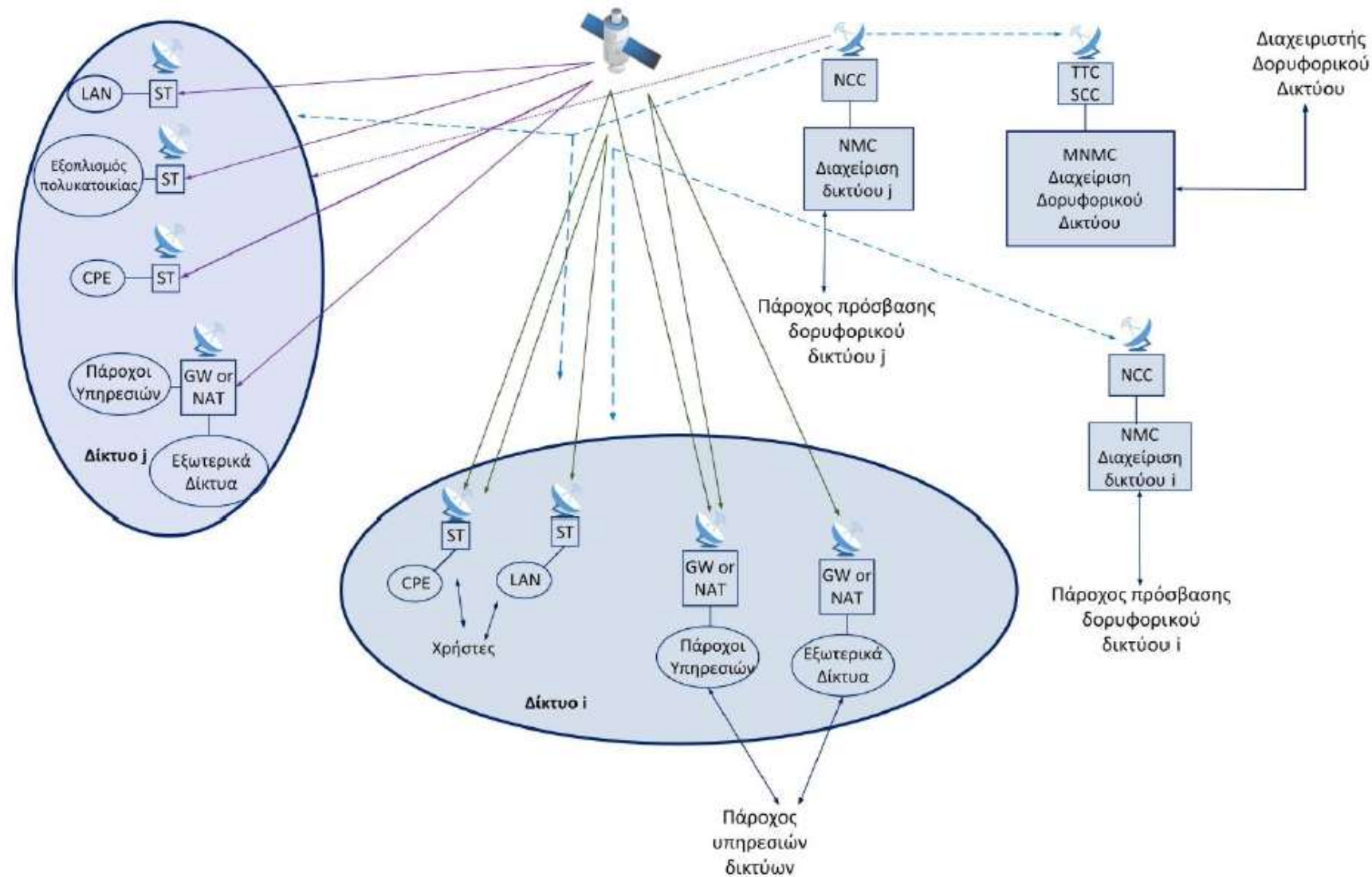


Τοπολογίες και Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων

Τα δορυφορικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για να παρέχουν δύο βασικούς τύπους υπηρεσιών: υπηρεσίες τηλεόρασης, που σχετίζονται με τις υπηρεσίες ευρυεκπομπής (broadcasting) και 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. Το επίγειο τμήμα αποτελείται από το τμήμα χρηστών και το 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.

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. Το Σχήμα 11.1 απεικονίζει δύο δορυφορικά δίκτυα, που αναπτύσσονται στην περιοχή της δορυφορικής κάλυψης, και τις ζευξείς που μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ των διατάξεών τους.

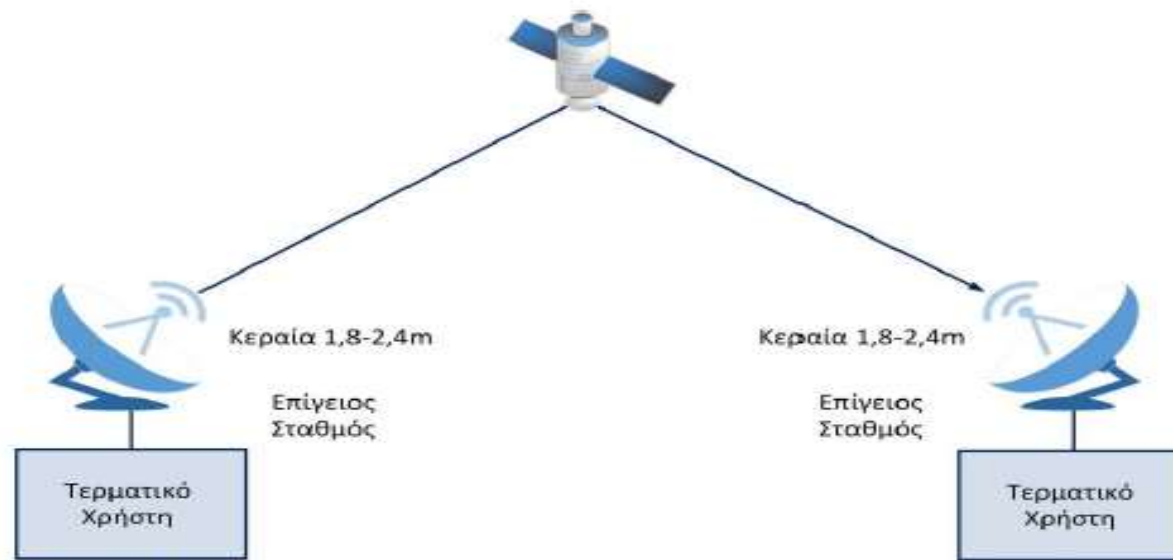


Σχήμα 11.1 Διατάξεις ενός τυπικού δορυφορικού δικτύου

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 (Maral, 2003):

- είτε με απευθείας ζεύξη (μονού «άλματος», one hop) από ένα δορυφορικό τερματικό σε ένα άλλο τερματικό μέσω δορυφόρου, κατά την οποία θα πρέπει η απόδοση της ζεύξης να τηρεί την απαιτούμενη ποιότητα. Αυτό ισχύει ιδίως για την τοπολογία πλέγματος. Η ζεύξη τερματικού χρήστη απεικονίζεται στο Σχήμα 11.2,
- είτε με διπλή ζεύξη (διπλού «άλματος», 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, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 11.3.



Σχήμα 11.2 Συνδεσιμότητα τερματικών χρηστών μέσω τοπολογίας πλέγματος



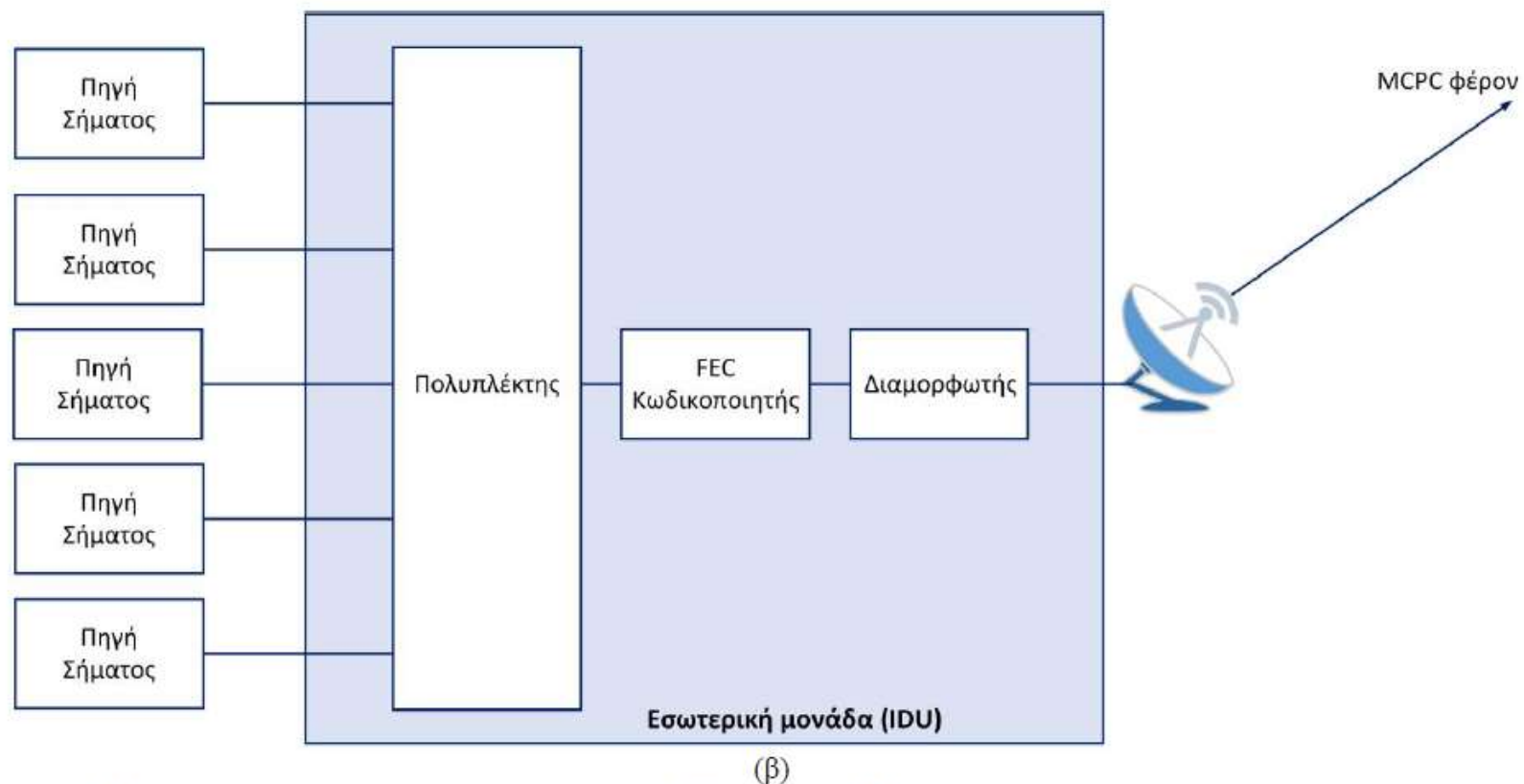
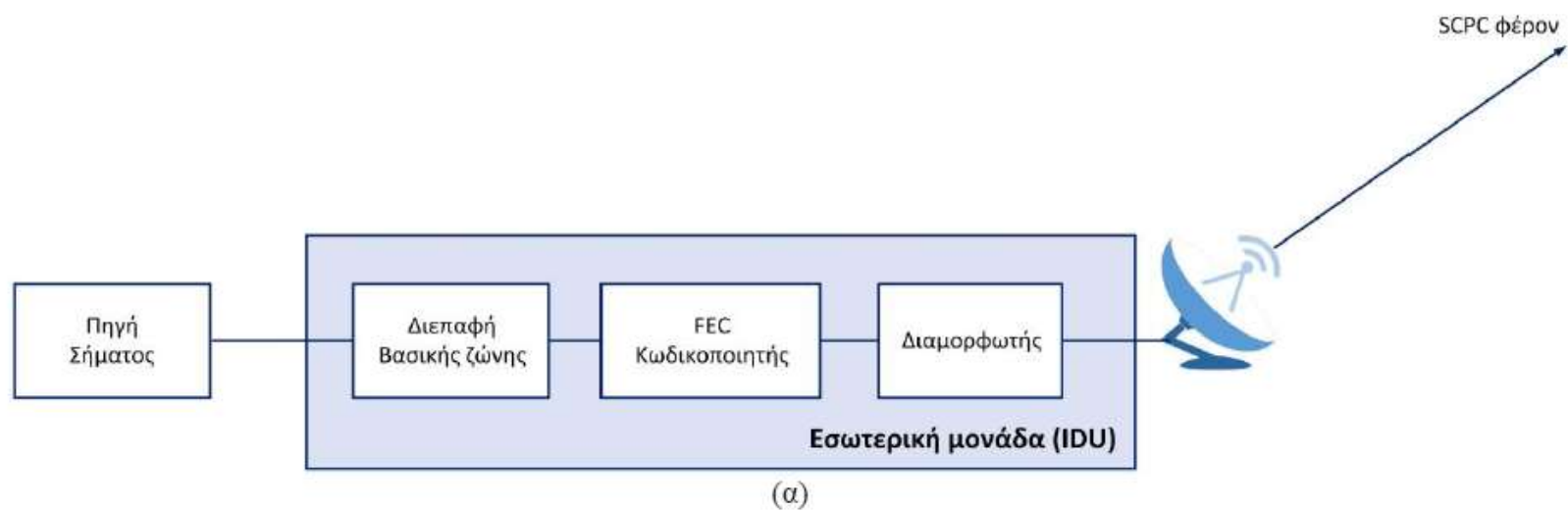
Σχήμα 11.3 Συνδεσιμότητα τερματικών χρηστών και ενός Hub ως αναμεταδότη μέσω τοπολογίας αστέρα

