



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



Τμήμα Μηχανικών  
Πληροφορικής ΑΤΕΙΘ

Πτυχιακή εργασία

## **Εξελίξεις και μελλοντικές προοπτικές των δορυφορικών δικτύων**



Του φοιτητή: Θέμη Λούβαρη  
Αρ. Μητρώου: 910212

Επιβλέπων καθηγητής:  
Δημήτριος Αμανατιάδης

Θεσσαλονίκη 2014

## Πρόλογος

Επικοινωνία είναι η διαδικασία της ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ δύο ή περισσότερων μερών για τα οποία η πληροφορία έχει νόημα, οπότε αποκτά νόημα και η ανταλλαγή της ως πράξη. Ανέκαθεν η επικοινωνία ήταν ένα πολύ σημαντικό μέσον για την εξέλιξη του ανθρώπινου γένους. Πόσο μάλλον στη σημερινή εποχή κατά την οποία, από τη μία μεριά γεννιούνται αδιάκοπα καινούργιες ιδέες και απόψεις και από την άλλη μεριά το πεδίο δράσης των μέσων διασποράς αυτών των ιδεών και απόψεων δεν έχει πλέον γεωγραφικά σύνορα. Η δε ταχύτητα μετάδοσης αυτών, ξεπερνάει το προσδόκιμο.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η συμβολή των δορυφόρων του χθες, του σήμερα και του αύριο, στο τόσο σημαντικό αυτό κομμάτι των επικοινωνιών. Γίνεται αντιληπτό επίσης, ότι χωρίς την χρήση τους δεν θα φτάναμε ποτέ σε τέτοια επίπεδα ενημέρωσης μεταξύ τόσο απομακρυσμένων σημείων του πλανήτη μας και με τόσο μεγάλη ταχύτητα. Αδιαμφισβήτητα, η ύπαρξη των δορυφόρων στο διάστημα έχει προσφέρει και θα συνεχίσει να μας προσφέρει ευκολίες και υπηρεσίες που σε έναν βαθμό θα γίνουν αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας. Αν δεν έχουν ήδη γίνει !!!

## Περίληψη

Η ανάγκη ύπαρξης των δορυφόρων γεννήθηκε όταν παρουσιάστηκε το πρόβλημα μετάδοσης σήματος από ένα σημείο της γης σε ένα άλλο αρκετά απομακρυσμένο. Οι προσπάθειες που έγιναν από τις υπερδυνάμεις για αυτό το σκοπό δεν ήταν λίγες. Με την πάροδο του χρόνου και την ολοένα αυξανόμενη γνώση στον τομέα αυτό, άρχισαν να κατασκευάζονται δορυφόροι για συγκεκριμένες χρήσεις οι οποίοι για το λόγο αυτό ακολουθούν και συγκεκριμένες τροχιές. Οι υπηρεσίες που προσφέρουν είναι πλέον ανεκτίμητες. Οι δε ανάγκες που παρουσιάζονται είναι ολοένα αυξανόμενες και απαιτητικές. Για αυτό και η έρευνα για τη βελτίωση και αναβάθμισή τους δεν σταματά.

## **Abstract**

The need for satellite existence was created when the challenge of signal transmission from one point of the earth to another came to the surface. The superpowers performed more than a few attempts to achieve this goal. As time went by together with the field's ever-growing knowledge and expertise, satellites following specific orbits were eventually manufactured, in order to serve specific missions. The services that satellites offer nowadays are invaluable. Yet the emerging needs that arise are all the more increasing and demanding. It is for this reason that the research aiming towards their improvement and advancement never stops.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον Θεό που με αξίωσε να υλοποιήσω αυτή την πτυχιακή εργασία. Επίσης ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Αμανατιάδη Δημήτριο για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

# Ευρετήριο Περιεχομένων

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	2
Περίληψη.....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες.....	5
Ευρετήριο Περιεχομένων.....	6
Ευρετήριο Σχημάτων.....	9
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγικά.....	10
Εισαγωγή .....	10
<b>1.1 Θεμελιώδη συστήματα επικοινωνιών μέσω δορυφόρου .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Περιγραφή του συστήματος επικοινωνιών μέσω δορυφόρου .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Βασικό Δορυφορικό σύστημα.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Περιγραφή της τροχιάς .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Τα είδη των δορυφόρων.....</b>	<b>20</b>
<b>1.6 Εκτόξευση δορυφόρων .....</b>	<b>25</b>
Επίλογος .....	27
Κεφάλαιο 2 – Το παρελθόν των δορυφορικών επικοινωνιών .....	28
Εισαγωγή.....	28
<b>2.1 Οι απόπειρες των Ρώσων .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Η απάντηση των Αμερικανών .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3 Η χρησιμότητα των δορυφορικών συστημάτων.....</b>	<b>33</b>
Επίλογος .....	35
Κεφάλαιο 3 – Το παρόν των δορυφορικών επικοινωνιών .....	36
Εισαγωγή .....	36
<b>3.1 Δορυφόροι με χαμηλή τροχιά ως προς τη Γη (Low Earth Orbit Satellites) ..</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Εφαρμογές δορυφορικών συστημάτων .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Triple Play μέσω δορυφόρου .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.1 Eutelsat .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.2 Προϊόντα και Υπηρεσίες.....</b>	<b>43</b>
3.3.3 Ο δορυφόρος Ka-Sat .....	44
3.3.4. Η Μπάντα–Ka για το δορυφόρο Ka-Sat.....	45
3.3.5 Η Υπηρεσία Tooway™ .....	47

3.4 Υποδομή παροχής Ευρυζωνικών IP Υπηρεσιών- βασιζόμενη σε δορυφόρο- για αμαξοστοιχίες μεγάλης ταχύτητας. ....	51
<b>3.4.1 Το σιδηροδρομικό περιβάλλον</b> .....	52
<b>3.4.1.1 Κινητές Δορυφορικές Επικοινωνίες σε τρένα υψηλής ταχύτητας</b> .....	52
<b>3.4.1.2 Μηχανολογικοί και Ηλεκτρολογικοί περιορισμοί</b> .....	53
3.4.1.3 Έλεγχος ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών.....	54
3.4.2 Το δορυφορικό σύστημα - Ασύγχρονη πρόσβαση διάδοσης φάσματος στο Δορυφόρο .....	54
3.4.3 Η Δορυφορική Κεραία μικρής ακτινοβολίας.....	55
3.4.4 Οι αποδόσεις της κεραίας.....	56
Επίλογος .....	56
<b>Κεφάλαιο 4 – Το μέλλον στις δορυφορικές επικοινωνίες</b> .....	57
Εισαγωγή .....	57
<b>4.1 Επισκόπηση του Laser Communications Relay Demonstration Project</b> .....	57
<b>4.2 Αξιοποιώντας το Lunar Laser Communication Demonstration της NASA</b> ...	59
<b>4.3 Το Flight Payload</b> .....	60
<b>4.4 Η μονάδα οπτικών επικοινωνιών πτήσης (Flight Optical Communications Module)</b> .....	61
<b>4.5 Flight Modems/ Μόντεμς πτήσης</b> .....	62
<b>4.6 Ηλεκτρονικά Υψηλής Ταχύτητας (High Speed Electronics)</b> .....	64
<b>4.7 Το επίγειο τμήμα</b> .....	64
Επίλογος .....	70
<b>Κεφάλαιο 5 – Εφαρμογές που βρίσκονται υπό υλοποίηση</b> .....	71
Εισαγωγή .....	71
<b>5.1 Το ZigBee στο διάστημα</b> .....	71
<b>5.2 Οπτικά δορυφορικά συστήματα</b> .....	74
<b>5.3 CoraSat</b> .....	75
Επίλογος .....	78
<b>Κεφάλαιο 6 – Σενάρια που φημολογούνται</b> .....	79
Εισαγωγή .....	79
6.1 Εφαρμογή των πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης στις δορυφορικές επικοινωνίες.....	79
6.2 Ενσωματωμένα σενάρια φSAT .....	82
Επίλογος .....	88
Συμπεράσματα.....	89

