

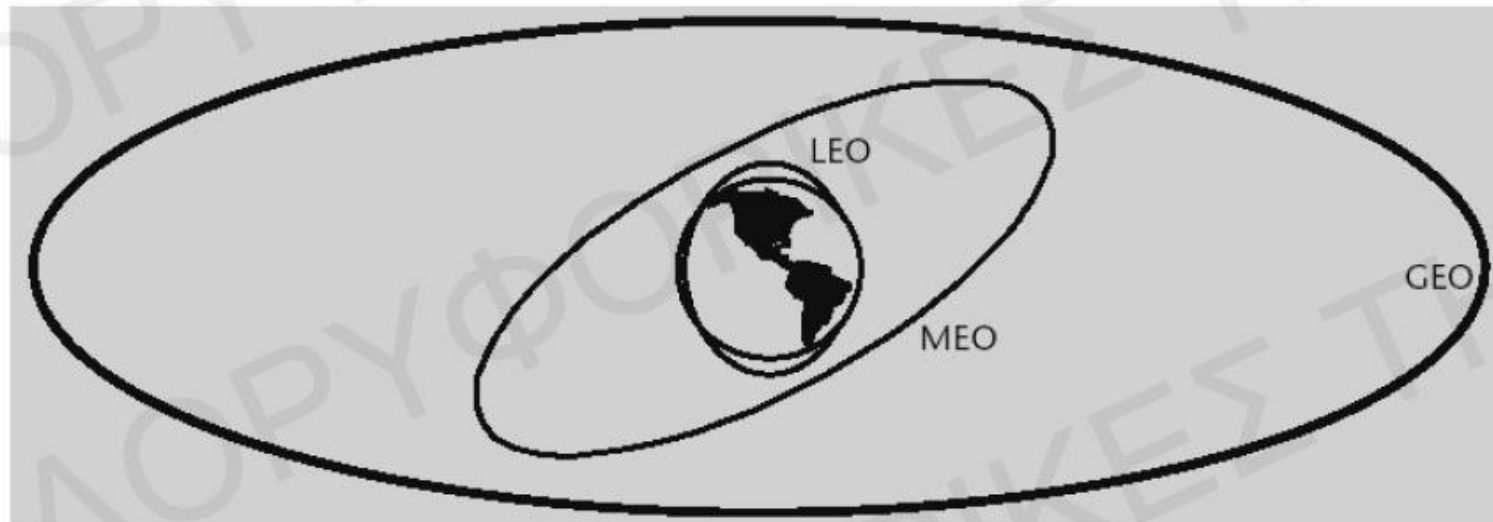
Satellite Networks

LEO: 500 - 900 km,

MEO: 5,000 - 12,000 km,

GEO: 36,000 km.

«Αστερισμοί» (Constellations) από LEO και MEO satellites για συνεχή παροχή υπηρεσιών.



Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων (1/2)

- Ασυμμετρικά δορυφορικά δίκτυα
 - Διαφορετικές χωρητικότητες στους προς τα εμπρός και επιστρεφόμενους συνδέσμους
- Δορυφορικός σύνδεσμος «last hope»:
 - Χρησιμοποιούν το δορυφορικό σύνδεσμο σαν ένα μοιραζόμενο υψηλής ταχύτητας σύνδεσμο προς πολλούς χρήστες με χαμηλότερη ταχύτητα και
 - Οι μη διαμοιραζόμενοι επίγειοι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για αιτήσεις και επιβεβαιώσεις

Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων (2/2)

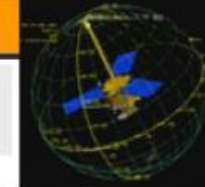
- Υβριδικά δορυφορικά δίκτυα
 - Συνδυάζονται και με επίγεια δίκτυα
- Σημείο προς σημείο δορυφορικά δίκτυα
 - Πρόκειται για ιδιωτικά δίκτυα οπότε μπορούν να εφαρμοσθούν μερικές βελτιωτικές αλλαγές που δεν είναι κατάλληλες για διαμοιραζόμενα δίκτυα

Το Δορυφορικό Κανάλι (1/3)

