- Για παράδειγμα, η λειτουργία του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS) βασίζεται στη λήψη, με μικρά τερματικά, των σημάτων αναφοράς που μεταδόθηκαν από αρκετούς δορυφόρους σε τροχιά.
- Ένα άλλο παράδειγμα παρέχεται από τα συστήματα τηλεειδοποίησης, όπου αποκλειστικά σήματα απευθύνονται στους χρήστες.
- Μια άλλη σημαντική εφαρμογή είναι η διανομή των δεδομένων προς μικρούς σταθμούς (VSATs). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται γενικά στο πλαίσιο των επιχειρησιακών επικοινωνιακών δικτύων και η διανομή μπορεί να είναι είτε γενική είτε να περιορίζεται σε κλειστές ομάδες χρηστών (υποδίκτυα).
- Αλλά η κύρια και πιο δημοφιλής εφαρμογή του δικτύου διανομής είναι η μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων προς τους μικρούς και φθηνούς σταθμούς TVRO είτε για μεμονωμένους χρήστες (Direct-To-Home, DTH) είτε για ομαδική λήψη. Υπάρχουν δεκάδες εκατομμυρίων τέτοιων TVROs σε όλο τον κόσμο, με την εφαρμογή τους να αυξάνεται διαρκώς.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Η ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στη λειτουργία ενός δικτύου ευρυεκπομπής. Με τη βοήθεια λογισμικού στα τερματικά των χρηστών, επιτρέπεται η πρόσβαση σε διαφορετικά μέρη του σήματος ευρυεκπομπής. Αυτή η μορφή επιλογής ομάδας καναλιών ονομάζεται περιορισμένη εκπομπή (narrowcasting).

Εφαρμογή ευρυεκπομπής (broadcasting), όπου στην ευρύτερη περιοχή κάλυψης υπάρχουν μικρότερες narrowcasting ομάδες. Ο κεντρικός σταθμός εκπέμπει κωδικοποιημένα σήματα, στα οποία ορισμένοι μόνο χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση.



Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Ο σχεδιασμός των συστημάτων τηλεοπτικής μετάδοσης προσφέρει ένα πρώτο και πολύ απλό παράδειγμα της βελτιστοποίησης του κόστους των υπηρεσιών.

- Από τη μία μεριά, **το κόστος της επένδυσης του επίγειου κεντρικού σταθμού και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας σήματος/μετάδοσης και το επαναλαμβανόμενο λειτουργικό κόστος (μίσθωση χώρων τμήματος, προσωπικό, ανταλλακτικά κ.λπ.) μοιράζονται μεταξύ της πολλαπλότητας χρηστών.**
- Από την άλλη πλευρά, **με την εφαρμογή ενός δορυφόρου με υψηλό EIRP** (σημειακές δέσμες, αναμεταδότης που λειτουργεί κοντά στο σημείο κόρου), οι σταθμοί TVRO μπορούν να χρησιμοποιήσουν μικρές κεραίες και **μπορούν να παραχθούν μαζικά, με πολύ χαμηλό κόστος.** Για παράδειγμα, κεραίες διαμέτρου μεταξύ 0.6m έως 0.8m χρησιμοποιούνται συνήθως για τη λήψη ψηφιακών τηλεοπτικών πακέτων που μεταδίδονται στα 11GHz από έναν υψηλής ισχύς δορυφορικό αναμεταδότη FSS (π.χ. 49 dBW EIRP). Η μείωση της διαμέτρου της κεραίας μπορεί να περιορίζεται από την ανάγκη να αποφεύγονται παρεμβολές από κοντινούς δορυφόρους. Αυτό δεν συμβαίνει στην BSS, όπου οι δορυφόροι έχουν σημαντική απόσταση μεταξύ τους .

Στην περίπτωση της διανομής δεδομένων σε VSATs, το κόστος και η περιορισμένη διαθεσιμότητα του ωφέλιμου φορτίου συχνά παραμένουν σημαντικοί παράγοντες. Ο σχεδιασμός του συστήματος συνήθως βασίζεται στη χρήση ενός τμήματος του αναμεταδότη και η βελτιστοποίησή του είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ κόστους του VSAT και του ωφέλιμου φορτίου που καταλαμβάνει.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Δίκτυα Συλλογής (Collective Networks)

Τα δίκτυα συλλογής λειτουργούν με αντίστροφο τρόπο από ότι τα δίκτυα διανομής, δηλαδή χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων που συλλέγονται μονόδρομα από απομακρυσμένους επίγειους σταθμούς προς έναν κεντρικό επίγειο σταθμό. Δεδομένου ότι τα περισσότερα τέτοια δίκτυα λειτουργούν σήμερα εκτός των υπηρεσιών FSS, ειδικά για την τηλεπισκόπηση από αφύλακτους σταθμούς, δεν φαίνεται να έχουν βρει πολλές εφαρμογές στο πλαίσιο των υπηρεσιών FSS μέχρι τώρα.