Όνοματολογία.....	91
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>92</b>



## Ευρετήριο Σχημάτων

<b>Εικόνα</b>	<b>Επεξήγηση εικόνας</b>
1.1	Δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών
1.2	Τμήματα δορυφορικού συστήματος
1.3	Ελλειπτική τροχιά δορυφόρου
1.4	Περιγραφή περιγείου
1.5	Κεκλιμένη τροχιά δορυφόρου
1.6	Κάλυψη σε σχεδόν το ήμισυ της επιφάνειας της γης από δορυφόρο
1.7	Παγκόσμια κάλυψη από σύγχρονο δορυφορικό σύστημα όπως φαίνεται από πάνω από το Βόρειο Πόλο
1.8	Κατηγορίες τροχιάς των δορυφόρων
1.9	DSCS δορυφόρος
1.10	Επιτυχής εκτόξευση δορυφόρου Τσανγκ-ε 2, ο δεύτερος κινεζικός δορυφόρος σχεδιασμένος να τεθεί σε τροχιά γύρω από το φεγγάρι
2.1	Σπούτνικ 1
2.2	Σπούτνικ 2
2.3	Echo 1
2.4	Echo 2
2.5	INTELSAT
3.1	Χάρτης κάλυψης του GLOBALSTAR
3.2	Οι δορυφόροι Eutelsat
3.3	KA-SAT δορυφόρος
3.4	Κάλυψη KA-SAT
3.5	SVC κωδικοποίηση που εφαρμόζεται σε δορυφόρους KA-SAT για νέες υπηρεσίες τηλεόρασης
3.6	Η δορυφορική κεραία χαμηλής ακτινοβολίας για τρένα υψηλής ταχύτητας
3.7	Αποδόσεις της κεραίας
3.8	Σχήμα της διασύνδεσης
4.1	Οπτική μονάδα σταθεροποίησης αδράνειας
4.2	OCTL
4.3	Σχηματικό του ολοκληρωμένου οπτικού συστήματος που βρίσκεται στο coude focus του OCTL
4.4	Ιδιωτικά όργανα ατμοσφαιρικής παρακολούθησης για το χαρακτηρισμό του οπτικού καναλιού
4.5	Lunar Lasercom Ground Terminal
5.1	VELOX-I πριν και μετά την εγκατάσταση
5.2	P-Sat μικροδορυφόρος
5.3	Δίκτυο επικοινωνίας μέσω γνωσιακής / έξυπνης ακτινοβολίας CR (Cognitive Radio)
6.1	Διάγραμμα πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης
6.2	Σενάριο υβριδικής μετάδοσης IPTV

# Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγικά

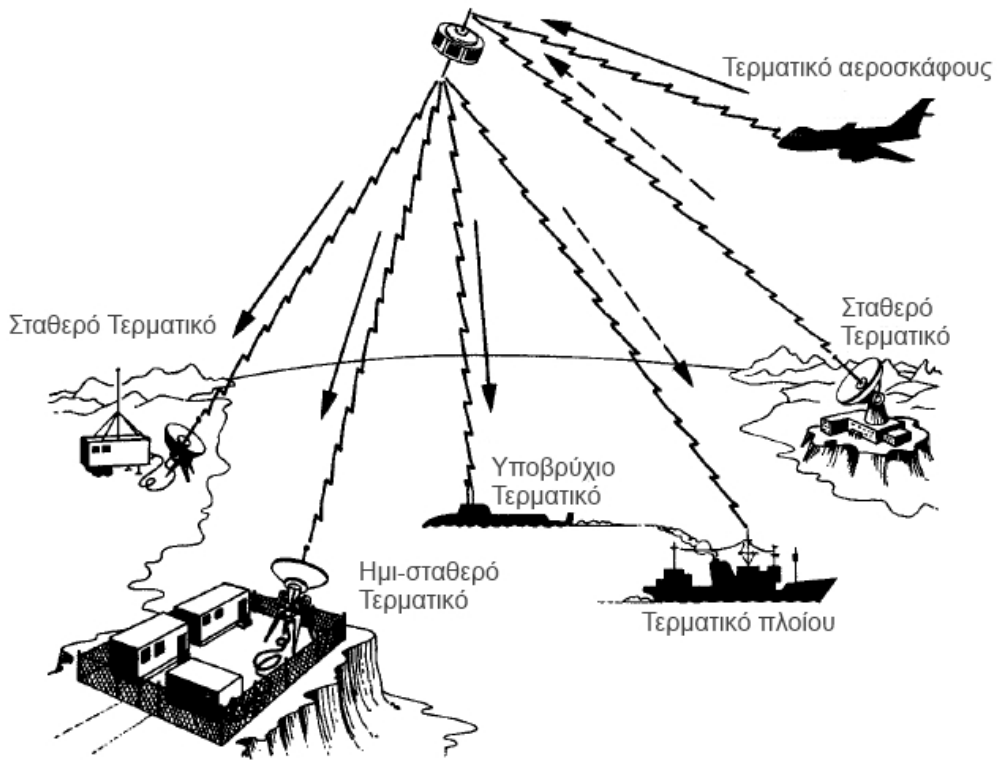
## Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξηγήσουμε κάποιες βασικές έννοιες σε σχέση με τους δορυφόρους με σκοπό την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων. Πιο συγκεκριμένα θα αναφέρουμε από τι αποτελείται ένα δορυφορικό σύστημα, τους ρόλους ενός δορυφόρου, τις κατηγορίες των τροχιών και τα είδη των δορυφόρων σε σχέση με τις τροχιές και το ύψος πτήσης. Τέλος, θα δούμε τον τρόπο και τις δυσκολίες που υπάρχουν για την εκτόξευση ενός δορυφόρου μέχρι να φτάσει την επιθυμητή τροχιά του.

### 1.1 Θεμελιώδη συστήματα επικοινωνιών μέσω δορυφόρου

Ένα σύστημα δορυφορικών επικοινωνιών χρησιμοποιεί δορυφόρους για την αναμετάδοση ραδιοεκπομπών μεταξύ των τερματικών επίγειων σταθμών. Υπάρχουν δυο βασικά είδη δορυφόρων, οι ενεργητικοί και οι παθητικοί. Ένας παθητικός δορυφόρος αντανακλά μόνο τα ραδιοσήματα που έχει λάβει πίσω στη γη. Ένας ενεργητικός δορυφόρος λειτουργεί ως επαναλήπτης, ενισχύει τα σήματα που λαμβάνονται και στη συνέχεια τα αναμεταδίδει πίσω στη γη.

Αυτό αυξάνει την αντοχή του σήματος στο τερματικό λήψεως σε ένα υψηλότερο επίπεδο από εκείνο που θα ήταν διαθέσιμο από έναν παθητικό δορυφόρο. Ένας σταθμός μεταδίδει στον δορυφόρο σε μια συχνότητα που ονομάζεται συχνότητα ανερχόμενης ζεύξης. Ο δορυφόρος έπειτα ενισχύει το σήμα, το μετατρέπει σε συχνότητα DOWN-LINK και το μεταδίδει πίσω στη γη. Το σήμα είναι επόμενο να διαβαστεί από τον τερματικό σταθμό λήψης. Η εικόνα 1.1 που ακολουθεί, δείχνει ένα δορυφόρο χειρισμού διαφόρων συνδυασμών συνδέσεων ταυτόχρονα.