Συγκρίνοντας τα Σχήματα 11.2 και 11.3 υποδηλώνεται ότι μία μικρή κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλύτερα για τερματικά σε τοπολογία αστέρα από ό,τι για τερματικά σε τοπολογία πλέγματος. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η εξερχόμενη ζεύξη (outbound ή forward link) σε έναν κεντρικό σταθμό (Hub) για τερματικά δικτύου αστέρα, παρέχει περισσότερη ισχύ και βελτιωμένη ικανότητα να λαμβάνονται φέροντα που μεταδίδονται από τα τερματικά της εισερχόμενης ζεύξης (inbound ή return link), σε σύγκριση με τα τερματικά της τοπολογίας πλέγματος, ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου μεγέθους της κεραίας του Hub.

Μία ζεύξη χρησιμεύει ως φυσική υποστήριξη σε ένα δίκτυο για μια σύνδεση μεταξύ ενός τερματικού αποστολής και ενός τερματικού δέκτη. Το δίκτυο αποτελείται από διάφορες ζεύξεις και κόμβους. Κάθε ζεύξη διαθέτει δύο τελικούς κόμβους, ένας που στέλνει και ένας που λαμβάνει.

Οι ζεύξεις στα δορυφορικά δίκτυα είναι συνήθως μονόδρομες, αλλά μία σύνδεση που απαιτεί πλήρως αμφίδρομες ζεύξεις μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση δύο ζεύξεων: μία για κάθε κατεύθυνση της ροής της πληροφορίας. Σε ένα δίκτυο σε σχήμα αστέρα, μια αμφίδρομη ζεύξη μεταξύ ενός δορυφορικού τερματικού και του κεντρικού σημείου (Hub) έχει δημιουργηθεί για το ένα σημείο από την εισερχόμενη (inbound) ζεύξη και για το άλλο από την εξερχόμενη (outbound) ζεύξη.

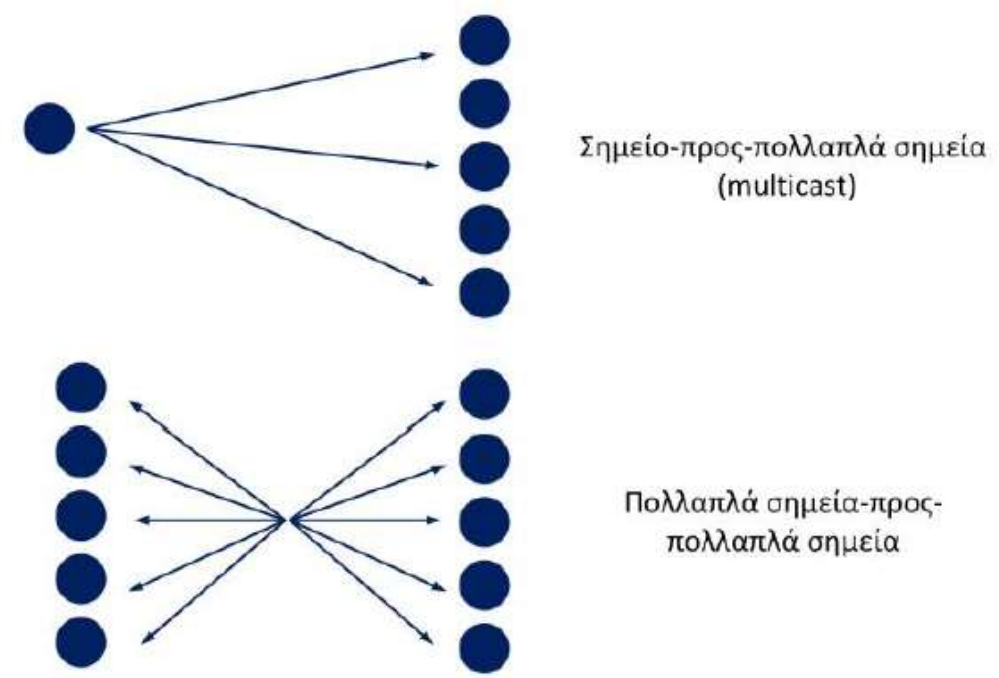
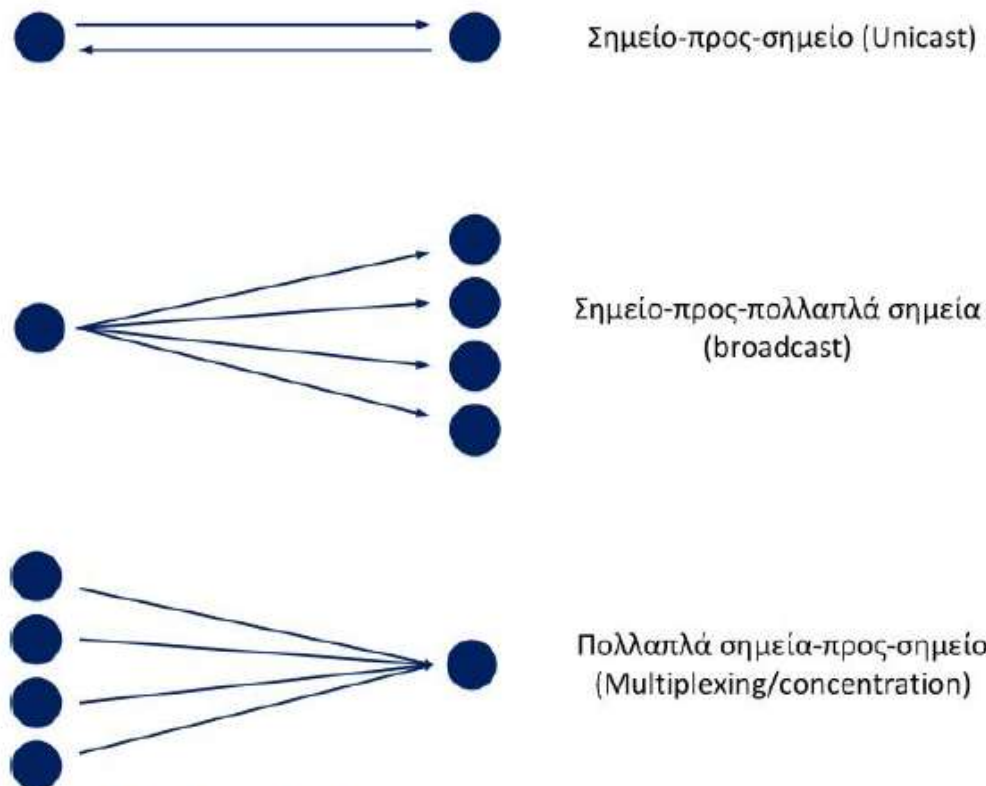
Μία ζεύξη μπορεί να υποστηρίξει μία σύνδεση κάθε φορά, σε μια λεγόμενη λειτουργία ενός καναλιού ανά φέρον (Single Channel Per Carrier, SCPC) ή να μοιραστεί σε πολλές συνδέσεις, σε μια λεγόμενη λειτουργία πολλαπλών καναλιών ανά φέρον (Multiple Channels Per Carrier, MCPC). Το Σχήμα 11.4 παρουσιάζει αυτές τις έννοιες.



Σχήμα 11.4 (α) Λειτουργία ενός καναλιού ανά φέρον (Single Channel Per Carrier, SCPC). (β) Λειτουργία πολλαπλών καναλιών ανά φέρον (Multiple Channels Per Carrier, MCPC)

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. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί βασικοί ορισμοί και περιορισμοί που πρέπει να διέπουν τα δορυφορικά δίκτυα, πάνω στους οποίους στηρίζεται η απόδοση του δορυφορικού δικτύου.