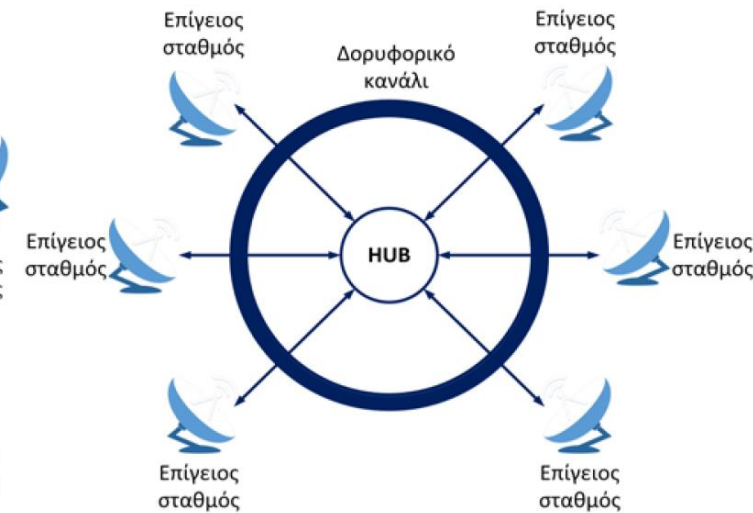
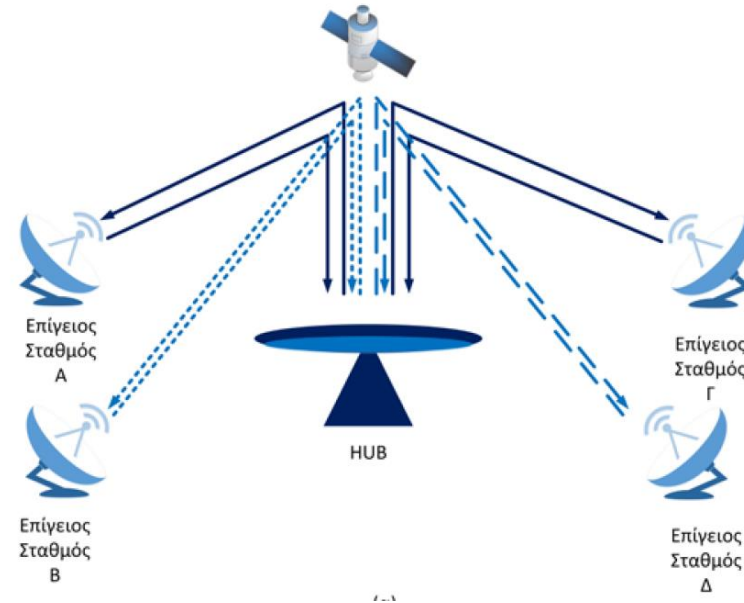
Αναμένεται πολύ μεγαλύτερη ανάπτυξή τους στην επόμενη γενιά συστημάτων IoT, όπου η συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένους, μεμονομένους πομπούς θα εκτοξευθεί.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Αμφίδρομα Δίκτυα

Στα αμφίδρομα (two-way) δίκτυα, οι τερματικοί σταθμοί μπορούν να εκπέμπουν και να λαμβάνουν προς και από το Hub, καθιστώντας την τηλεπικοινωνιακή κίνηση αμφίδρομη και διαδραστική (interactive). Ο κεντρικός σταθμός Hub μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση αυτού του είδους των δικτύων, παίζοντας τον ρόλο του αναμεταδότη του σήματος πληροφορίας για την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών, ενώ ταυτόχρονα εκτελεί διάφορες λειτουργίες συντονισμού του δικτύου.

Συνήθως, ο σταθμός Hub είναι συνδεδεμένος με έναν κεντρικό server στα κεντρικά γραφεία της εταιρείας που χρησιμοποιεί το δίκτυο, οπότε και τα διάφορα απομακρυσμένα τερματικά συνδέονται μέσω αυτού με διάφορες υπηρεσίες που υποστηρίζει ο κεντρικός server.



Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Συγκεντρωτικά, τα αμφίδρομα δίκτυα έχουν αρκετές χαρακτηριστικές λειτουργίες:

- Όπως και στην περίπτωση της μονόδρομης τοπολογίας αστέρα, το συνολικό κόστος του συστήματος ελαχιστοποιείται, διότι η υψηλής επένδυσης κεντρική μονάδα (Hub), η οποία κατ' ανάγκη υλοποιείται με σχετικά μεγάλη κεραία και με δαπανηρό εξοπλισμό ελέγχου και υπομονάδων ραδιοζεύξεων, μοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών.
- Η υψηλή ποιότητα της κεραίας του Hub (G/T) επιτρέπει στους απομακρυσμένους χρήστες να είναι εξοπλισμένοι με σταθμούς χαμηλού κόστους, διότι απαιτείται σχετικά μικρό κέρδος κεραίας και μόνο ένας ενισχυτής χαμηλής ισχύος.
- Τα φέροντα από τον κεντρικό σταθμό προς τους απομακρυσμένους σταθμούς απαιτούν υψηλή RF ισχύ από τον δορυφορικό αναμεταδότη. Ωστόσο, τα φέροντα από τους απομακρυσμένους σταθμούς προς τον κεντρικό σταθμό, απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια. Σε αυτήν την περίπτωση, η συνολική ισχύς που απαιτείται από τον δορυφορικό αναμεταδότη ελέγχεται κυρίως από τα εξερχόμενα φέροντα.
- Ένα ανώτατο όριο στην ισχύ του ενισχυτή των απομακρυσμένων σταθμών (και ένα ελάχιστο μέγεθος της κεραίας τους) μπορεί να επιβληθεί από το μέγιστο επιτρεπόμενο EIRP εκτός κεντρικού άξονα (παρεμβολή άνω ζεύξης προς τους γειτονικούς του δορυφόρους). Οι συνέπειες είναι ότι μία αρκετά μεγάλη κεραία του Hub θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ότι μπορεί να χρειαστεί ένα σημαντικό ποσό ενέργειας.

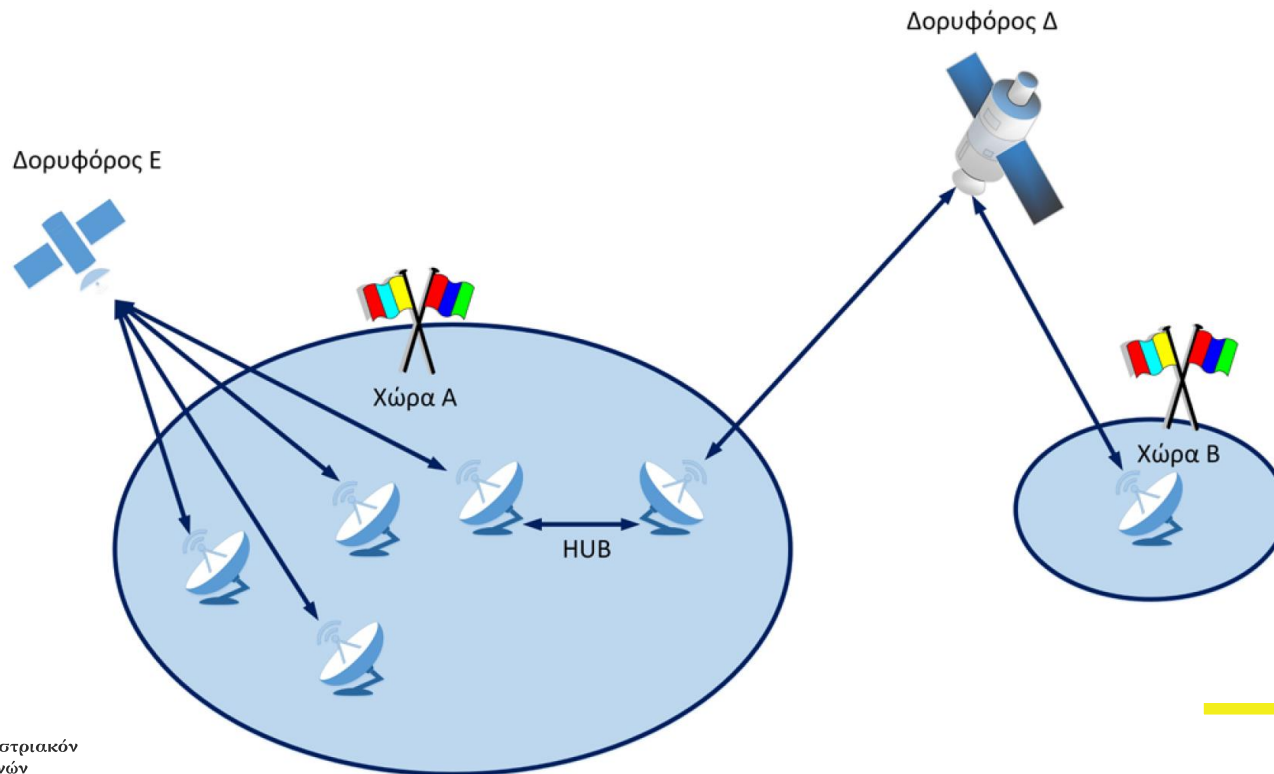
Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