Εικόνα 1.1 Δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών

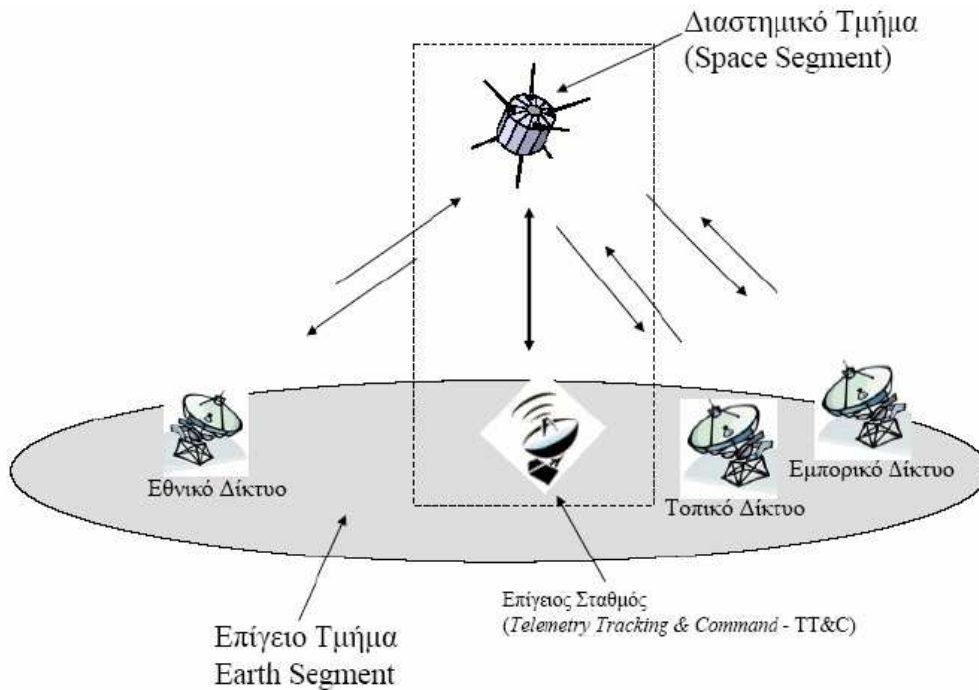
## 1.2 Περιγραφή του συστήματος επικοινωνιών μέσω δορυφόρου

Ο βασικός σχεδιασμός ενός συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της τροχιάς του δορυφόρου. Σε γενικές γραμμές, μια τροχιά μπορεί να είναι είτε ελλειπτική ή κυκλική σε σχήμα. Ένας ειδικός τύπος τροχιάς είναι μια σύγχρονη (SYNCHRONOUS ORBIT) τροχιά. Σε αυτόν τον τύπο βρίσκουμε την περίοδο (χρόνος που απαιτείται για μια περιστροφή) της τροχιάς ίδια με εκείνη της γης. Μια τροχιά που δεν είναι σύγχρονη ονομάζεται ασύγχρονη.

Εκτός από τις θεμελιώδεις συνιστώσες που φαίνονται στην εικόνα 1.1, ο σχεδιασμός του συνολικού συστήματος καθορίζει την πολυπλοκότητα των διαφόρων συστατικών και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα.

### 1.3 Βασικό Δορυφορικό σύστημα

Ένα δορυφορικό σύστημα αποτελείται από το Διαστημικό και το Επίγειο τμήμα, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 1.2



Εικόνα 1.2 Τμήματα δορυφορικού συστήματος

Το διαστημικό τμήμα περιέχει το δορυφόρο και όλες τις επίγειες εγκαταστάσεις για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του δορυφόρου. Εδώ περιλαμβάνονται οι σταθμοί παρακολούθησης, τηλεμετρίας και ελέγχου (tracking, telemetry & command stations, TT&C), όπου εκτελούνται όλοι οι χειρισμοί συντήρησης και ελέγχου των ζωτικών λειτουργιών του δορυφόρου.

Ο δορυφόρος έχει διπλό ρόλο:

1) Να ενισχύει τα λαμβανόμενα σήματα για να επανεκπεμφθούν στο downlink. Η ισχύς του φέροντος κύματος στην είσοδο του δέκτη του δορυφόρου είναι της τάξης από 100  $\mu$ w μέχρι 1nW, ενώ η ισχύς στην έξοδο του ενισχυτή εκπομπής είναι της τάξης από 10 μέχρι 100 W. Έτσι, η απολαβή ισχύος είναι της τάξεως από 100 έως 130 dB.

2) Να αλλάζει τη συχνότητα του φέροντος , ώστε να αποφεύγεται η επανεισαγωγή ενός κλάσματος της εκπεμπόμενης ισχύος στο δέκτη. Η ικανότητα απόρριψης των φίλτρων εισόδου στη συχνότητα του downlink συνδυάζεται με τις μικρές απολαβές των κεραιών μεταξύ εξόδου του πομπού και εισόδου του δέκτη, για να εξασφαλισθεί απομόνωση της τάξης των 150 dB.

Για να φέρει εις πέρας την αποστολή του, ο δορυφόρος μπορεί να λειτουργεί και σαν ένας απλός αναμεταδότης. Η αλλαγή στη συχνότητα επιτυγχάνεται μέσω ενός μετατροπέα συχνότητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μιλάμε για διαφανείς δορυφόρους (transparent satellites). Μια άλλη γενιά δορυφόρων (που ξεκίνησε με τον ACTS και τον ITALSAT) βρίσκεται σε εξέλιξη. Αυτοί ονομάζονται αναγεννητικοί (regenerative) και είναι εξοπλισμένοι με αποδιαμορφωτές. Άρα, τα σήματα βάσης (baseband signals) είναι διαθέσιμα πάνω στο δορυφόρο. Η μεταβολή στη συχνότητα επιτυγχάνεται διαμορφώνοντας ένα νέο φέρον κύμα για το downlink . Η διπλή λειτουργία της διαμόρφωσης αποδιαμόρφωσης μπορεί να συνοδεύεται από επεξεργασία του σήματος βάσης με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας.

Το επίγειο τμήμα ενός δορυφορικού συστήματος επικοινωνιών αποτελείται από όλους τους επίγειους σταθμούς. Οι σταθμοί διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθός τους , το οποίο ποικίλει σε αναλογία με τον όγκο πληροφοριών που πρόκειται να μεταφέρει η ζεύξη μέσω δορυφόρου και σε αναλογία με τον τύπο της πληροφορίας (π.χ. τηλεφωνικές συνδέσεις, τηλεόραση ή δεδομένα). Οι μεγαλύτεροι σταθμοί έχουν κεραιές διαμέτρου 30m ενώ οι μικρότεροι είναι εξοπλισμένοι με κεραιές διαμέτρου 0.6m ή και μικρότερες. Επιπλέον, μερικοί σταθμοί μπορούν να κάνουν και εκπομπή και λήψη δεδομένων ενώ άλλοι είναι αποκλειστικά για λήψη.