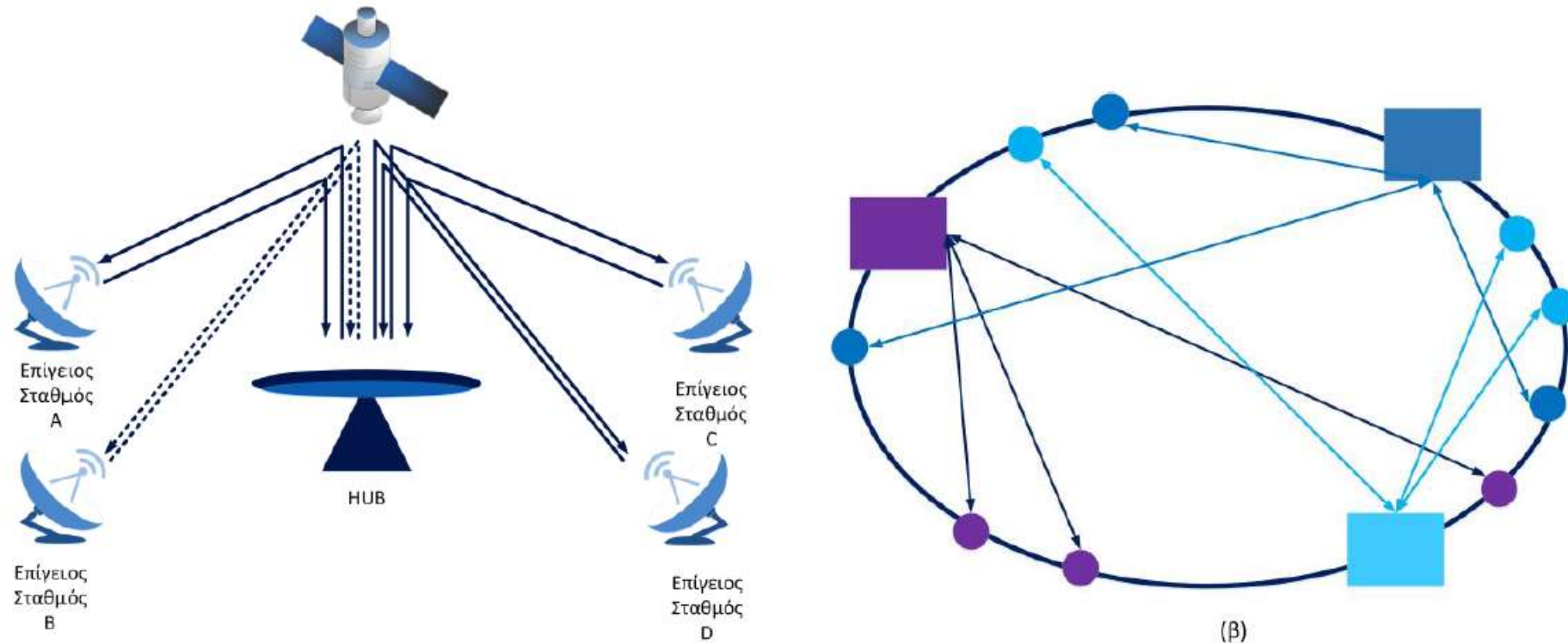
Οι συνδέσεις σημείο-προς-σημείο (point-to-point) είναι στοιχειώδεις και αποτελούν απλά μια αμφίδρομη σύνδεση μεταξύ δύο επίγειων σταθμών. Ο όρος σύνδεσης σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) περιγράφει ένα δίκτυο που συνδέει αμοιβαίως έναν περιορισμένο αριθμό από επίγειους σταθμούς (π.χ. μέχρι πέντε), 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. Τα διαφορετικά είδη συνδέσεων ενός δορυφορικού δικτύου, που υπάρχουν και λειτουργούν σήμερα, απεικονίζονται στο Σχήμα 11.5 (Maral & Bousquet, 2012).



Σχήμα 11.5 Είδη δικτυακών συνδέσεων

Τοπολογίες Δορυφορικών Δικτύων

Η τοπολογία ενός δικτύου με κεντρικό σταθμό (Hub) δίνεται στο Σχήμα 11.7(α) και 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 (Σχήμα 11.7(β)) (Maral, 2003).



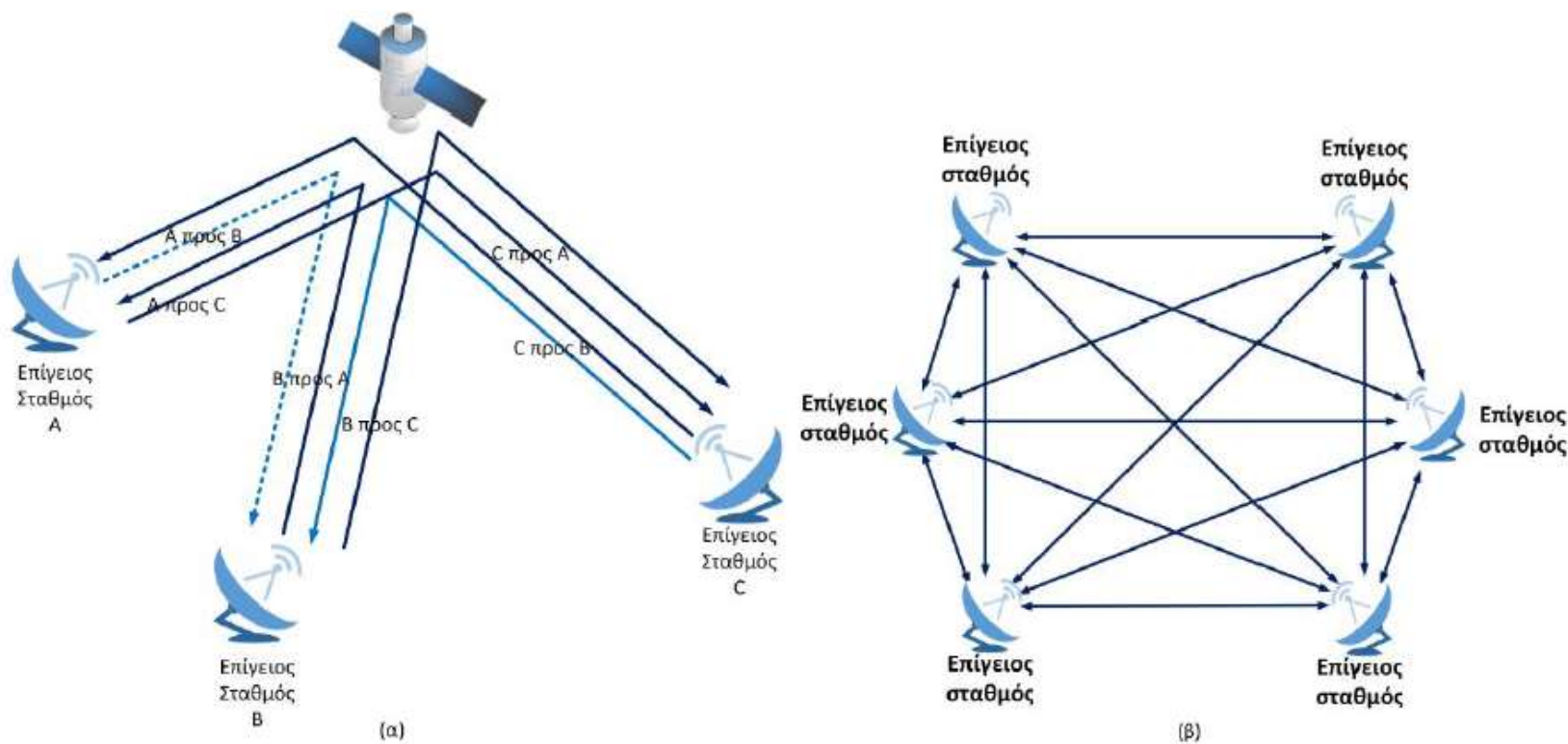
Σχήμα 11.7 Τοπολογία αστέρα με ένα Hub και τέσσερις επίγειους σταθμούς

Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της αρχιτεκτονικής δικτύου 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 0,5sec, 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, και αυτό επειδή, 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.

Γενικά, η ύπαρξη κεντρικού σταθμού Hub στην περίπτωση δικτύων αστέρα προσφέρει μεγάλη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου με τη χρησιμοποίηση ενός εξειδικευμένου 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.

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)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.8. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται η κατεύθυνση ροής της πληροφορίας από τερματικό σταθμό σε τερματικό σταθμό. 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.



Σχήμα 11.8 Δίκτυο τοπολογίας πλέγματος. (α) Παράδειγμα τριών επίγειων σταθμών (τα βέλη αντιπροσωπεύουν τη ροή πληροφορίας, όπως αυτή μεταφέρεται από τα φέροντα που αναμεταδίδονται από τον δορυφόρο). (β) Απλοποιημένη παράσταση για ένα μεγαλύτερο αριθμό επίγειων σταθμών (τα βέλη αντιπροσωπεύουν αμφίδρομες ζεύξεις από δύο φέροντα που μεταδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις)

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 0,25 sec. Επίσης, η τοπολογία πλέγματος μπορεί να βασιστεί σε ένα διαφανή ή αναγεννητικό δορυφόρο. Στην περίπτωση ενός διαφανούς δορυφόρου, η ποιότητα ραδιοζεύξης μεταξύ δύο οποιωνδήποτε επίγειων σταθμών του δικτύου θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, για να παρέχει στους τελικούς χρήστες μία δεδομένη ποιότητα υπηρεσίας, ώστε να επιτευχθεί συγκεκριμένος στόχος του ρυθμού σφαλμάτων bits. Αυτό συνεπάγεται επαρκής ισχύ EIRP και ποιότητα κεραίας G/T για κάθε επίγειο σταθμό, δεδομένης της λειτουργίας του δορυφορικού αναμεταδότη. Στην περίπτωση του αναγεννητικού δορυφόρου, η αποδιαμόρφωση των σημάτων επί του δορυφόρου βάζει λιγότερους περιορισμούς στις τιμές στόχου EIRP και G/T των επίγειων σταθμών.

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.

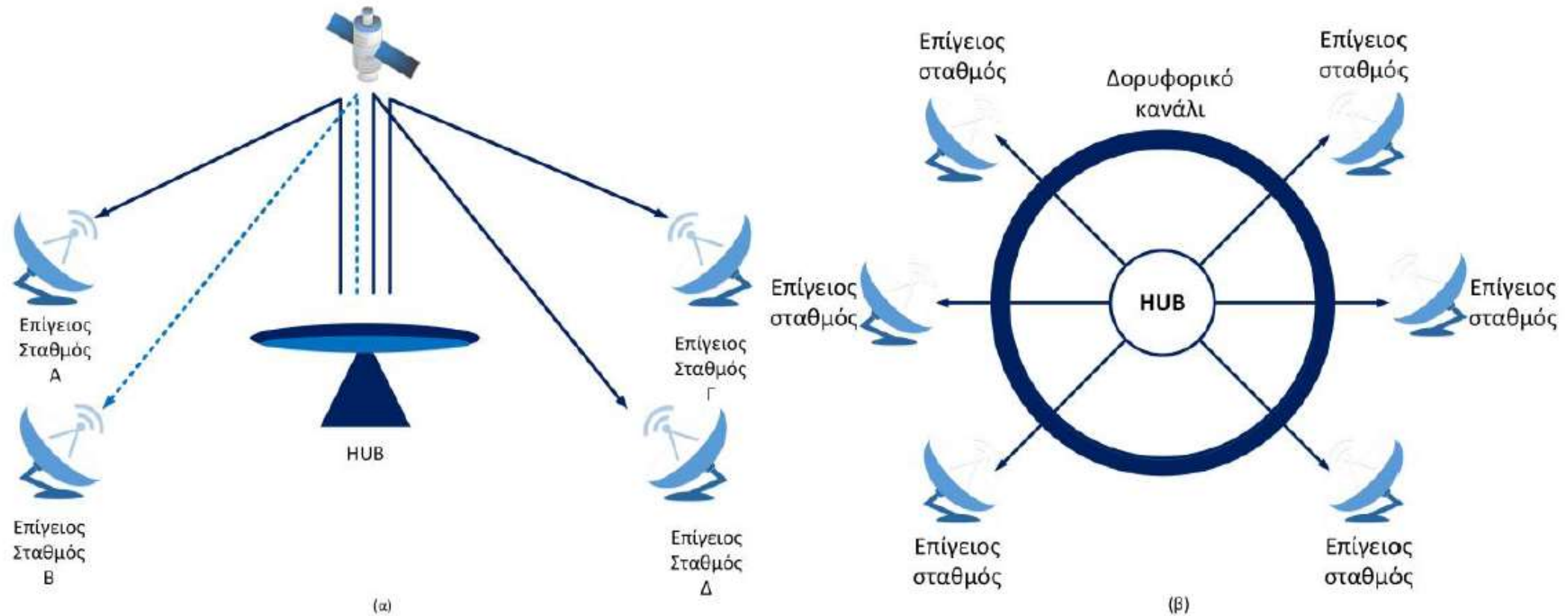
. Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, τα δίκτυα τοπολογίας αστέρα υποχρεώνονται σε περιορισμούς ισχύος λόγω του μικρού μεγέθους των επίγειων σταθμών, σε συνδυασμό με τον περιορισμό ισχύος του δορυφορικού αναμεταδότη. Αυτό ισχύει, ιδιαίτερα όταν είναι επιθυμητοί επίγειοι σταθμοί χαμηλού κόστους. Τα δίκτυα τοπολογίας πλέγματος μπορεί να υλοποιηθούν κάθε φορά που οι εν λόγω περιορισμοί δεν ισχύουν. Τα δίκτυα τοπολογίας πλέγματος έχουν το πλεονέκτημα της μειωμένης καθυστέρησης διάδοσης (η καθυστέρηση ενός hop είναι 0,25 sec, αντί του 0,5 sec για διπλό hop), το οποίο είναι ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτο για τις υπηρεσίες τηλεφωνίας.