- Το δορυφορικό κανάλι χαρακτηρίζεται από προκλήσεις:
 - Η ισχύς ενός ραδιοσήματος μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης που διανύει
 - Η απόσταση για μια δορυφορική σύνδεση είναι μεγάλη και αυτό έχει ως συνέπεια χαμηλό λόγο σήματος-θορύβου
 - Υπάρχει ένα περιορισμένο ποσό εύρους ζώνης διαθέσιμο για δορυφορικά συστήματα που ελέγχεται τυπικά με άδειες

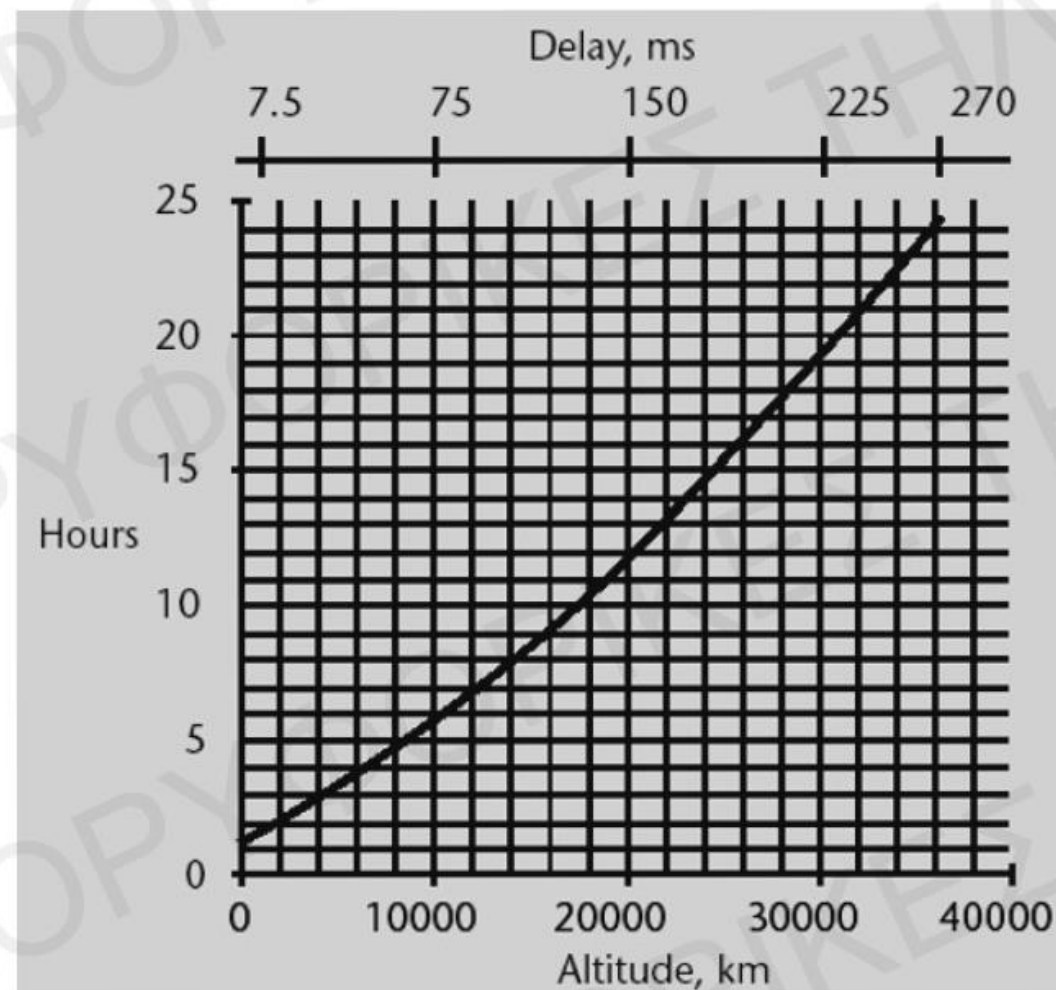
Το Δορυφορικό Κανάλι (2/3)

- Επίσης χαρακτηρίζεται από μεγάλη καθυστέρηση ανάδρασης
 - Λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης απαιτείται πολύς χρόνος από τον TCP αποστολέα για να καθορίσει αν ένα πακέτο λήφθηκε επιτυχώς
 - Μεγάλο μειονέκτημα σε διαδραστικές εφαρμογές
 - Επειδή η καθυστέρηση είναι μεγάλη, το TCP αναγκάζεται να κρατήσει ένα μεγάλο αριθμό πακέτων «στον αέρα» (σταλμένα, αλλά όχι επιβεβαιωμένα)



Satellite Networks – Καθυστέρηση Διάδοσης

One-way (single-hop) propagation delay.