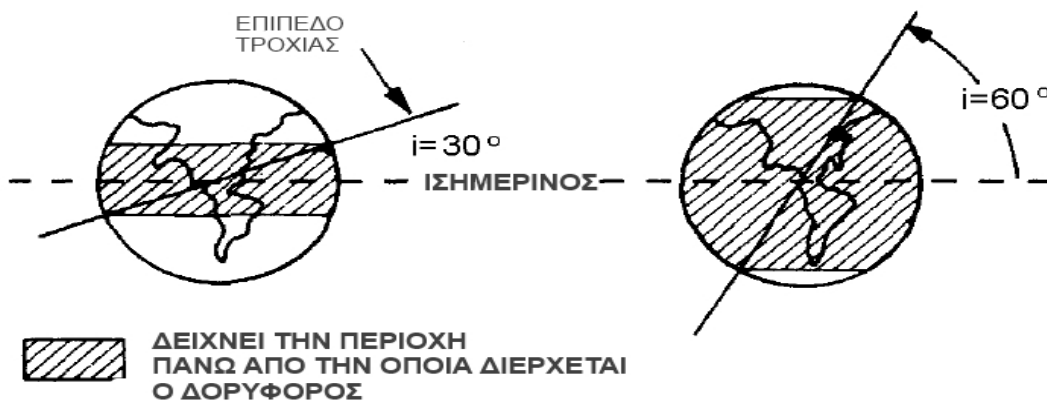
#### 1.4 Περιγραφή της τροχιάς

Οι τροχιές γενικά περιγράφονται σύμφωνα με τη φυσική μορφή της τροχιάς και τη γωνία κλίσεως του επιπέδου της. Τα χαρακτηριστικά που ορίζουν την τροχιά ενός δορυφόρου είναι το σχήμα, το ύψος και η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου της τροχιάς και του επιπέδου του ισημερινού της Γης. Ανάλογα με τη φύση του δορυφόρου ή το είδος της αποστολής επιλέγουμε αντίστοιχα και την τροχιά. Μερικοί δορυφόροι έχουν πολύ ελλειπτικές τροχιές αλλά οι περισσότεροι δορυφόροι έχουν κυκλική τροχιά, (στην πραγματικότητα είναι και αυτές ελλειπτικές αλλά επειδή έχουν πολύ μικρή εκκεντρότητα:  $e \rightarrow 0$  τις θεωρούμε κυκλικές). Οι δορυφόροι πετούν πάνω από διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη ανάλογα την γωνία ως προς το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Μερικοί δορυφόροι κινούνται δεξιόστροφα γύρω από τη Γη αλλά οι περισσότεροι κινούνται αριστερόστροφα

(αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού). Οι εν λόγω όροι συζητούνται στις παραγράφους που ακολουθούν:

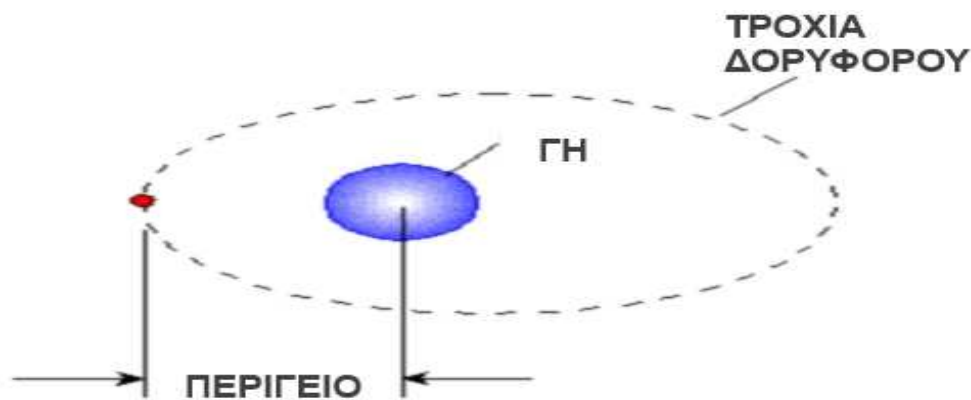
Φυσικό σχήμα: Όλοι οι δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη γη ακολουθούν ελλειπτική τροχιά (ένας κύκλος είναι μια ειδική περίπτωση μιας έλλειψης).

Το σχήμα της τροχιάς καθορίζεται από τις αρχικές παραμέτρους εκτόξευσης και τη μεταγενέστερη ανάπτυξη τεχνικών που χρησιμοποιούνται. Το περίγειο (perigee) και το απόγειο (apogee) αποτελούν δύο από τις τρεις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα δεδομένα τροχιάς ενός δορυφόρου. Αυτά φαίνονται στην εικόνα 1.3 που ακολουθεί:



Εικόνα 1.3 Ελλειπτική τροχιά δορυφόρου

Περίγειο είναι το πλησιέστερο σημείο της τροχιάς προς το κέντρο της γης. Μετράται μεταξύ του δορυφόρου και της επιφάνειας της γης, αν και αυτό είναι μια λιγότερο ακριβής περιγραφή, επειδή η γη δεν είναι μια τέλεια σφαίρα. Η διαφορά είναι περίπου 4000 μίλια ή 6400 χιλιόμετρα).



Εικόνα 1.4 Περιγραφή περιγείου

Στο περίγειο, ένας δορυφόρος ταξιδεύει πιο γρήγορα από ό, τι σε οποιοδήποτε άλλο σημείο της τροχιάς του. Όταν παρατηρείται από την επιφάνεια της γης, ένας δορυφόρος σε ή κοντά σε περίγειο, λαμβάνει μικρό χρονικό διάστημα για να διασχίσει τον ουρανό. Στις επικοινωνίες, περίγειο είναι η λιγότερο επιθυμητή στιγμή για να αποκτηθεί πρόσβαση σε ένα δορυφόρο. Μολονότι η εγγύτητά του σημαίνει ότι η διαδρομή του σήματος είναι η μικρότερη, το γεγονός ότι ο δορυφόρος κινείται ταχύτατα σημαίνει ότι είναι προσβάσιμος μόνο για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

Επιπλέον, εάν μια κατευθυντική κεραία χρησιμοποιείται σε ένα σταθμό εδάφους, είναι δύσκολο να εντοπίσουμε το δορυφόρο, επειδή η θέση της κεραίας (αζιμούθιο και ανύψωση) πρέπει να είναι διαρκώς και ταχέως προσαρμοσμένα. Σε έναν γεωστατικό δορυφόρο, υπάρχει το πλεονέκτημα ότι ακολουθεί μια κυκλική τροχιά, έτσι ώστε η τροχιακή ταχύτητα να είναι σταθερή.

Επιπλέον, ο συγχρονισμός του δορυφόρου με την τροχιά της Γης σημαίνει ότι η κεραία του επίγειου σταθμού-βάση μπορεί να σημειωθεί σε ένα σταθερό σημείο στον ουρανό, και δεν χρειάζεται περαιτέρω προσαρμογή του προσανατολισμού της κεραίας .

Απόγειο (apogee) είναι το σημείο στην τροχιά με τη μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της γης. Στο απόγειο, ένας δορυφόρος ταξιδεύει πιο αργά από ό, τι σε οποιοδήποτε άλλο σημείο της τροχιάς του. Όταν παρατηρείται από την επιφάνεια της γης, ένας δορυφόρος σε ή κοντά σε απόγειο λαμβάνει μεγάλο χρονικό διάστημα για να διασχίσει τον ουρανό. Στις επικοινωνίες, απόγειο είναι η καλύτερη στιγμή για να αποκτηθεί πρόσβαση σε ένα δορυφόρο. Μολονότι η απόστασή του σημαίνει ότι η διαδρομή του σήματος είναι μεγάλη, το γεγονός ότι ο δορυφόρος κινείται αργά σημαίνει ότι είναι προσβάσιμος για περισσότερο χρονικό διάστημα. Και οι δυο αποστάσεις εκφράζονται σε ναυτικά μίλια.

Γωνία κλίσης- Η γωνία κλίσης (γωνία μεταξύ του ισημερινού επιπέδου της γης και του τροχιακού επιπέδου του δορυφόρου) είναι η τρίτη παράμετρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε τα στοιχεία τροχιάς ενός δορυφόρου. Η εικόνα 1.5 απεικονίζει τη γωνία κλίσης μεταξύ του ισημερινού επιπέδου και του τροχιακού επιπέδου. Οι περισσότεροι δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη σε τροχιακά επίπεδα που δεν συμπίπτουν με το επίπεδο του ισημερινού της γης. Ένας δορυφόρος που βρίσκεται σε τροχιά σε οποιοδήποτε επίπεδο που δεν είναι πανομοιότυπο του επιπέδου του ισημερινού, βρίσκεται σε μια κεκλιμένη τροχιά.