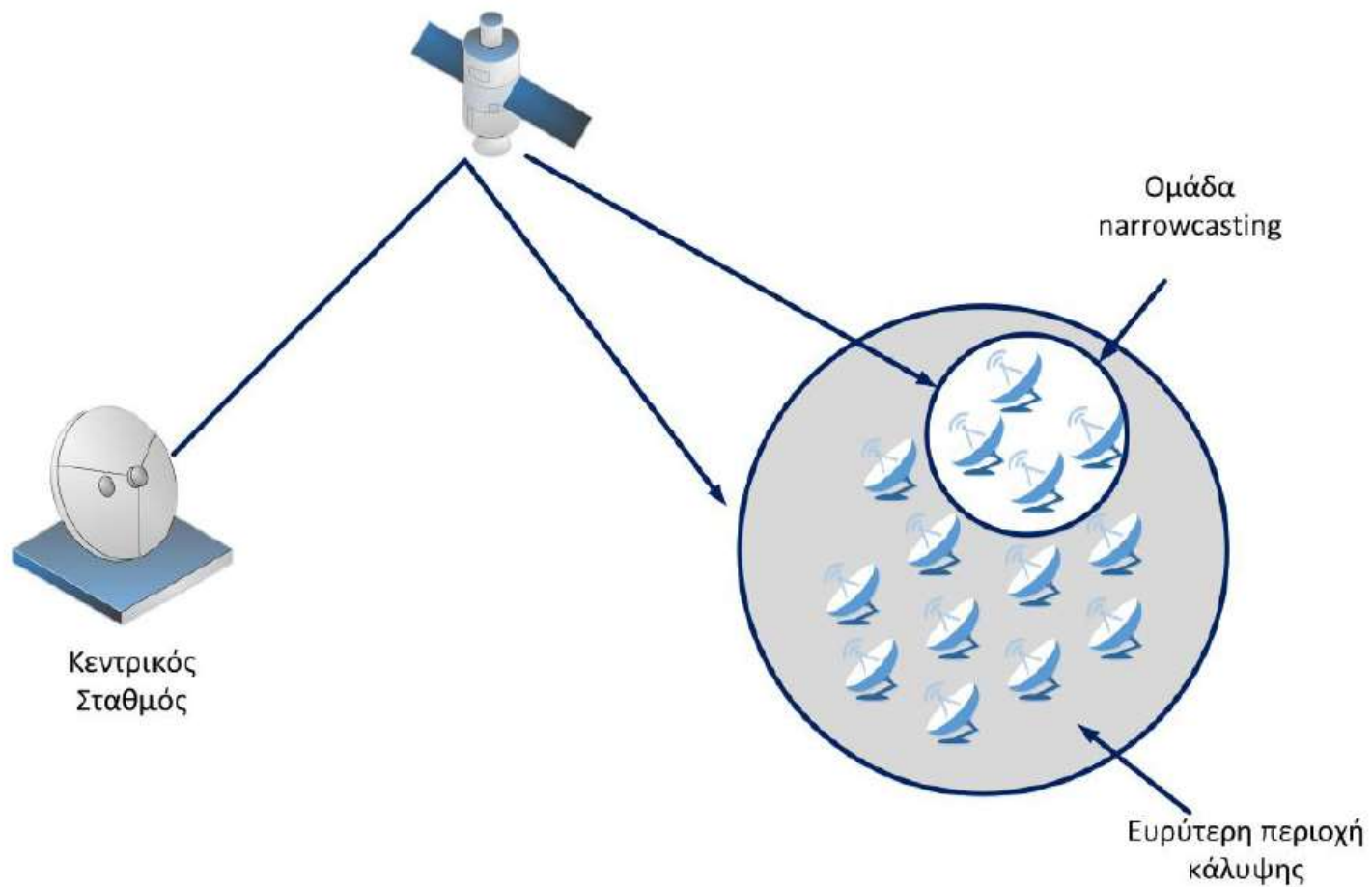
Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων

Μονόδρομα Δίκτυα

Στα μονόδρομα (one-way) δίκτυα, το Hub εκπέμπει πολλαπλά φέροντα προς τους επίγειους σταθμούς με δυνατότητα λήψης μόνο (receive only), όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.9. Αυτή η αρχιτεκτονική του δικτύου 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). Η εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στη λειτουργία ενός δικτύου ευρυεκπομπής. Με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού στα τερματικά των χρηστών, τούς επιτρέπεται να αποκτήσουν πρόσβαση σε διαφορετικά μέρη του σήματος ευρυεκπομπής. Αυτή η μορφή επιλογής ομάδας καναλιών ονομάζεται περιορισμένη εκπομπή (narrowcasting), όπως απεικονίζεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 11.10 (Maral, 2003).



Σχήμα 11.9 Μονόδρομο (one-way) δίκτυο σε σχήμα αστέρα. (α) Παράδειγμα με τέσσερα τερματικά (τα βέλη αντιπροσωπεύουν ροή πληροφορίας, όπως αυτή μεταφέρεται από τα εξερχόμενα φέροντα που αναμεταδίδονται από τον δορυφόρο). (β) Απλουστευμένη αναπαράσταση για ένα μεγαλύτερο αριθμό τερματικών (τα βέλη αντιπροσωπεύουν αμφίδρομες ζεύξεις)



Σχήμα 11.10 Εφαρμογή ευρνεκπομπής (*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.

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. Η διανομή της πληροφορίας μπορεί να είναι επιλεκτική, δηλαδή να απευθύνεται σε μια ομάδα τερματικών (ή ακόμη και μόνο σε ένα) ή να λαμβάνεται από οποιοδήποτε τερματικό της περιοχής κάλυψης. Πρέπει να τονιστεί, ότι ο δορυφόρος είναι πραγματικά ένα μοναδικό μέσο μετάδοσης για τις υπηρεσίες αυτού του τύπου εκπομπής.

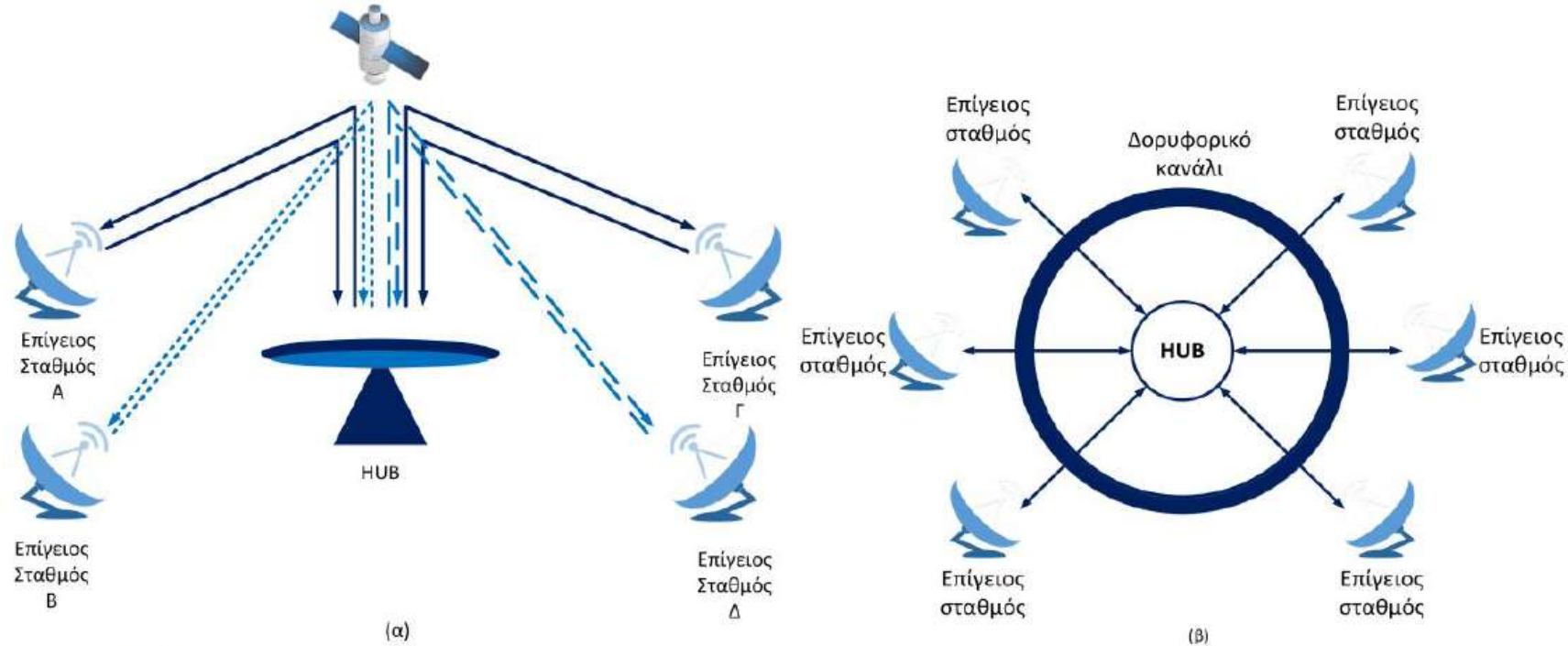
Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της δορυφορικής διανομής πληροφορίας για τερματικά σε λειτουργία λήψης μόνο. Για παράδειγμα, η λειτουργία του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS) βασίζεται στη λήψη, με μικρά τερματικά, των σημάτων αναφοράς που μεταδόθηκαν από αρκετούς δορυφόρους σε τροχιά. Ένα άλλο παράδειγμα παρέχεται από τα συστήματα τηλεειδοποίησης, όπου αποκλειστικά σήματα απευθύνονται στους χρήστες.

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.

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) (Σχήμα 11.11). 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 υπολογιστή 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 υπολογιστής (Maral, 2003).