Orbit period in hours versus the mean altitude of the orbit in kilometers.

Το Δορυφορικό Κανάλι (3/3)

- Παράλληλα παρουσιάζει υψηλότερο ρυθμό λαθών bit (BER) από τα τυπικά επίγεια δίκτυα
- Το TCP αντιμετωπίζει τις απορρίψεις πακέτων ως ενδείξεις συμφόρησης και μειώνει το μέγεθος του παραθύρου σε μια προσπάθεια να τη μειώσει
- Έχει μεγάλους χρόνους Round Trip
- Παρουσιάζει διακοπτόμενη συνδεσιμότητα λόγω της κίνησης των δορυφόρων

Ζώνες Δορυφορικών Συχνοτήτων

- Ku band
- Ka band
- C band
- X band
- S band
- L band

Ku band - Ka band

- Ku band (10-18 GHz)
 - Ένα μέρος, το FSS (Fixed Service Satellite), χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ σημείων στο έδαφος
 - Ένα άλλο μέρος, το BSS (Broadcasting Satellite Service) χρησιμοποιείται για να μεταδώσει σήματα που έρχονται απευθείας από τον δορυφόρο
 - Μειονέκτημα: επηρεάζεται από τις έντονες βροχοπτώσεις
- Ka band (18-40 GHz)
 - Για δορυφορική επικοινωνία χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 20/30GHz

C band - X band

- C band - Χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:
 - Nato C band (0.5-1GHz). Χρησιμοποιείται συνήθως για τα ραντάρ για την ανάλυση του καιρού
 - IEEE C band (4-8GHz). Χρησιμοποιείται αρκετά στο εύρος των 3.7– 4.2GHz και παράγει καλή ποιότητα επικοινωνίας
 - Optical communications C band: Χρησιμοποιείται για επικοινωνία μέσω οπτικών δικτύων
- X band (7-12.5 GHz)
 - Χρησιμοποιείται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς

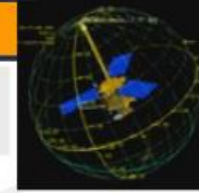
S band - L band

- S band (2-4 GHz)
 - Χρησιμοποιείται κυρίως για radar που παρακολουθούν τα καιρικά φαινόμενα
 - Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιείται και για δορυφορικές μεταδόσεις ραδιοφώνου όσο και τηλεόρασης
- L band (0.39-1.55 GHz)
 - Χρησιμοποιείται κυρίως για ραδιοφωνική μετάδοση
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για οπτικά δίκτυα