Εικόνα 1.5 Κεκλιμένη τροχιά δορυφόρου

Η κλίση της τροχιάς καθορίζει την περιοχή που καλύπτεται από τη διαδρομή του δορυφόρου. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.3, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερο είναι και το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται από ένα δορυφόρο.

### ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

Ένας δορυφόρος που βρίσκεται σε τροχιά σε επίπεδο που συμπίπτει με το επίπεδο του ισημερινού της γης είναι σε μία τροχιά ΙΣΗΜΕΡΙΝΗ<sup>1</sup> (EQUATORIAL ORBIT). Ένας δορυφόρος σε κεκλιμένη τροχιά με γωνία κλίσης  $90^\circ$  ή κοντά στις  $90^\circ$  λέμε πως είναι σε μια πολική τροχιά.

### ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

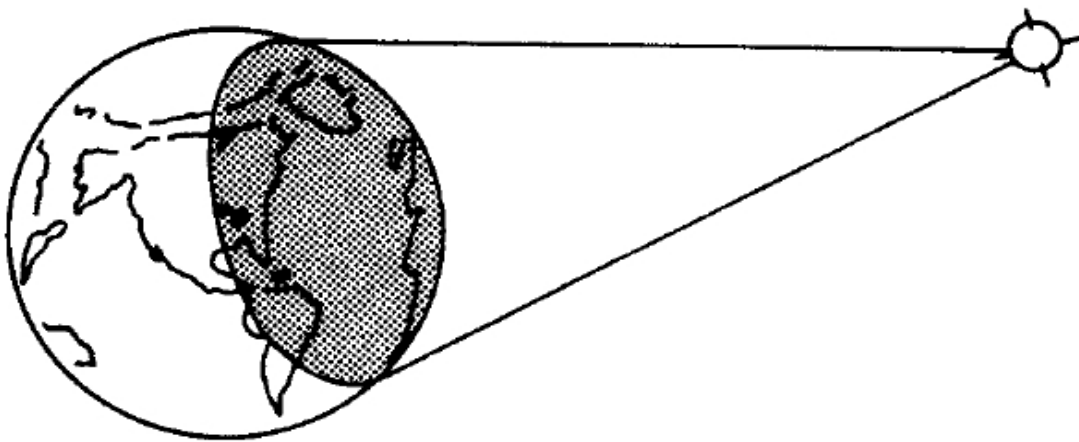
Αναφέραμε προηγουμένως ότι μια κυκλική τροχιά είναι ένας ειδικός τύπος ελλειπτικής τροχιάς. Θα πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι μια κυκλική τροχιά είναι εκείνη κατά την οποία οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες αποστάσεις από τον άξονα είναι ίσες ή προσεγγιστικά ίσες. Για την περιγραφή της κυκλικής τροχιάς, αντί για το περίγειο και το απόγειο χρησιμοποιείται το μέσο ύψος πάνω από τη γη. Καθώς συζητάμε για κυκλικές τροχιές, θα πρέπει να εξετάσουμε κάποιους όρους.

<sup>1</sup> Κλίση 0 μοιρών σημαίνει ότι ο δορυφόρος περιφέρεται πάνω στο ισημερινό επίπεδο του πλανήτη (ισημερινή τροχιά) και κατά τη φορά περιστροφής του ίδιου του πλανήτη



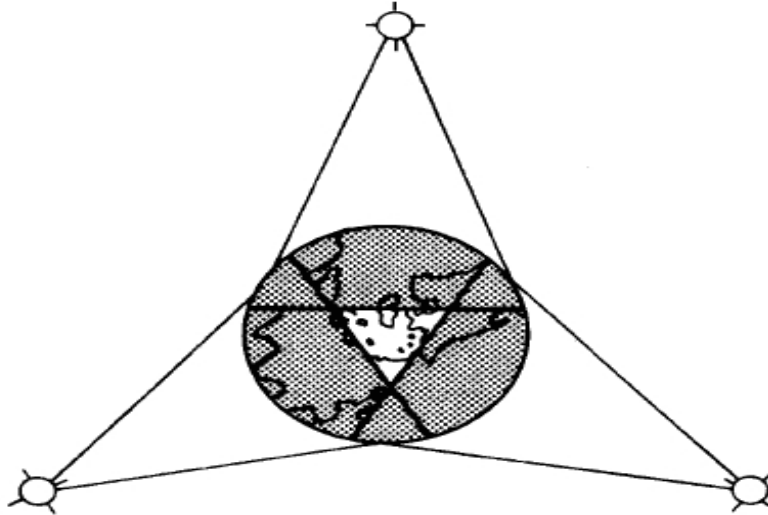
Ένας δορυφόρος τοποθετημένος σε κυκλική τροχιά και σε ύψος περίπου 19.300 ναυτικά μίλια πάνω από τη γη είναι σε μια σύγχρονη τροχιά.

Σε αυτό το υψόμετρο η περίοδος περιστροφής του δορυφόρου είναι 24 ώρες, (ίδια με την περίοδο περιστροφής της γης). Με άλλα λόγια, η τροχιά του δορυφόρου είναι σε συγχρονισμό με την περιστροφική κίνηση της γης. Μολονότι οι κεκλιμένες και οι πολικές συγχρονισμένες τροχιές είναι εφικτές, ο όρος σύγχρονη συνήθως αναφέρεται σε μια σύγχρονη ισημερινή τροχιά. Σε αυτού του είδους την τροχιά οι δορυφόροι φαίνονται να αιωρούνται ακίνητοι στον ουρανό. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε πώς ένας από αυτούς τους δορυφόρους μπορεί να παρέχει κάλυψη σε σχεδόν το ήμισυ της επιφάνειας της γης.



Εικόνα 1.6 Κάλυψη σε σχεδόν το ήμισυ της επιφάνειας της γης από δορυφόρο

Τρεις από αυτούς τους δορυφόρους μπορούν να παρέχουν κάλυψη στο μεγαλύτερο μέρος της γης (εκτός από τις ακραίες βόρειες και νότιες περιοχές). Μια πολική προβολή της παγκόσμιας κάλυψης των τριών δορυφόρων του συστήματος φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 1.7 Παγκόσμια κάλυψη από σύγχρονο δορυφορικό σύστημα όπως φαίνεται από πάνω από το Βόρειο Πόλο

Ένας δορυφόρος σε κυκλική τροχιά σε περισσότερα από 19.300 ναυτικά μίλια πάνω από τη γη είναι σε μια σχεδόν σύγχρονη τροχιά. Εάν η τροχιά είναι μικρότερη από 19.300 ναυτικά μίλια, η περίοδος της τροχιάς του δορυφόρου είναι μικρότερη από την περίοδο τροχιάς της γης. Τότε ο δορυφόρος φαίνεται να κινείται αργά γύρω από τη γη από τα δυτικά προς τα ανατολικά. (Αυτό το είδος της τροχιάς ονομάζεται επίσης subsynchronous.).