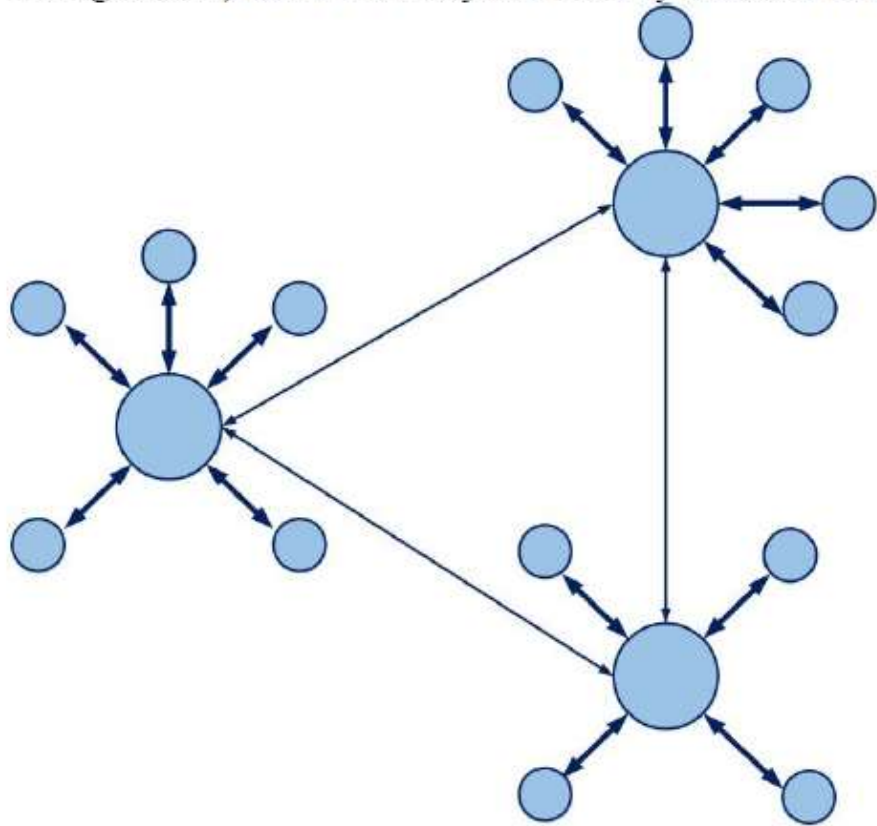
Σχήμα 11.11 Αμφίδρομο (two-way) δίκτυο επίγειων σταθμών σε σχήμα αστέρα. (α) Παράδειγμα με τέσσερις επίγειους σταθμούς (τα βέλη αντιπροσωπεύουν ροή πληροφορίας, όπως αυτή μεταφέρεται από τα φέροντα που αναμεταδίδονται από τον δορυφόρο). (β) Απλουστευμένη αναπαράσταση για ένα μεγαλύτερο αριθμό επίγειων σταθμών (τα βέλη αντιπροσωπεύουν αμφίδρομες ζεύξεις από δύο φέροντα που μεταδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις).

Συγκεντρωτικά, τα αμφίδρομα δίκτυα έχουν αρκετές χαρακτηριστικές λειτουργίες που μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- 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 μόνο ένα, σχετικά μικρό, κέρδος κεραίας και ένας ενισχυτής εκπομπής χαμηλής ισχύος.
- Τα εξερχόμενα φέροντα (outbound) από τον κεντρικό σταθμό προς τους απομακρυσμένους σταθμούς απαιτούν υψηλή RF ισχύ από τον δορυφορικό αναμεταδότη. Ωστόσο, τα εισερχόμενα φέροντα (inbound), 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 όριο για τη διάμετρο της κεραίας τους) μπορεί να επιβληθεί από το μέγιστο επιτρεπόμενο EIRP εκτός κεντρικού άξονα (παρεμβολή άνω ζεύξης προς τους γειτονικούς του δορυφόρους). Για παράδειγμα, υποθέτοντας μία κεραία 1m για έναν απομακρυσμένο σταθμό στη ζώνη 6/4 GHz, η μέγιστη ισχύς εκπομπής θα πρέπει να είναι περίπου 0,5W/4kHz (-3dBW/4kHz)), βάσει της σύστασης ITU-R S.524. Οι συνέπειες είναι ότι μία αρκετά μεγάλη κεραία του Hub θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ότι μπορεί να χρειαστεί ένα σημαντικό ποσό ενέργειας.
- Στην περίπτωση των τηλεπικοινωνιών σε αγροτικές περιοχές, ο κεντρικός σταθμός (Hub) είναι συνήθως εφοδιασμένος 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, με δυνατότητα λειτουργίας τεχνικής DAMA στον κεντρικό σταθμό. Σημειώστε ότι, στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική πλέγματος.

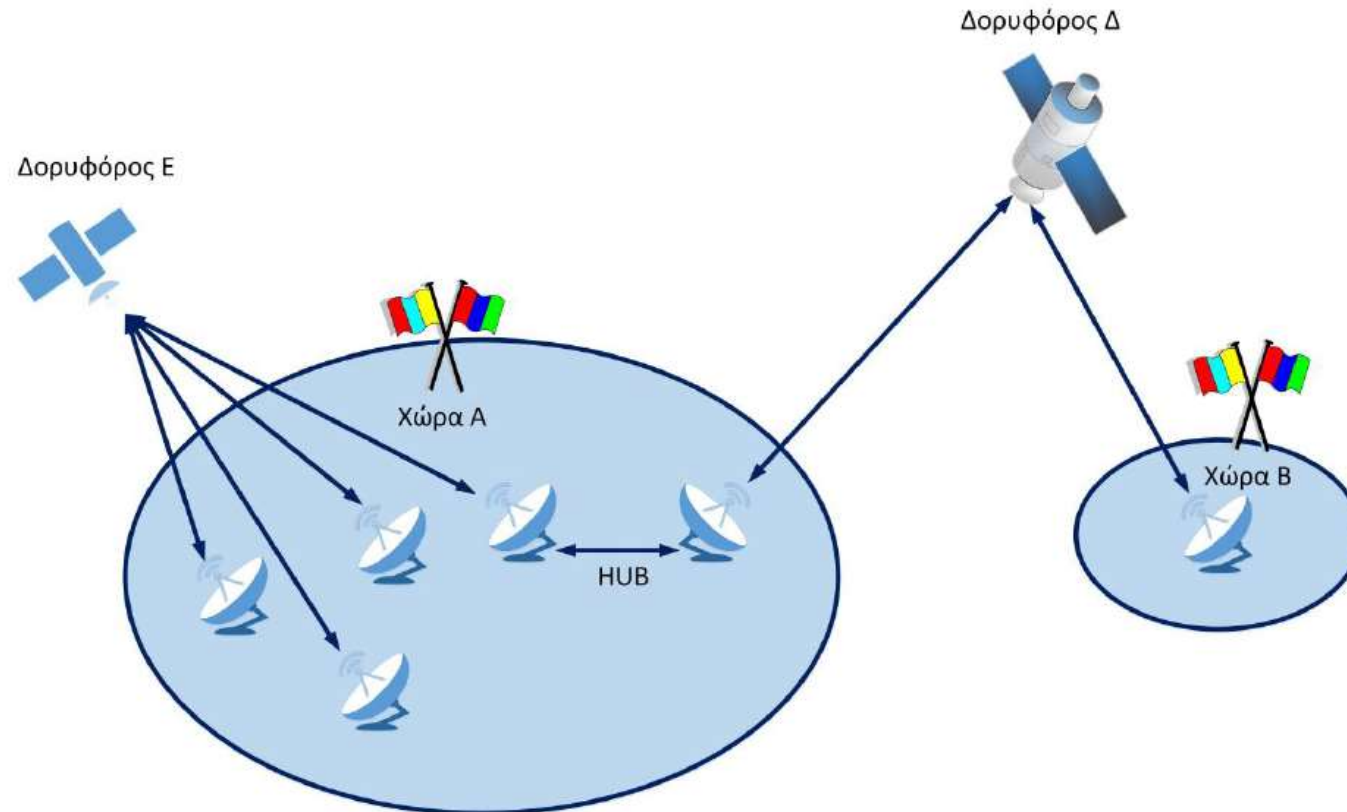
Υβριδική Αρχιτεκτονική

Ένα παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής φαίνεται στο Σχήμα 11.12, όπου τρεις επίγειοι σταθμοί υψηλής κίνησης, που βρίσκονται π.χ. σε επαρχιακές πρωτεύουσες, είναι σε πολυσημειακή διάρθρωση (multipoint configuration) και ο καθένας από αυτούς αποτελεί τον κεντρικό σταθμό Hub του υποδικτύου αστέρα.



Σχήμα 11.12 Υβριδική αρχιτεκτονική δορυφορικού δικτύου

Ένα άλλο παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής φαίνεται στο Σχήμα 11.13, 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 Α να αποκτήσουν πρόσβαση στην εγκατάσταση του “host” για την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων (π.χ. μια μεγάλη βάση δεδομένων), που εδρεύει στη χώρα Β. Ένα απλοποιημένο σύστημα θα αποτελείται από έναν μόνο δορυφόρο που χρησιμοποιείται τόσο για τη ζεύξη των δορυφορικών τερματικών στο Hub (π.χ. μέσω ενός υψηλού αναμεταδότη EIRP μισθωμένο σε διεθνή δορυφόρο) όσο και για τη ζεύξη του Hub με τον host. Στην περίπτωση αυτή, το Hub θα είναι εξοπλισμένο με μία μόνο κεραία. Σημειώστε ότι αυτές οι διαρθρώσεις εφαρμόζονται μόνο στις περιπτώσεις, όπου η καθυστέρηση διπλού hop δεν προκαλεί προβλήματα.



Σχήμα 11.13 Υβριδική αρχιτεκτονική δικτύου και διεθνής αναμετάδοση

Συνδεσιμότητα επί του δορυφόρου

Τα δορυφορικά συστήματα πολλαπλών δεσμών (multi-beams) καθιστούν δυνατή τη μείωση του μεγέθους των επίγειων σταθμών 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 (Maral & Bousquet, 2012).

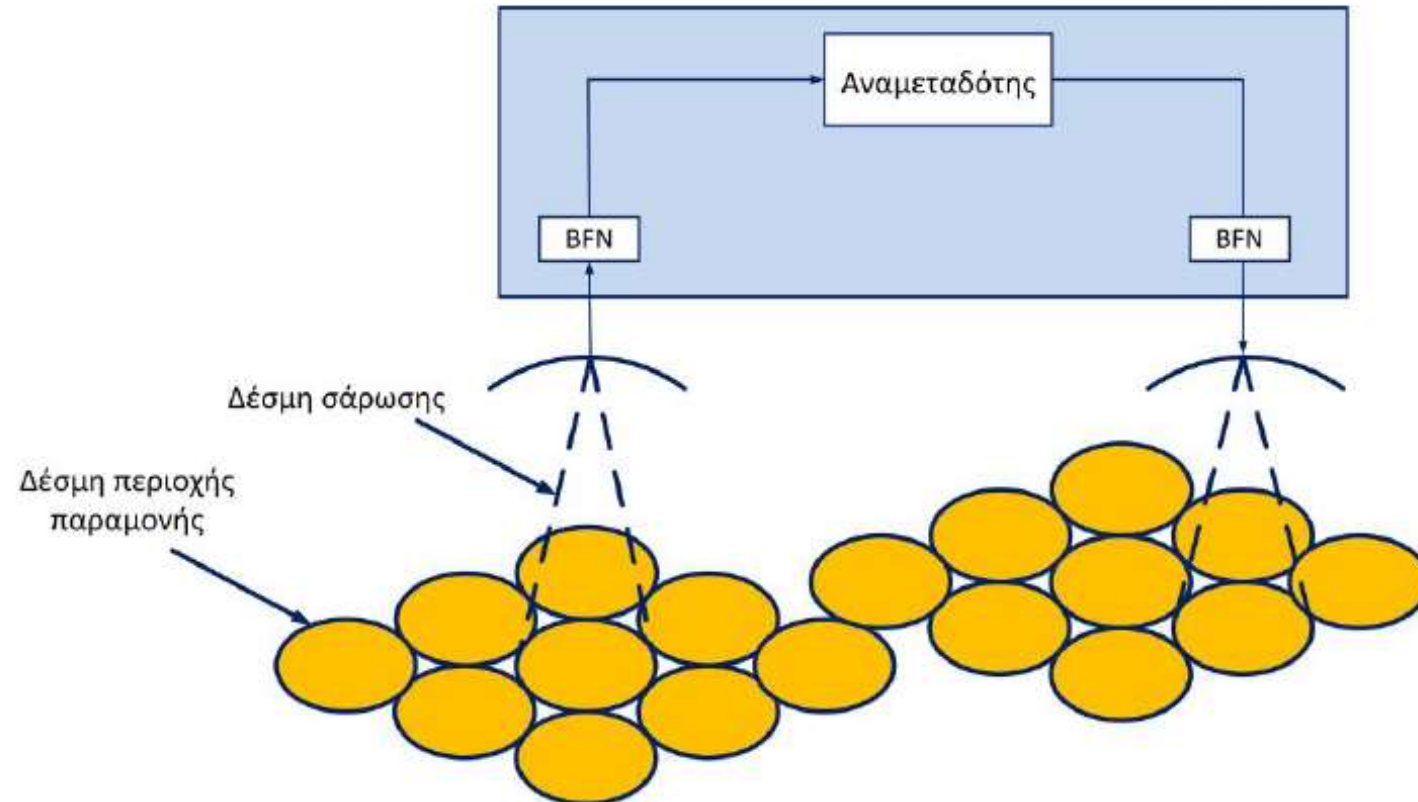
Ανάλογα με την ικανότητα επεξεργασίας επί του δορυφόρου (on-board) και το επίπεδο δικτύου, διαφορετικές τεχνικές μπορεί να εκληφθούν για τη διασύνδεση της κάλυψης:

- Μεταπήδηση του αναμεταδότη (transponder hopping), που χρησιμοποιείται, όταν δεν υπάρχει επί του δορυφόρου επεξεργασία.
- Μεταγωγή επί του δορυφόρου (on-board switching), που χρησιμοποιείται, όταν υπάρχει διαφανής και αναγεννητική επεξεργασία.
- 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.