Χρησιμοποιούμενες συχνότητες δορυφορικών συστημάτων

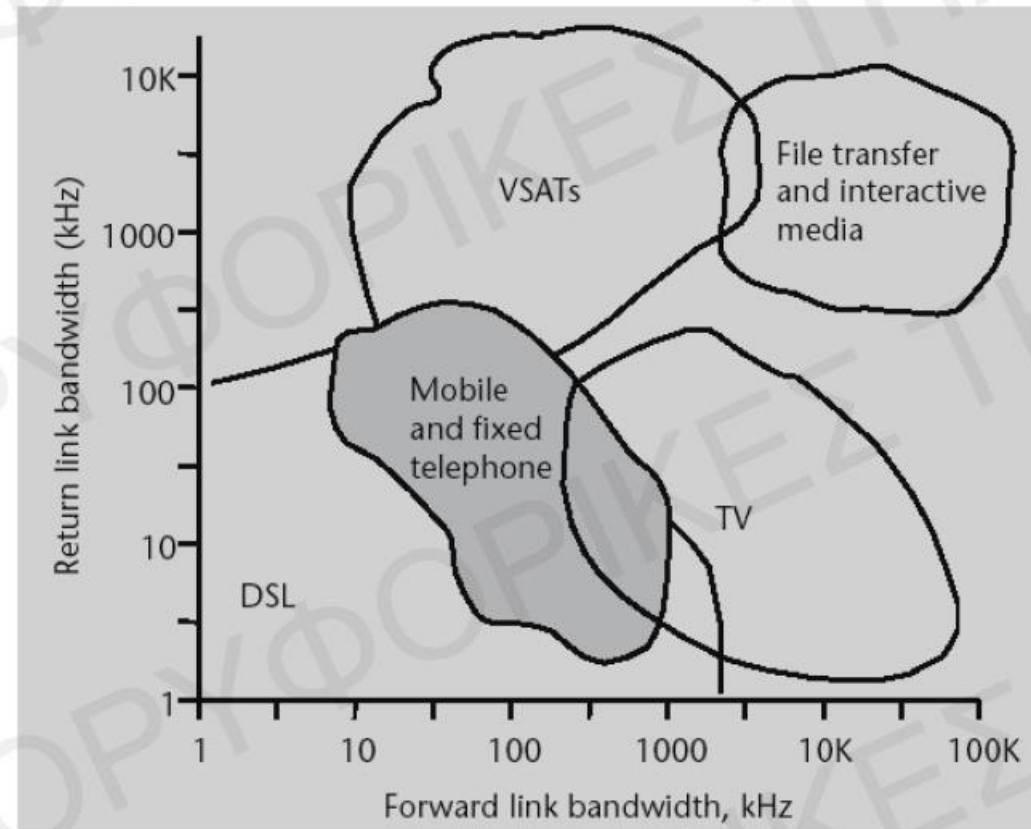
Ζώνη	Μπάντα συχνοτήτων	Άνω ζεύξη GHz	Κάτω ζεύξη GHz	Εύρος ζώνης MHz
C	4/6	5.925 – 6.425	3.7 – 4.2	500
X	7/8	7.9 – 8.4	7.25 – 7.75	500
Ku	12/14	14 – 14.5	11.7 – 12.2	500
Ka	20/30	27.5 – 31	17.7 – 21.2	3 500

Χρησιμοποιούμενες συχνότητες δορυφορικών
συστημάτων



Satellite Networks – Φάσμα Συχνοτήτων

The approximate relationship of bandwidth usage between the forward link (hub transmit) and return link (remote transmit) in satellite applications.



Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων - Σημείο προς σημείο

- Πρόκειται για ένα κλασικό δορυφορικό δίκτυο καθώς υπάρχουν μόνιμες συνδέσεις
- Μοιάζει αρκετά με την τοπολογία αστέρα
- Ένα μειονέκτημά της είναι ότι δεν υπάρχει απευθείας σύνδεση μεταξύ 2 χρηστών
- Έχει μικρό κόστος και η λειτουργία του είναι αρκετά απλή, όμως κατάρρευση του κεντρικού κόμβου οδηγεί σε κατάρρευση του δικτύου

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων - Switched

- Είναι μία τοπολογία η οποία μοιάζει αρκετά με την τοπολογία πλέγματος
- Έχει το πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχουν προβλήματα και η ασφάλεια είναι σε υψηλό επίπεδο
- Επίσης κατάρρευση μιας γραμμής δεν οδηγεί σε κατάρρευση του συστήματος και υπάρχει εύκολη ανίχνευση λαθών
- Τα μειονεκτήματα αυτής της τοπολογίας είναι ότι το κόστος δημιουργίας ενός τέτοιου δικτύου είναι απαγορευτικό και ότι οι χρήστες μοιράζονται τη σύνδεση

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων - TDMA

- Είναι μια τοπολογία που συνδυάζει τις τοπολογίες αστέρα και πλέγματος
- Είναι κατάλληλη για εφαρμογές που έχουν πολύ κίνηση στο δίκτυο
- Οι χρήστες πάλι μοιράζονται την σύνδεση όμως με χρήση των IP διευθύνσεων του καθενός οι συνδέσεις γίνονται πολύ πιο γρήγορα

Τοπολογίες δορυφορικών δικτύων - Υβριδικά Δορυφορικά Δίκτυα

- Τα υβριδικά δορυφορικά δίκτυα είναι συνδυασμός των τοπολογιών δικτύων που αναφέρθηκαν
- Ο δορυφορικός σύνδεσμος μπορεί να είναι οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο
- Η τοπολογία αστέρα χρησιμοποιείται για καλύτερο έλεγχο της κίνησης του δικτύου
- Ο κόμβος Hub χρησιμοποιείται για να υπάρχει σύνδεση με πολλαπλές κοινότητες εκτός του δικτύου
- Πάλι με σωστή εκμετάλλευση των IP διευθύνσεων των χρηστών, το δίκτυο λειτουργεί πολύ καλύτερα