Αν η τροχιά είναι μεγαλύτερη από 19,300 ναυτικά μίλια, η περίοδος της τροχιάς του δορυφόρου είναι μεγαλύτερη από την περίοδο της τροχιάς της γης. Ο δορυφόρος, τότε φαίνεται να κινείται αργά γύρω από τη Γη από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Ένας δορυφόρος σε μια κυκλική τροχιά από περίπου 2.000 μίλια σε 12.000 μίλια πάνω από τη γη θεωρείται ότι είναι σε τροχιά μεσαίου υψομέτρου. Η περίοδος ενός δορυφόρου μεσαίου υψομέτρου είναι σημαντικά μικρότερη από εκείνη της γης. Αν κοιτάξει κανείς σε αυτόν τον δορυφόρο, φαίνεται να μετακινείται μάλλον γρήγορα κατά μήκος του ουρανού από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Παρακάτω περιγράφονται οι διάφορες κατηγορίες τροχιάς δορυφόρων:

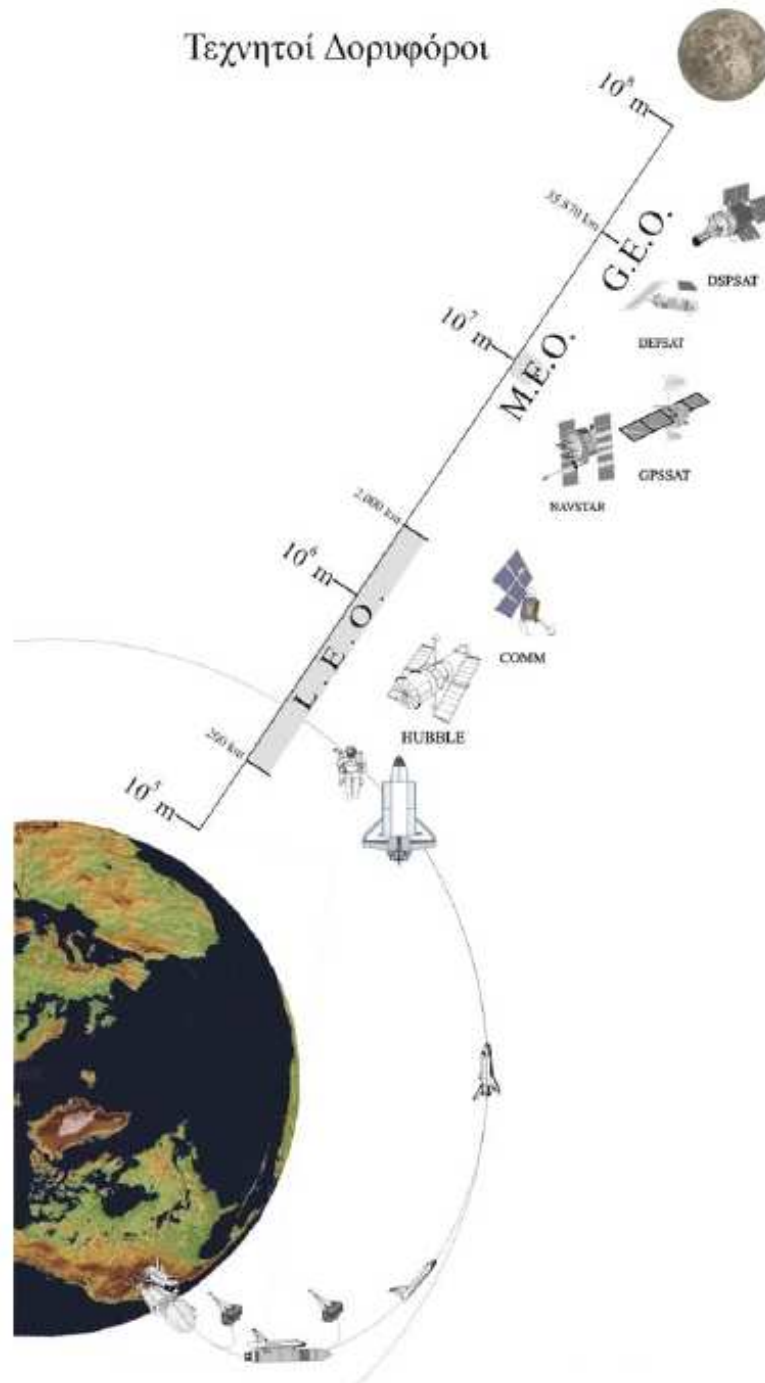
Γεωστατική (γεωσύγχρονη-ισημερινή “GEO”) τροχιά έχουν οι δορυφόροι που κινούνται γύρω από τον ισημερινό σε συγκεκριμένο ύψος των 35.870 km. Έχουν περίοδο περιφοράς 24 ώρες και για αυτό το λόγο εμφανίζονται ακίνητοι στον ουρανό πάνω από τον ισημερινό (γεωστάσιμοι). Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούν γεωσύγχρονες τροχιές είναι κυρίως τηλεπικοινωνιακοί στρατιωτικοί και μετεωρολογικοί.

Χαμηλές τροχιές (Low Earth Orbit) έχουν οι δορυφόροι που κινούνται σε μικρό σχετικά ύψος έως τα 2.000 km. Σχεδόν όλοι οι δορυφόροι αποκτούν τέτοια τροχιά μετά την εκτόξευση. Στην περίπτωση που θέλουμε υψηλότερη τροχιά τότε λειτουργεί πύραυλος που θα μεταφέρει τον δορυφόρο στον τελικό προορισμό. Αυτές οι τροχιές ελαχιστοποιούν το κόστος της αποστολής ενώ παράλληλα αποφεύγονται οι ζώνες ακτινοβολίας Van Allen με τα επιβλαβή σωματίδια υψηλών ενεργειών. Εκεί βρίσκονται δορυφόροι που μεταφέρουν δεδομένα (data), κατασκοπευτικοί δορυφόροι, μετεωρολογικοί, επιστημονικοί κ.α.

Μεσαίες τροχιές (Medium Earth Orbit) έχουν οι δορυφόροι που κινούνται σε ύψος γύρω στα 10.000 km περίπου και συνδυάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των άλλων δορυφόρων (L.E.O. και G.E.O.) Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούν τέτοιες τροχιές είναι κατά κύριο λόγο τηλεπικοινωνιακοί και δορυφόροι ναυτιλίας (όπως τα δύο μεγάλα δίκτυα με τα ονόματα GPS(USA) και GLONASS (RUSSIAN)).

Πολικές τροχιές (Polar Orbits) έχουν οι δορυφόροι που κινούνται μεταξύ των δύο πόλων της Γης και το επίπεδο της τροχιάς τους παρουσιάζει μεγάλη κλίση ως προς το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Οι περισσότεροι δορυφόροι με πολική τροχιά απαντώνται σε χαμηλές τροχιές L.E.O.. Πολικές τροχιές έχουν όλοι οι επιστημονικοί δορυφόροι όπως αυτοί που μας δείχνουν τα επίπεδα του όζοντος, την κατάσταση των δασών και τις καλλιέργειες. Επίσης πολικές τροχιές έχουν ορισμένοι μετεωρολογικοί αλλά και στρατιωτικοί δορυφόροι που μας δίνουν εικόνα της κίνησης των υποβρυχίων στους πόλους.

Ηλιοσύγχρονες τροχιές (Sun-Synchronous) έχουν οι δορυφόροι που συγχρονίζονται κατά κάποιο τρόπο με την κίνηση του Ήλιου στον ουρανό. Αυτοί έχουν ανάδρομη φορά (προς δυσμάς) και ακριβέστερα κινούνται σε επίπεδο που τέμνει τον ισημερινό στις 98° περίπου (οι τροχιές μοιάζουν περισσότερο με τις πολικές τροχιές). Αυτοί οι δορυφόροι διασχίζουν το γεωγραφικό πλάτος της Γης κατά 1° ανατολικότερα κάθε ημέρα. Σαρώνεται με αυτό τον τρόπο όλη η επιφάνεια της Γης μέσα σε ένα χρόνο ενώ συνάμα εκμεταλλευόμαστε το κάθετο προσπίπτων φως του Ήλιου που μεταφράζεται σε ευκρινέστερες εικόνες των περιοχών της Γης.