. Διασύνδεση με διαφανές ωφέλιμο φορτίο

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 (Σχήμα 11.14). 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.

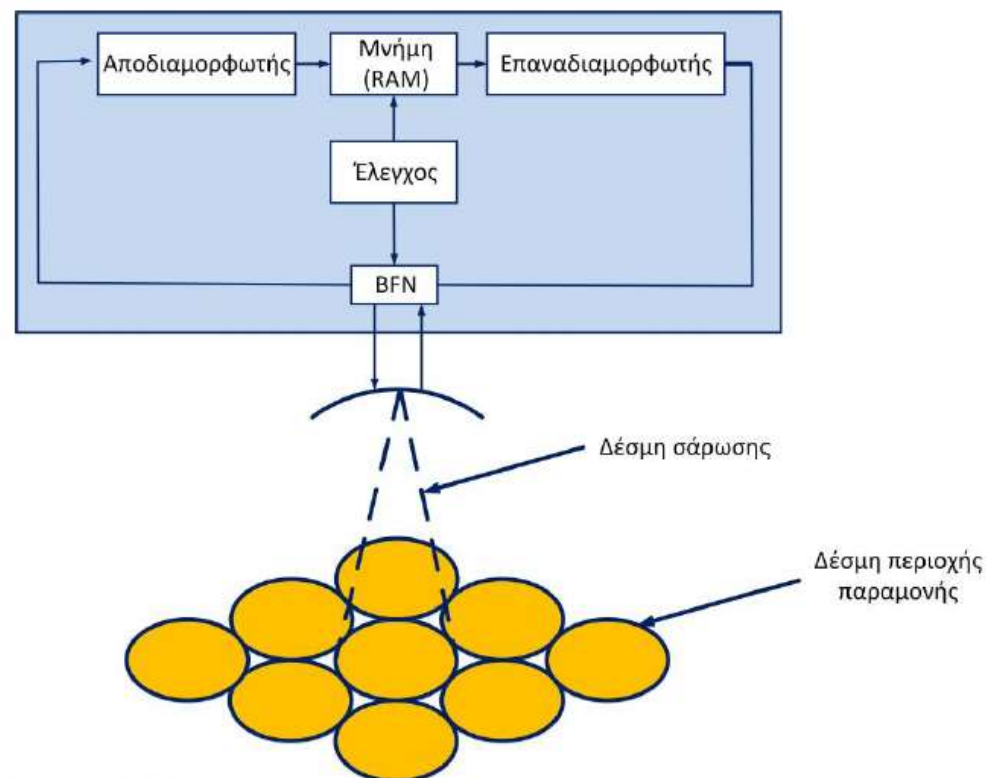


Σχήμα 11.14 Διασύνδεση με δέσμες σάρωσης

Διασύνδεση με αναγεννητικό ωφέλιμο φορτίο

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 (Σχήμα 11.15). 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.

Ένα εγγενές πλεονέκτημα αυτού του τύπου συστήματος είναι η εξαφάνιση των σταθερών ταυτόχρονων δεσμών και, επομένως, της ομοδιαυλικής παρεμβολής (Co-Channel Interference, CCI).



Σχήμα 11.15 Αναγεννητικό δορυφορικό δίκτυο μονής δέσμης και σάρωσης

Δια-δορυφορικές ζεύξεις

Τα δορυφορικά δίκτυα χαμηλής τροχιάς, τα οποία χρησιμοποιούν δια-δορυφορικές ζεύξεις, μπορούν να υποστηρίξουν κλήσεις από χρήστη σε χρήστη πολύ πιο εύκολα και γρήγορα από ό,τι τα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν τη γεωστατική τροχιά. Γενικά, η εισαγωγή των δια-δορυφορικών ζεύξεων βελτιώνει τη δρομολόγηση και έτσι αποφεύγεται η ανάγκη για ορατότητα μεταξύ χρήστη και πύλης από κάθε δορυφόρο στον αστερισμό (Wolf, 2000).

Υπάρχουν αρκετά συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, τα οποία χρησιμοποιούν δια-δορυφορικές ζεύξεις. Οι κυριότεροι λόγοι αναλύονται παρακάτω:

- Παρέχουν συντομότερη δρομολόγηση και σύνδεση μεταξύ αποστολέα-παραλήπτη.
- Επιλέγουν χαμηλότερου κόστους επίγεια δρομολόγηση.
- Παρακάμπτουν κατειλημμένους δορυφόρους και επίγειους σταθμούς για τη μεταγωγή των πακέτων.
- Βελτιώνουν τη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας του δορυφορικού αναμεταδότη.
- Επιτρέπουν τη χρήση μικρότερων και υψηλότερου κέρδους σημειακών ζωνών.
- Επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης του δορυφόρου σε γειτονικές και μακρινές περιοχές.
- Μειώνουν τη χρονική καθυστέρηση της ζεύξης.
- Βελτιώνουν την ποιότητα, αυξάνουν τη ταχύτητα και χαμηλώνουν το κόστος.
- Μειώνουν το μέγεθος και το πλήθος των επίγειων σταθμών, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος υλοποίησης ενός δορυφορικού συστήματος.

Συνδεσιμότητα μέσω δια-δορυφορικών ζεύξεων

Οι δια-δορυφορικές ζεύξεις μπορούν να θεωρηθούν ως ιδιόμορφες δέσμες δορυφόρων με πολλαπλές δέσμες. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι δέσμες δεν κατευθύνονται προς τη Γη, αλλά προς άλλους δορυφόρους. Για την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων απαιτούνται δύο δέσμες: μία για μετάδοση και μία για λήψη. Η συνδεσιμότητα του δικτύου υποδηλώνει τη δυνατότητα διασύνδεσης δεσμών, αφιερωμένων σε δια-δορυφορικές και άλλες ζεύξεις στο ωφέλιμο φορτίο.

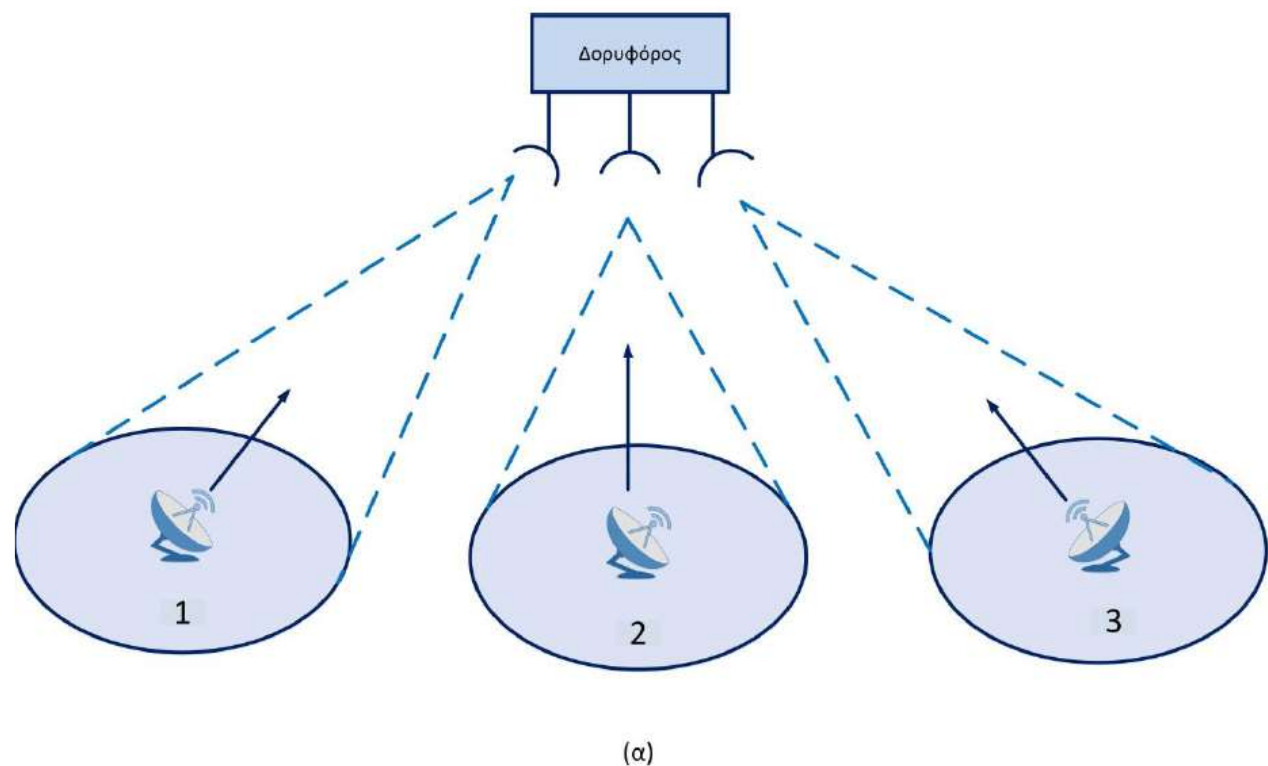
Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες δια-δορυφορικών ζεύξεων:

- ζεύξεις μεταξύ δορυφόρων γεωστατικής τροχιάς και δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (GEO-LEO), που ονομάζονται και δια-τροχιακές ζεύξεις (Inter-Orbital Links, IOL),
- ζεύξεις μεταξύ γεωστατικών δορυφόρων (GEO-GEO),
- ζεύξεις μεταξύ δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO-LEO).