TCP για δορυφορικά δίκτυα

- Το TCP σχεδιάστηκε για χρήση σε ενσύρματα δίκτυα και μερικά χαρακτηριστικά του μειώνουν την απόδοση του όταν εφαρμόζεται σε δορυφορικά δίκτυα
- Τα προβλήματα που εμφανίζονται είναι:
 - Μεγάλο Round Trip Time (RTT)
 - Μεγάλο γινόμενο καθυστέρησης * εύρος ζώνης
 - Μεγάλος Ρυθμός Λαθών
 - Ασύμμετρη χρήση
 - Διακοπτόμενη σύνδεση
 - Περιορισμένο μέγεθος πακέτων

Προσαρμογή του TCP σε δορυφορικά δίκτυα

- Περιορισμός του 3 way handshake μόνο σε μεγάλα πακέτα
- Απενεργοποίηση του slow-start αλγόριθμου για τον έλεγχο συμφόρησης
- Κατάργηση αποστολής ACK από τον παραλήπτη για κάθε εισερχόμενο πακέτο
- Μεγαλύτερο όριο συμφόρησης δικτύου και βελτίωση των αλγορίθμων ελέγχου συμφόρησης
- Υλοποίηση αλγορίθμων γρήγορης επαναποστολής (fast retransmission) και γρήγορης ανάνηψης (fast recovery)

Internet over Satellite (IoS)

- Το Δορυφορικό Internet (Internet over Satellite - IoS), στοχεύει:
 - Στην παροχή υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης για τους χρήστες του
 - Στην εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) με το χαμηλότερο δυνατό κόστος
 - Στην σύνδεση παντού και πάντοτε

Είδη Συνδέσεων

- Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη
- Άμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP
- Έμμεση Δορυφορική Σύνδεση μέσω ISP

Δορυφορική Σύνδεση απευθείας στον Τελικό Χρήστη

- Ο τελικός χρήστης συνδέεται απευθείας σε μια δορυφορική σύνδεση διαθέτοντας μια κάρτα δορυφορικής λήψης και ένα δορυφορικό δέκτη
- Το κόστος σε απαιτούμενο υλικό και λογισμικό είναι αρκετά υψηλό
- Η λήψη των δεδομένων γίνεται μέσω της δορυφορικής σύνδεσης, ενώ η αποστολή γίνεται μέσω μιας παραδοσιακής σύνδεσης στο Internet
- Γι' αυτό το λόγο αν και αυξάνεται ο ρυθμός λήψης δεδομένων, η ταχύτητα αποστολής των δεδομένων παραμένει χαμηλή

Άμεση Σύνδεση μέσω ISP

- Ο ISP διαθέτει ένα δορυφορικό πιάτο επικοινωνίας
- Η κλήση κάθε χρήστη που συνδέεται με τον Internet Provider φθάνει από το modem του χρήστη στο διακομιστή του ISP
- Αν τα δεδομένα που ο χρήστης ζητά βρίσκονται αποθηκευμένα στο διακομιστή τότε επιστρέφονται στο χρήστη, διαφορετικά η αίτηση μεταφέρεται στο δορυφόρο
- Δεν πρόκειται για καθαρά δορυφορική σύνδεση αλλά για έναν συνδυασμό επίγειων και δορυφορικών συνδέσεων
- Η απόδοση της σύνδεσης επηρεάζεται από τους περιορισμούς των επίγειων συνδέσεων (όπως ταχύτητα και κίνηση)

Έμμεση Σύνδεση μέσω ISP

- Ο ISP δε διαθέτει δορυφορικό πιάτο επικοινωνίας αλλά συνδέεται με κάποια εταιρεία που διαθέτει σύνδεση με κάποιο δορυφόρο
- Η κλήση κάθε χρήστη που συνδέεται με τον Internet Provider φθάνει μέσω των τηλεφωνικών γραμμών από το modem του χρήστη στο διακομιστή του ISP
- Αν τα δεδομένα βρίσκονται ήδη αποθηκευμένα στο διακομιστή τότε επιστρέφονται στο χρήστη
- Διαφορετικά η αίτηση του χρήστη μεταφέρεται στο διακομιστή της εταιρείας που παρέχει το δορυφόρο