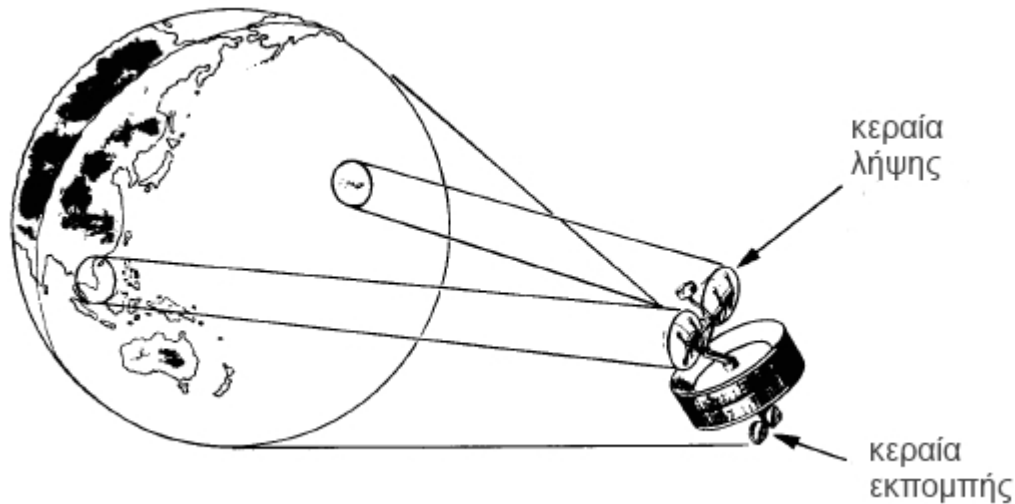
Εικόνα 1.8 Κατηγορίες τροχιάς των δορυφόρων

### 1.5 Τα είδη των δορυφόρων

Οι πρώιμοι δορυφόροι επικοινωνιών περιορίζονταν σε μέγεθος στη διάμετρο του τελικού σταδίου του πυραύλου που χρησιμοποιούνταν για την έναρξη. Το βάρος τους προσδιορίστηκε από την ώθηση των πυραυλοκινητήρων και το μέγιστο βάρος που ο πύραυλος θα μπορούσε να σηκώσει σε τροχιά. Ήδη από τον Ιούνιο

του 1960, δύο δορυφόροι τοποθετήθηκαν με επιτυχία σε τροχιά από το ίδιο όχημα εκτόξευσης. Με την ανάπτυξη πολλαπλών δυνατοτήτων εκτόξευσης, επιπρόσθετη ευελιξία έγινε διαθέσιμη έχοντας πλέον επιλογές βάσει του μεγέθους, του βάρους και του αριθμού των δορυφόρων που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε κάθε εκτόξευση.

Χρησιμοποιώντας τις πολλαπλές δυνατότητες εκτόξευσης το Σύστημα Άμυνας Δορυφορικών Επικοινωνιών Defense Satellite Communications System (DSCS) έχει τοποθετήσει μεγαλύτερους και βαρύτερους δορυφόρους στη σύγχρονη ισημερινή τροχιά. Η εικόνα που ακολουθεί είναι ένα σχέδιο ενός DSCS δορυφόρου.



Εικόνα 1.9 DSCS δορυφόρος

Δείχνει κάθε ζεύγος κεραιών εκπομπής και λήψης. Όπως παρατηρούμε μια μεγάλη περιοχή της γης μπορεί να καλυφθεί χρησιμοποιώντας μόνο ένα δορυφόρο.

Σήμερα χρησιμοποιούμε εκατοντάδες δορυφόρους στις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, στην άμυνα, στη ναυσιπλοΐα, στην πρόγνωση του καιρού, στις αγροτικές χωρομετρήσεις, στις δασικές χωρογραφήσεις κ.α.

Οι σημαντικότερες κατηγορίες των δορυφόρων είναι:

**Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι**, που διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κ.λπ. Σε παγκόσμιο επίπεδο κυριαρχούν δύο οργανισμοί, στη δικαιοδοσία των οποίων περιλαμβάνονται η κατασκευή, η λειτουργία και η δημιουργία δικτύου δορυφόρων: ο Intelsat (Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων) και ο Inmarsat

(Διεθνής Οργανισμός Δορυφόρων Θαλάσσιας Τηλεπικοινωνίας). Σε αυτούς συμμετέχει και η Ελλάδα, που ωστόσο εξυπηρετεί ένα μικρό ποσοστό των τηλεπικοινωνιών της μέσω δορυφόρων. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο λειτουργεί από το 1983 ο Eutelsat (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων). Τα κράτη-μέλη των τριών αυτών οργανισμών συναντούσαν, έως τα τέλη της δεκαετίας του 1980, περιορισμούς ως προς τη χρήση των δορυφόρων -μετά από μίσθωση- όσο και των επίγειων σταθμών μετάδοσης. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όμως, που προσφέρουν εναλλακτικά των δορυφόρων τηλεπικοινωνιακά μέσα, φθηνότερα και υψηλότερης ποιότητας (π.χ. οπτικές ίνες), καθώς και ο διεθνής ανταγωνισμός οδηγούν από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 τη δορυφορική τηλεπικοινωνία σε μια φάση σταδιακής απελευθέρωσης (άρση περιορισμών κ.λπ.). Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι της δεκαετίας αυτής είναι εξοπλισμένοι με βελτιωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και δυνατότητα διεκπεραίωσης όλων των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Οι δορυφόροι Intelsat μεταδίδουν ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά προγράμματα και διεκπεραιώνουν μεγάλο ποσοστό της διεθνούς τηλεφωνίας (συνδιαλέξεις, τέλεξ, τέλεφαξ, μετάδοση δεδομένων κ.λπ.). Το 1994 λειτουργούσαν συνολικά 19 δορυφόροι Intelsat, με τους οποίους βρίσκονται σε επαφή 2.700 επίγειοι σταθμοί. Οι δορυφόροι Inmarsat εξυπηρετούν κινητούς σταθμούς (πλοία, αεροπλάνα) παρέχοντας, επίσης, υπηρεσίες τηλεφωνίας. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι τοποθετούνται γενικά σε γεωστατική τροχιά, δηλαδή σε απόσταση 36.000 χλμ. από τη Γη, στο επίπεδο του ισημερινού.

**Οι δορυφόροι πλοήγησης**, που αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία. Το σύστημα αυτό, που είναι ταχύτερο και ακριβέστερο από τα άλλα συστήματα πλοήγησης, έχει εφαρμοστεί και για τον προσανατολισμό και τον καθορισμό της πορείας αυτοκινήτων (επιβατικών και φορτηγών). Σε παγκόσμιο επίπεδο η πλοήγηση μέσω δορυφόρων διεξάγεται από τους δορυφόρους του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning System) των ΗΠΑ, που έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίζουν τη θέση πλοίων και αεροπλάνων σε οποιοδήποτε σημείο της Γης όλο το 24ωρο. Περισσότεροι από ένας δορυφόροι μεταδίδουν στο όχημα σήματα, οι χρόνοι λήψης των οποίων συγκρίνονται και με υπολογισμούς προσδιορίζεται άμεσα η θέση του οχήματος. Το έτος 1994 βρίσκονται σε τροχιά 24 δορυφόροι του συστήματος αυτού, σε απόσταση 20.200 χλμ. από τη Γη. Ανάλογο σύστημα, με την ονομασία Glonass (Global Navigation Satellite System), είχε αρχίσει να αναπτύσσεται από την πρώην Σοβιετική Ένωση για στρατιωτικούς σκοπούς, το οποίο συνεχίζεται από τη Ρωσία και άλλα κράτη της Κοινοπολιτείας Ανεξαρτήτων Κρατών, για εμπορικούς πλέον σκοπούς. Το 1994 είχαν τοποθετηθεί σε τροχιά 18 από τους 24 συνολικά δορυφόρους του προγράμματος. Για τα αυτοκίνητα το σύστημα έχει εφαρμοστεί πειραματικά σε συνδυασμό με

ενσωματωμένο στο αυτοκίνητο ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικά όργανα μετρήσεων και αισθητήρες.