- Στην περίπτωση των τηλεπικοινωνιών σε αγροτικές περιοχές, το Hub είναι συνήθως εφοδιασμένο με εξοπλισμό μεταγωγής και συχνά δρα ως «εξ αποστάσεως» τηλεφωνικό κέντρο ή κέντρο δεδομένων για τους απομακρυσμένους σταθμούς. Επιπλέον, μπορεί να διαχειριστεί τη διαδικασία σύνδεσης/αποσύνδεσης των απευθείας ζεύξεων μεταξύ των απομακρυσμένων σταθμών, μέσω τεχνικής DAMA στον κεντρικό σταθμό.
- Εάν η καθυστέρηση του διπλού hop είναι αποδεκτή, η αρχιτεκτονική αστέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πλήρως διασυνδεδεμένων ζεύξεων μεταξύ μικρών απομακρυσμένων σταθμών. Φυσικά, αυτό συνεπάγεται τη χρήση ενός δορυφόρου υψηλού EIRP για κάθε εξερχόμενο φέρον. Σε μια τέτοια διάρθρωση, **το Hub λειτουργεί ως αναμεταδότης μεταξύ των απομακρυσμένων σταθμών**. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει πολλές περισσότερες λειτουργίες από απλή αποδιαμόρφωση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση χωριστά των εξερχόμενων και των εισερχόμενων ζεύξεων. Ορισμένες λειτουργίες επεξεργασίας σήματος, οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο Hub, είναι: **αποπολυπλεξία των εισερχόμενων φερόντων ή αλλαγή των σημάτων προς τον προορισμό τους και πολυπλεξία τους σε μια διαφορετική διάταξη**, αν είναι απαραίτητο. Στην απλούστερη περίπτωση των εισερχόμενων και εξερχόμενων φερόντων SCPC, απαιτείται μόνο μεταγωγή, που είναι μια απλοποιημένη λειτουργία DAMA. Άλλες λειτουργίες που παρέχει το Hub είναι: **αναγέννηση σήματος, διαμόρφωση και μορφοποίηση, εισαγωγή/απομάκρυνση των βοηθητικών σημάτων, υλοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων** κ.λπ. Στην πραγματικότητα, αυτές οι λειτουργίες στο Hub είναι πολύ παρόμοιες με εκείνες ενός αναγεννητικού δορυφόρου.

Αρχιτεκτονικές δορυφορικών δικτύων

Υβριδική Αρχιτεκτονική

Παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής όπου το Hub είναι εξοπλισμένο με δύο κεραίες, οι οποίες στοχεύουν σε δύο διαφορετικούς δορυφόρους, (E) και (Δ). Ο (E) υποτίθεται ότι είναι ένας εγχώριος δορυφόρος με υψηλό EIRP, ενώ ο δορυφόρος (Δ) είναι ένας διεθνής δορυφόρος. Εδώ, το Hub λειτουργεί ως αναμεταδότης, επιτρέποντας στα επίγεια δορυφορικά τερματικά της χώρας A να αποκτήσουν πρόσβαση στην εγκατάσταση του “host” για την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων (π.χ. μια μεγάλη βάση δεδομένων), που εδρεύει στη χώρα B.



Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Η συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου (on-board connectivity) καθορίζει πώς οι πόροι του δορυφορικού δικτύου παράγουν μεταγωγές επί του δορυφόρου. Εξαρτάται από το πώς οι δορυφορικοί πόροι (σημειακές δέσμες, κανάλια, φέροντα, κ.λπ.) θα οργανωθούν τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη και, κυρίως, από το είδος της κάλυψης που παρέχει το δορυφορικό σύστημα.