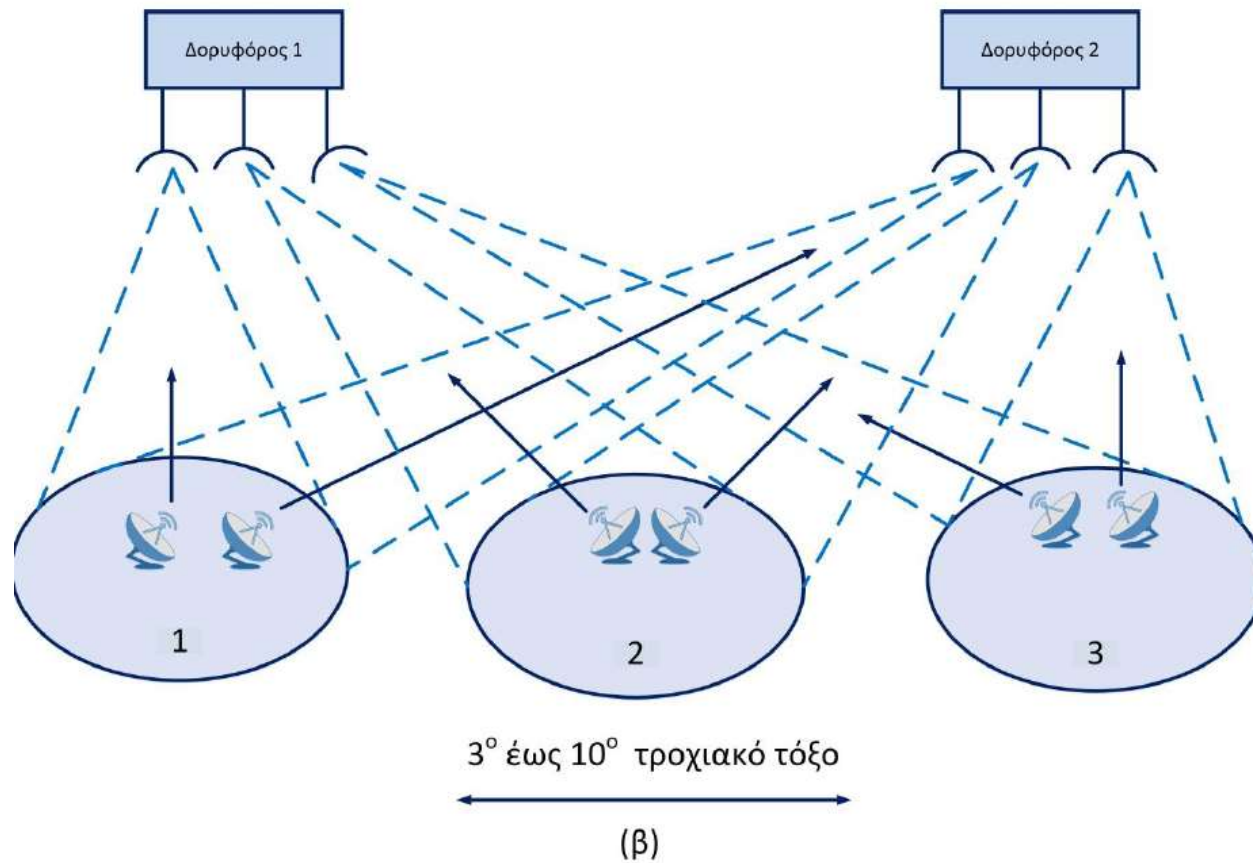
Ζεύξεις μεταξύ γεωστατικών δορυφόρων και δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (GEO – LEO)

Αυτό το είδος ζεύξης χρησιμεύει για τη δημιουργία μιας μόνιμης αναμετάδοσης, διαμέσου ενός γεωστατικού δορυφόρου, μεταξύ ενός ή περισσότερων επίγειων σταθμών και μιας ομάδας δορυφόρων χαμηλής τροχιάς σε υψόμετρο της τάξεως των 500 με 1000 χλμ. Γενικά, δεν είναι επιθυμητή η εγκατάσταση ενός δικτύου σταθμών, το οποίο να είναι τόσο μεγάλο, ώστε ανά πάσα στιγμή οι διερχόμενοι δορυφόροι LEO να είναι ορατοί από έναν τουλάχιστον σταθμό. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται ένας ή περισσότεροι γεωστατικοί δορυφόροι, οι οποίοι είναι μόνιμα και ταυτόχρονα ορατοί τόσο από τους σταθμούς όσο και από τους δορυφόρους χαμηλής τροχιάς και χρησιμεύουν στην αναμετάδοση των επικοινωνιών. Η τεχνική αυτή επιτρέπει, επίσης, την παράκαμψη πιθανών περιορισμών στο επίγειο δίκτυο.

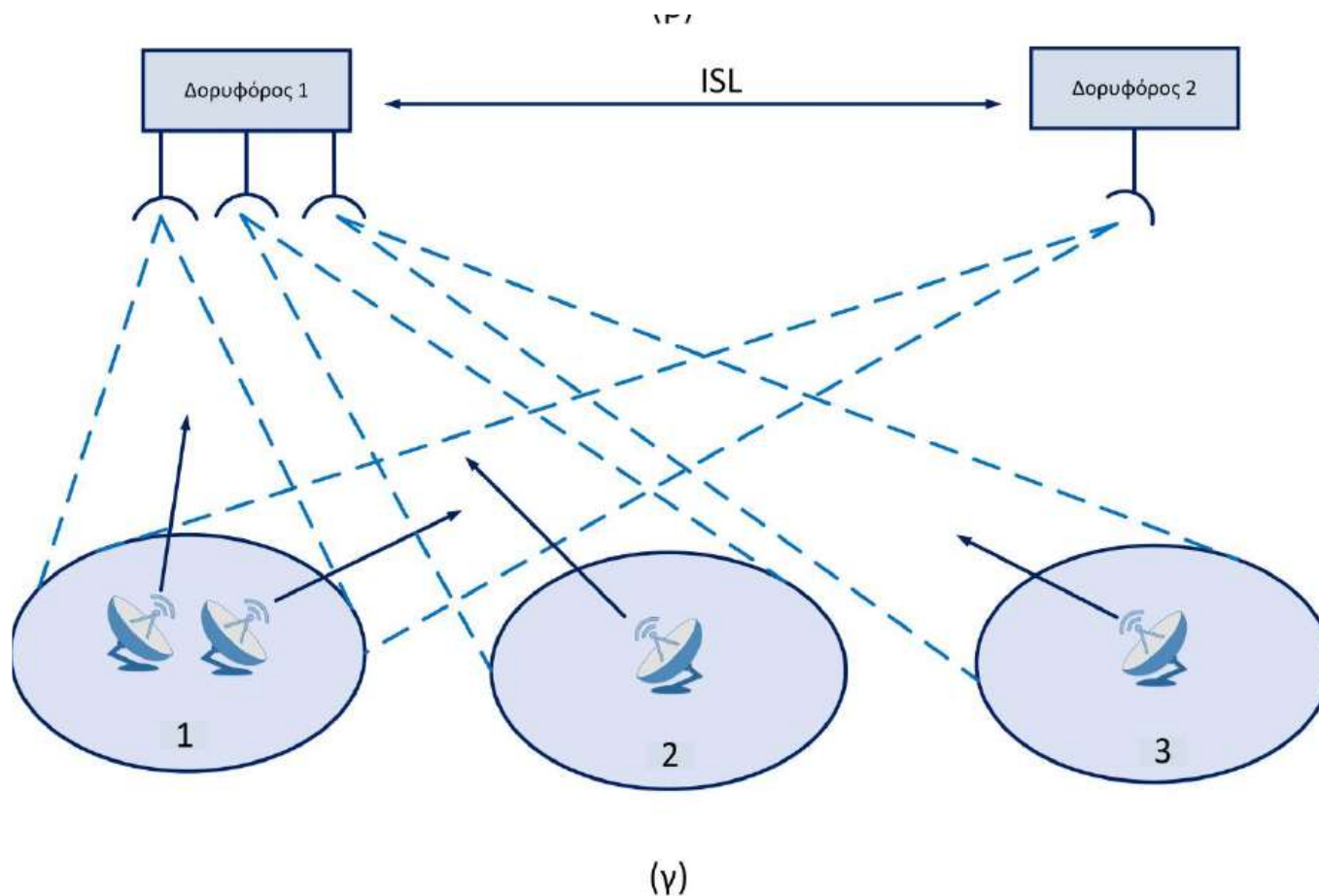
Ζεύξεις μεταξύ γεωστατικών δορυφόρων (GEO – GEO)



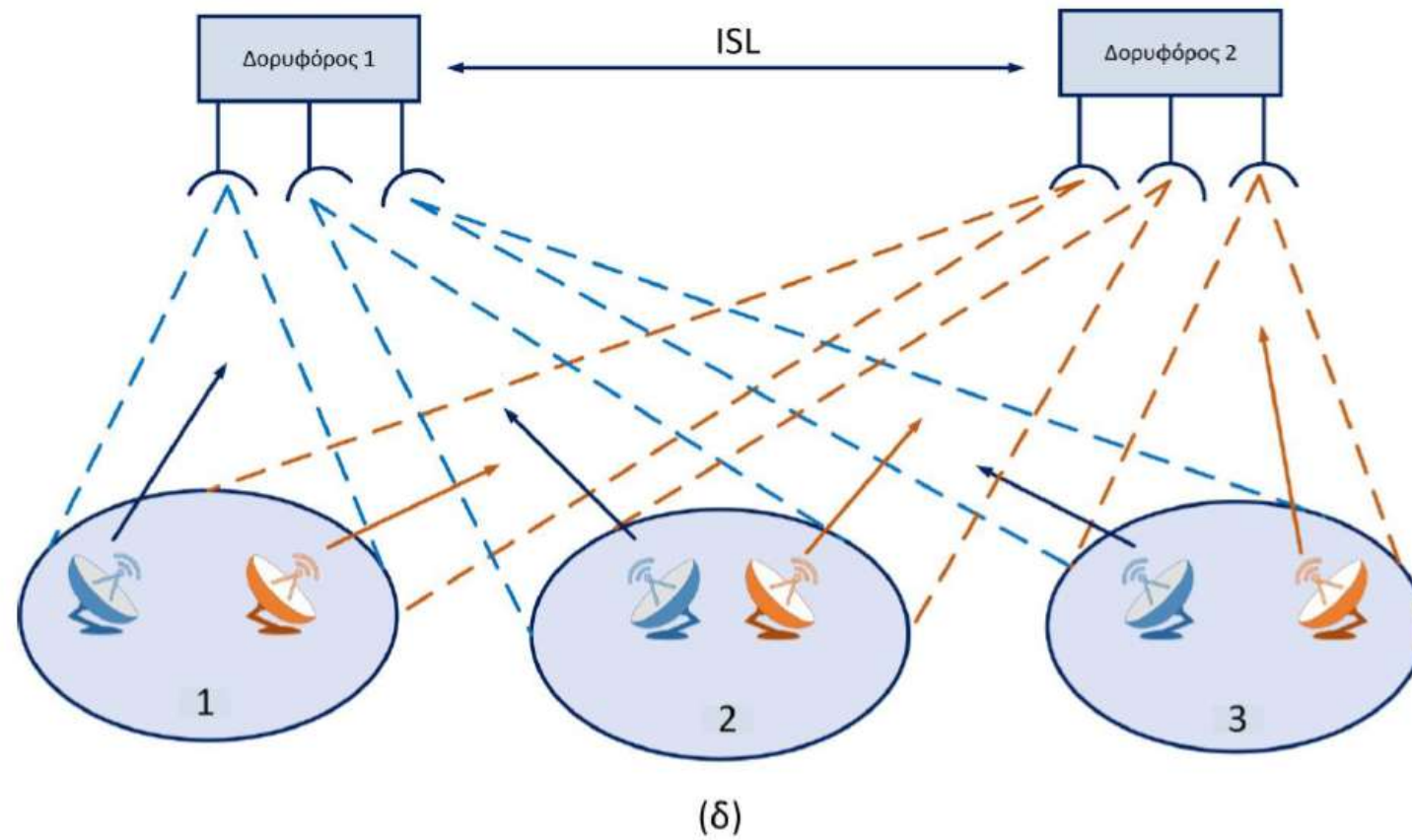
Σχήμα 11.18 Χρησιμοποιώντας μία δια-δορυφορική ζεύξη για να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος, χωρίς μεγάλες επενδύσεις στο επίγειο τμήμα. (α) Δίκτυο με έναν μόνο δορυφόρο. (β) Εκτόξευση ενός δεύτερου δορυφόρου να αυξηθεί η χωρητικότητα του διαστημικού τμήματος. Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (γ) Μόνο οι σταθμοί που βρίσκονται σε μία περιοχή με μεγάλη κίνηση πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (δ) Οι σταθμοί κατανέμονται μεταξύ δύο δορυφόρων. Η δια-δορυφορική ζεύξη μεταφέρει την κίνηση μεταξύ των δύο ομάδων σταθμών.