Βασική Απαιτούμενη Υποδομή

- Και στις τρεις μορφές σύνδεσης η απαιτούμενη κοινή υποδομή περιλαμβάνει:
 - Έναν uplink σταθμό μετάδοσης προς το δορυφόρο
 - Μια πλατφόρμα προγραμμάτων δορυφορικής λήψης πολυμεσικών δεδομένων
 - Μια ή περισσότερες δορυφορικές συνδέσεις
- Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι στο Internet over Satellite είναι γεωστατικής τροχιάς (GEO)

Ταχύτητες

- Η μέγιστη ταχύτητα σε downlink που φθάνει θεωρητικά ο καλύτερος δορυφόρος είναι τα 140Gbps, αλλά η μέση ταχύτητα συνήθως είναι 1-10Mbps
- Η μέση ταχύτητα αποστολής δεδομένων από έναν σταθμό στο δορυφόρο είναι περίπου 0.5-1Mbps
- Τεχνικές για την αύξηση της ταχύτητας και την βελτίωση της ποιότητας της σύνδεσης:
 - Αποθήκευση συχνά χρησιμοποιούμενων πακέτων δεδομένων στους διακομιστές (Intelligent Caching)
 - Αποστολή πακέτων χωρίς να είναι πάντα απαραίτητη η λήψη επιβεβαιώσεων

Ασφάλεια

- Η ασφάλεια αποτελεί γενικότερο πρόβλημα των ασύρματων επικοινωνιών
- Μια λύση είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων από τον πομπό και η αποκρυπτογράφηση από το δέκτη, είτε με δημόσια είτε με ιδιωτικά κλειδιά
- Τα τελευταία χρόνια μέσα στην προσπάθεια προτυποποίησης των πρωτοκόλλων για δορυφορικά δίκτυα εντάσσεται και η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου ασφάλειας

Ποιότητα Υπηρεσίας

- Η ανάπτυξη μηχανισμών που θα προσφέρουν Quality of Service στο IoS αποτελεί αντικείμενο μελέτης
- Οι μηχανισμοί πρέπει να ικανοποιούν τα ακόλουθα πέντε χαρακτηριστικά:
 - Ελάχιστη ταχύτητα μετάδοσης
 - Όρια στην καθυστέρηση και τη διακύμανσή της
 - Μέση και μέγιστη ρυθμαπόδοση (throughput)
 - Χρόνοι έναρξης και λήξης για μια αιτούμενη υπηρεσία
 - Loss rate

Δρομολόγηση

- Σημαντικό θέμα έρευνας στο Internet over Satellite, αποτελεί και η δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων
- Οι δορυφόροι που δε βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά αλλάζουν δυναμικά τις τοπολογίες των δορυφορικών δικτύων με αποτέλεσμα να χρειάζονται συχνή αλλαγή και οι πίνακες δρομολόγησης
- Η διατήρηση των πινάκων δρομολόγησης στους δορυφόρους δεν είναι συμφέρουσα καθώς δεν είναι εύκολη η ανανέωση και ενημέρωσή τους
- Μια καλή λύση είναι η χρησιμοποίηση ενός ιδιαίτερου τρόπου δρομολόγησης, όπως το Network Address Translation (NAT)

NAT

- Σε αυτή την τεχνική η αναγκαία πληροφορία για τη δρομολόγηση προέρχεται από το ίδιο το δίκτυο
- Ο NAT router λαμβάνει τα δεδομένα και υπολογίζει κάθε φορά τις διευθύνσεις λήψης αλλά και προορισμού των πακέτων
- Η διαδικασία είναι αμφίδρομη
- Μειονέκτημα: η αυξημένη πολυπλοκότητα των υπολογισμών

Υπηρεσίες στο IoS

- Είδη υπηρεσιών:
 - Μονόδρομες, όπως η δορυφορική τηλεόραση
 - Αμφίδρομες ή διαδραστικές, όπως η τηλε-ιατρική και η τηλε-εργασία
- Παραδείγματα εφαρμογών:
 - Δίκτυο κορμού για εκπομπή Internet
 - Εκπομπή σε εταιρικά δίκτυα (Intranets)
 - Εκπομπή μέσω Διαδικτύου (Web casting)
 - Δορυφορικά πολυμέσα
 - Τηλε-εκπαίδευση