Στην περίπτωση της παγκόσμιας κάλυψης, κάθε χρήστης που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης, μπορεί να συνδέεται με οποιονδήποτε άλλο χρήστη.

Στην κάλυψη πολλαπλών δεσμών (multi-beams), για τη διασύνδεση του κάθε χρήστη από διαφορετικές δέσμες κάλυψης, απαιτείται διασύνδεση των δεσμών και των πόρων που διατίθενται για τις δέσμες επί του δορυφόρου.

Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Τα διαφορετικά είδη των πόρων αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης και επιφέρουν διαφορετικά είδη επεξεργασίας. Η συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου μπορεί να παρέχεται στα εξής επίπεδα:

1. Σημειακή δέσμη: Το σύνολο των συχνοτήτων που έχουν εκχωρηθεί σε μία σημειακή δέσμη είναι ενεργοποιημένο επί του δορυφόρου. Μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα ή περισσότερα κανάλια (συνήθως 125 ή 250 MHz στην Ka-ζώνη).
2. Δίαυλος: Είναι ισοδύναμος με τον πόρο των συχνοτήτων, όπως μεταδίδεται με κοινό τρόπο μέσω ενός αναμεταδότη (συνήθως 36 ή 72 MHz).
3. Φέρον: Μπορεί να είναι ένα από τα FDMA φέροντα που προσπελάζουν έναν δορυφορικό τερματικό σταθμό ή επίγειο σταθμό ή ένα φέρον MF-TDMA που μοιράζονται διάφορα δορυφορικά τερματικά (συνήθως από μερικά kHz έως δεκάδες MHz, ανάλογα με τη χωρητικότητα του επίγειου σταθμού).
4. Χρονοσχισμή: Αντιστοιχεί στις TDM ή TDMA χρονοσχισμές.
5. Ριπή, πακέτο ή κυψέλη: Αντιστοιχεί σε κάθε τύπο πακέτου του επιπέδου 2, 3 και 4.

Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Τα δορυφορικά συστήματα πολλαπλών δεσμών (multi-beams) καθιστούν δυνατή τη μείωση του μεγέθους των επίγειων σταθμών (μικρότερο beamwidth $\rightarrow$ μεγαλύτερο gain) και συνεπώς το κόστος του επίγειου τμήματος. Η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων από μία δέσμη σε μία άλλη επιτρέπει την αύξηση της χωρητικότητας, χωρίς να αυξηθεί το εύρος ζώνης που διατίθεται στο σύστημα. Το δορυφορικό ωφέλιμο φορτίο, που χρησιμοποιεί κάλυψη πολλαπλών δεσμών, πρέπει να είναι σε θέση να διασυνδέει όλους τα επίγειους σταθμούς του δικτύου και κατά συνέπεια πρέπει να παρέχει διασύνδεση των περιοχών κάλυψης.

Ανάλογα με την ικανότητα επεξεργασίας επί του δορυφόρου (on-board) και το επίπεδο δικτύου, διαφορετικές τεχνικές μπορεί να εκληφθούν για τη διασύνδεση της κάλυψης:

- Μεταπήδηση του αναμεταδότη (transponder hopping), που χρησιμοποιείται, όταν δεν υπάρχει On Board Processing.
- Μεταγωγή επί του δορυφόρου (on-board switching), που χρησιμοποιείται αν υπάρχει OBP.
- Δέσμη σάρωσης (beam scanning).

Για την τελευταία τεχνική, κάθε περιοχή κάλυψης φωτίζεται διαδοχικά από μια δέσμη κεραίας, της οποίας ο προσανατολισμός ελέγχεται από ένα δίκτυο μορφοποίησης δέσμης (Beam-Forming Network, BFN) που αποτελεί μέρος του υποσυστήματος της κεραίας επί του δορυφόρου. Οι επίγειοι σταθμοί μεταδίδουν ή λαμβάνουν τις ριπές τους, όταν η περιοχή φωτίζεται από μια δέσμη. Η διασύνδεση με δέσμη σάρωσης μπορεί να υλοποιηθεί τόσο με διαφανή όσο και με αναγεννητικά ωφέλιμα φορτία.