Σχήμα 11.18 Χρησιμοποιώντας μία δια-δορυφορική ζεύξη για να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος, χωρίς μεγάλες επενδύσεις στο επίγειο τμήμα. (α) Δίκτυο με έναν μόνο δορυφόρο. (β) Εκτόξευση ενός δεύτερου δορυφόρου να αυξηθεί η χωρητικότητα του διαστημικού τμήματος. Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (γ) Μόνο οι σταθμοί που βρίσκονται σε μία περιοχή με μεγάλη κίνηση πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (δ) Οι σταθμοί κατανέμονται μεταξύ δύο δορυφόρων. Η δια-δορυφορική ζεύξη μεταφέρει την κίνηση μεταξύ των δύο ομάδων σταθμών.



Σχήμα 11.18 Χρησιμοποιώντας μία δια-δορυφορική ζεύξη για να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος, χωρίς μεγάλες επενδύσεις στο επίγειο τμήμα. (α) Δίκτυο με έναν μόνο δορυφόρο. (β) Εκτόξευση ενός δεύτερου δορυφόρου να αυξηθεί η χωρητικότητα του διαστημικού τμήματος. Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (γ) Μόνο οι σταθμοί που βρίσκονται σε μία περιοχή με μεγάλη κίνηση πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (δ) Οι σταθμοί κατανέμονται μεταξύ δύο δορυφόρων. Η δια-δορυφορική ζεύξη μεταφέρει την κίνηση μεταξύ των δύο ομάδων σταθμών.

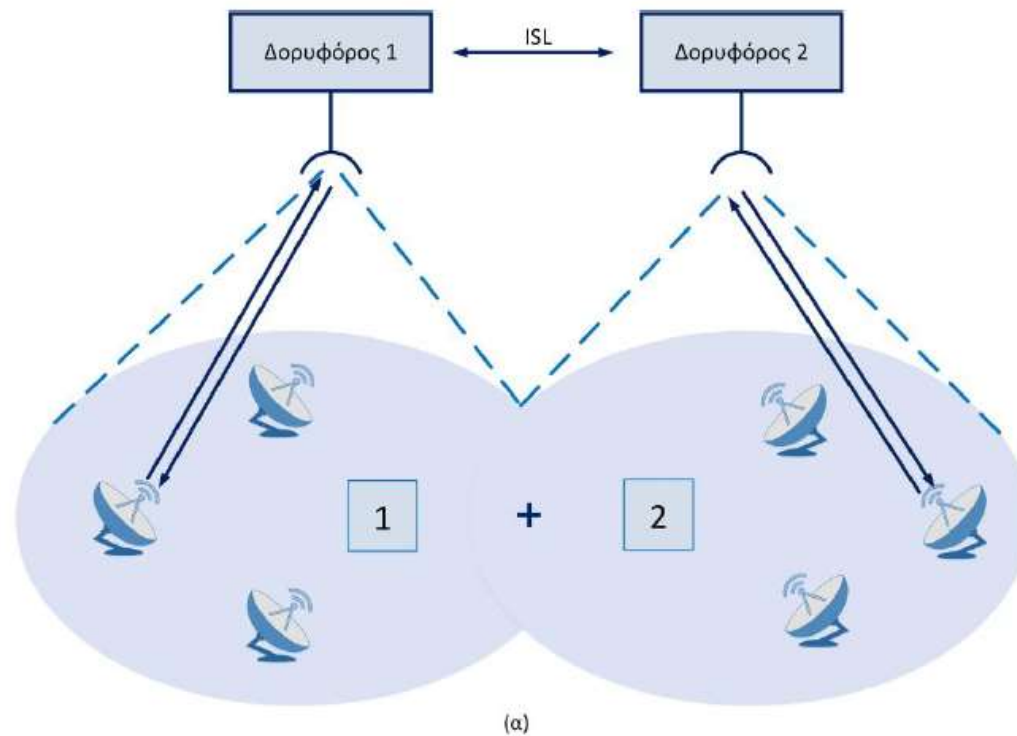


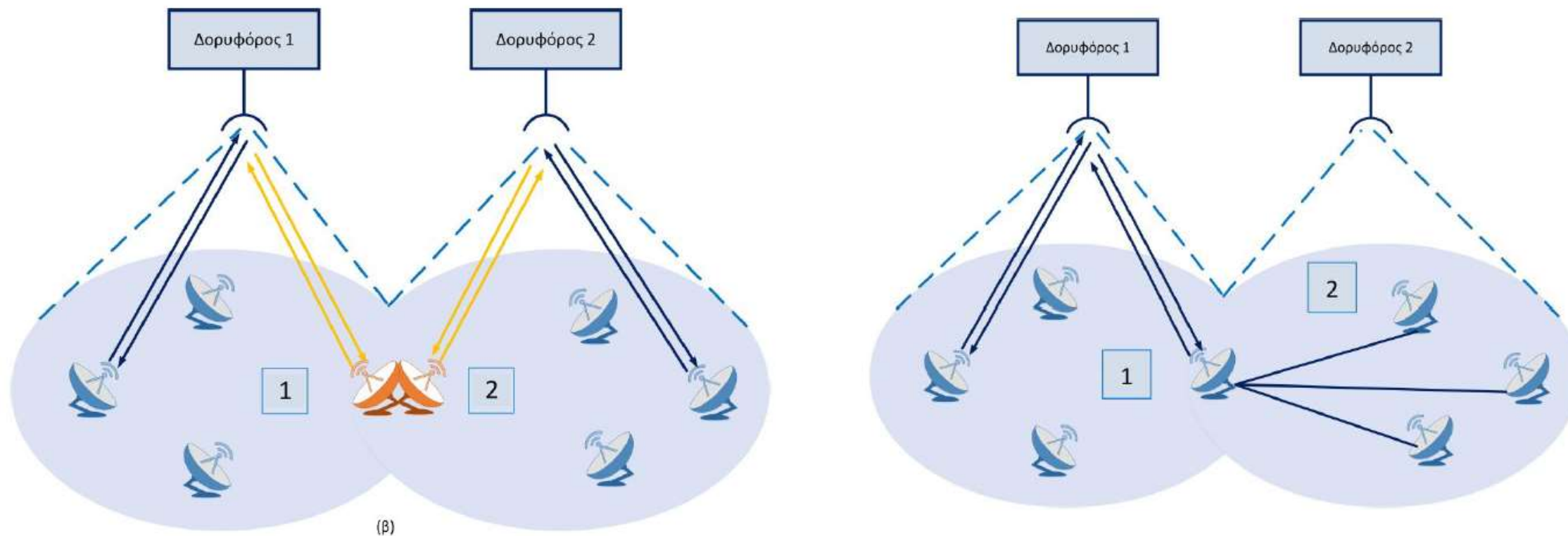
Σχήμα 11.18 Χρησιμοποιώντας μία δια-δορυφορική ζεύξη για να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος, χωρίς μεγάλες επενδύσεις στο επίγειο τμήμα. (α) Δίκτυο με έναν μόνο δορυφόρο. (β) Εκτόξευση ενός δεύτερου δορυφόρου να αυξηθεί η χωρητικότητα του διαστημικού τμήματος. Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (γ) Μόνο οι σταθμοί που βρίσκονται σε μία περιοχή με μεγάλη κίνηση πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με δύο κεραίες. (δ) Οι σταθμοί κατανέμονται μεταξύ δύο δορυφόρων. Η δια-δορυφορική ζεύξη μεταφέρει την κίνηση μεταξύ των δύο ομάδων σταθμών.

Επέκταση της περιοχής κάλυψης ενός συστήματος

Μία δια-δορυφορική ζεύξη επιτρέπει στους επίγειους σταθμούς δύο δικτύων να αλληλοδυνδένονται και ως εκ τούτου η γεωγραφική κάλυψη των δύο δορυφόρων μπορεί να συνδυάζεται (Σχήμα 11.19(α)). Οι εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν:

- Την εγκατάσταση ενός επίγειου σταθμού διασύνδεσης, εξοπλισμένου με δύο κεραίες στο κοινό τμήμα των δύο περιοχών κάλυψης, εφόσον υπάρχει (Σχήμα 11.19(β)).
- Τη δημιουργία σύνδεσης, μέσω του επίγειου δικτύου, από τους σταθμούς του ενός δικτύου σε έναν σταθμό του άλλου δικτύου, που βρίσκεται στα κοινά όρια των δύο περιοχών κάλυψης (Σχήμα 11.19(γ)).





Σχήμα 11.19 Επέκταση της κάλυψης ενός συστήματος. (α) Διασύνδεση της περιοχής κάλυψης των επίγειων σταθμών με μία δια-δορυφορική ζεύξη. (β) Διασύνδεση χωρίς δια-δορυφορική ζεύξη με έναν κοινό επίγειο σταθμό και για τα δύο δίκτυα. (γ) Διασύνδεση χωρίς δια-δορυφορική ζεύξη με ένα επίγειο δίκτυο.

Ζεύξεις μεταξύ δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO – LEO)

Οι δορυφόροι που εκπέμπουν σε χαμηλή τροχιά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της σημαντικής ελαχιστοποίησης της καθυστέρησης μετάδοσης, που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για ορισμένες υπηρεσίες (κυρίως φωνητικές). Ωστόσο, ένας δορυφόρος είναι ορατός από τη Γη για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, περιορίζοντας τη διάρκεια της επικοινωνίας. Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να μειωθεί σε ένα δίκτυο που περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό δορυφόρων, οι οποίοι συνδέονται με δια-δορυφορικές ζεύξεις και είναι εξοπλισμένοι με διατάξεις μεταγωγής μεταξύ των δεσμών. Το σύστημα IRIDIUM αποτελεί ένα παράδειγμα ενός αστερισμού 66 δορυφόρων

Συμπέρασμα

Οι δια-δορυφορικές ζεύξεις καθιστούν τις ακόλουθες δομές δυνατές:

- Τη χρήση ενός γεωστατικού δορυφόρου ως αναμεταδότη για μόνιμες ζεύξεις μεταξύ δορυφόρων χαμηλής τροχιάς και ενός δικτύου με μικρό αριθμό επίγειων σταθμών.
- Την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος, συνδυάζοντας τις χωρητικότητες περισσότερων γεωστατικών δορυφόρων.
- Τον σχεδιασμό συστημάτων με μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας.
- Την εξέταση συστημάτων που παρέχουν μία μόνιμη ζεύξη και παγκόσμια κάλυψη, χρησιμοποιώντας δορυφόρους χαμηλής τροχιάς ως εναλλακτική στα συστήματα που χρησιμοποιούν γεωστατικούς δορυφόρους.

Για τη διάδοση και τη λειτουργία των δια-δορυφορικών ζεύξεων χρησιμοποιείται τόσο η ασύρματη τεχνολογία με ραδιοσυχνότητες (μεγαλύτερες από 20 GHz), όσο και η οπτική τεχνολογία, που παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα υπό το πρίσμα της κατανάλωσης όγκου και ενέργειας για ζεύξεις υψηλής χωρητικότητας.