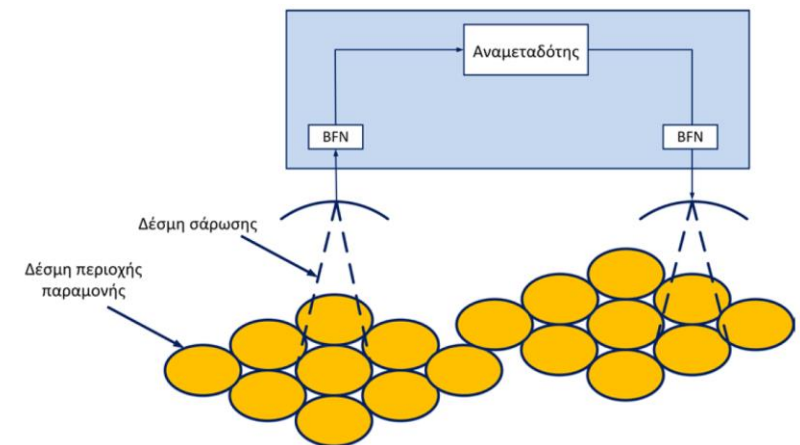
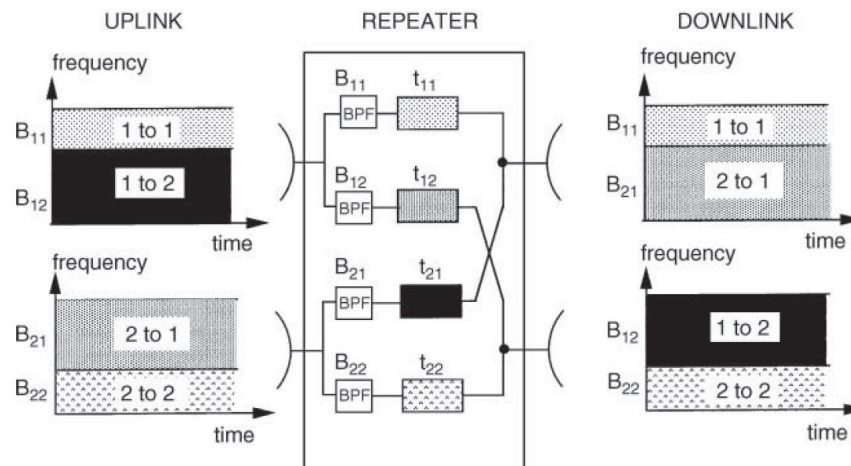
Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Διασύνδεση με transparent αναμεταδότη

Σε περίπτωση απουσίας αποθήκευσης επί του δορυφόρου, τουλάχιστον δύο δέσμες είναι απαραίτητες σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, μία για την εγκαθίδρυση της άνω ζεύξης και μία για την εγκαθίδρυση της κάτω ζεύξης. Η διάρκεια χρόνου, που μία δέσμη καλύπτει μία περιοχή, είναι ανάλογη με τον όγκο της κίνησης της πληροφορίας που πρέπει να μεταφερθεί μεταξύ των δύο περιοχών.

Κατά το hopping του αναμεταδότη ένα link εναλλάσσεται μεταξύ δύο αναμεταδοτών. Κάθε αναμεταδότης έχει μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, εύρος ζώνης και κάλυψη δέσμης.

- Εξισορρόπηση φορτίου – εάν ένας αναμεταδότης είναι υπερφορτωμένος, η κίνηση μπορεί να μεταφερθεί.
- Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων
- Βελτιστοποίηση κάλυψης – για τη διατήρηση της υπηρεσίας καθώς οι χρήστες εισέρχονται ή εξέρχονται από την κάλυψη της δέσμης.



Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Διασύνδεση με regenerative αναμεταδότη

Η δυναμική μορφοποίηση των δεσμών της κεραίας σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη θεώρηση των δορυφόρων μονής δέσμης με μια δέσμη, η οποία σαρώνει διαδοχικά τις διάφορες περιοχές της ζώνης εξυπηρέτησης. **Το σύνολο των περιοχών παραμονής (dwell areas), οι οποίες καλύπτονται διαδοχικά από τη δέσμη, σχηματίζουν την περιοχή κάλυψης του συστήματος.**

Όταν η δέσμη πρέπει να είναι σε μια συγκεκριμένη περιοχή παραμονής, η πληροφορία, που προορίζεται για τους σταθμούς στην περιοχή, εξάγεται από τη μνήμη επί του δορυφόρου και μεταδίδεται σε πολυπλεγμένη μορφή. Ταυτόχρονα, οι σταθμοί μεταδίδουν πληροφορία που προορίζεται για τους σταθμούς σε άλλες περιοχές παραμονής. Αυτή αποθηκεύεται στη μνήμη επί του δορυφόρου για μεταγενέστερη μετάδοση κατά τη στιγμή που η δέσμη περνά πάνω από την περιοχή προορισμού.