**Οι δορυφόροι γεωλογικών ερευνών**, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων. Προς την κατεύθυνση αυτή σημαντική είναι και πάλι η συμβολή των δορυφόρων του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού, που συνδέονται με επίγειους σταθμούς και εντοπίζουν τις μικρομετατοπίσεις των τμημάτων του φλοιού της γης. Τα στοιχεία που μεταδίδουν χρησιμοποιούνται για τη σαφή διάκριση κύριων και δευτερευουσών σεισμογενών ζωνών, ενώ θεωρείται ότι θα βοηθήσουν μελλοντικά στην πρόβλεψη των σεισμών. Από το 1994 η Ελλάδα συμμετέχει μέσω του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Αθηνών στο πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Δορυφορική Μετάδοση Σεισμολογικών Δεδομένων κατά μήκος της Μεσογείου", στο οποίο συμμετέχουν και ανάλογα ιδρύματα άλλων μεσογειακών χωρών. Ο δορυφόρος Αργώ, που βρίσκεται ήδη σε τροχιά, θα συνδέεται με 20 επίγειους σεισμολογικούς σταθμούς και θα έχει ως βασική αποστολή: α) την παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας στις εστίες της νότιας Ευρώπης και την έγκαιρη αντιμετώπιση σεισμικών εξάρσεων, β) τη χαρτογράφηση του φλοιού της γης σε όλη τη Μεσόγειο, τον εντοπισμό ζωνών υψηλής ή χαμηλής απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας και την πορεία των λεγόμενων σεισμικών ακτίνων, και γ) την παρακολούθηση της εξέλιξης σεισμικών φαινομένων και την καταγραφή τους για τη δημιουργία βάσης σεισμολογικών δεδομένων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Επόμενος στόχος του προγράμματος είναι η χρησιμοποίηση των δεδομένων αυτών για έγκαιρη και ακριβή πρόβλεψη των σεισμών.

**Οι επιστημονικοί και ερευνητικοί δορυφόροι** που ερευνούν τον περιγήινο διαστημικό χώρο. Σημαντικοί δορυφόροι της κατηγορίας αυτής είναι:

- οι ISEE (Διεθνείς Δορυφόροι Εξερεύνησης Γης και Ήλιου) 1 και 2, που εκτοξεύτηκαν το 1977, και ο ISEE 3 το 1978, που εξερεύνησαν τη μαγνητόσφαιρα της Γης. Ο τελευταίος αργότερα μετονομάστηκε σε Διεθνή Εξερευνητή Κομητών (ICE) και μετακινήθηκε από την τροχιά του για να πλησιάσει το 1985 τον κομήτη Τζιακομπίνι-Ζίνερ και το 1986 τον κομήτη Χάλεϊ και να στείλει φωτογραφίες και στοιχεία στη Γη.

- ο Solar Max, που εκτοξεύτηκε το 1980, μετέδωσε στοιχεία για τις ηλιακές εκρήξεις και ήταν ο πρώτος δορυφόρος που επισκευάστηκε στο διάστημα το 1984.

- ο IRAS, δορυφόρος υπέρυθρης αστρονομίας, που εκτοξεύτηκε το 1983 και οι δορυφόροι EXOSAT και ROSAT για την παρατήρηση πηγών Ρέντγκεν στο διάστημα, που εκτοξεύτηκαν το 1983 και το 1990 αντίστοιχα.
- το Δορυφορικό Παρατηρητήριο Ακτίνων γ, που εκτοξεύτηκε το 1991.
- οι μετεωρολογικοί δορυφόροι, που τοποθετούνται είτε σε γεωστατική τροχιά (36.000 χλμ. πάνω από τον ισημερινό) είτε σε πολική τροχιά, σε ύψος μεταξύ 700-1.200 χλμ.

Οι δορυφόροι αυτοί παρέχουν εικόνες και στοιχεία σχετικά με τις παγκόσμιες και τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, παρακολουθώντας σχηματισμούς νεφών και μετρώντας τη θερμοκρασία και την εξάτμιση των υδάτων, και επιτρέπουν την έγκαιρη και όσο το δυνατόν ακριβέστερη πρόβλεψη του καιρού και την προειδοποίηση για απότομες καιρικές αλλαγές και φαινόμενα (τυφώνες κ.λπ.). Οι σημαντικότεροι μετεωρολογικοί δορυφόροι που έχουν χρησιμοποιηθεί μετά το 1970 είναι οι γεωστατικοί GOES των ΗΠΑ, METEOSAT (EUMETSAT) της Ευρώπης, GMS της Ιαπωνίας και INSAT της Ινδίας και οι πολικής τροχιάς METEOR της Ρωσίας και Tiros-N και NOAA των ΗΠΑ. Οι γεωστατικοί δορυφόροι μεταδίδουν κάθε μισή ώρα την εικόνα μιας συγκεκριμένης περιοχής ενώ οι πολικής τροχιάς που συνήθως λειτουργούν σε ζεύγη μπορούν να δώσουν στοιχεία για ολόκληρη τη Γη και την ατμόσφαιρά της. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι συντονίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας. Το πεδίο εφαρμογής των μετεωρολογικών δορυφόρων επικαλύπτεται κατά ένα μικρό μέρος από μια άλλη κατηγορία δορυφόρων, τους δορυφόρους περιβάλλοντος.

**Δορυφόροι περιβάλλοντος.** Δορυφόροι που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη. Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Οι δορυφόροι περιβάλλοντος της δεκαετίας του 1990 ανήκουν στην τρίτη γενιά των δορυφόρων της κατηγορίας αυτής, είναι εξελιγμένοι τεχνολογικά και έχουν δυνατότητα παρατήρησης όλο το 24ωρο. Είναι εξοπλισμένοι με όργανα υψηλής διακριτικής ικανότητας (ραδιόμετρα, μονάδα διερεύνησης με μικροκύματα, ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας, ανιχνευτές πρωτονίων και νετρονίων) και χαρτογραφούν όλα τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη βλάστηση, την επιφανειακή θερμοκρασία ποταμών, λιμνών και θαλασσών, τις περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις μετεωρολογικές μεταβολές και τα νέφη τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα, καθώς και την κατάσταση του όζοντος της στρατόσφαιρας. Τα στοιχεία που συλλέγουν



περνούν από επεξεργασία και μετατρέπονται σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Σ' αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα, για να απεικονιστούν οι διαφορές μεταξύ των περιοχών και οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει το κάθε υπό μέτρηση μέγεθος σ' αυτές. Οι δορυφόροι περιβάλλοντος, που τοποθετούνται συνήθως σε πολική τροχιά, αποτελούν ένα σημαντικό μέσο για την προστασία του περιβάλλοντος, την έγκαιρη αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, την πρόβλεψη μετεωρολογικών φαινομένων και την παρακολούθηση δασών και καλλιεργειών, ενώ η χρησιμοποίησή τους επεκτείνεται ακόμη και στη ναυσιπλοΐα. Οι σημαντικότεροι δορυφόροι της κατηγορίας αυτής είναι οι Nimbus, Landsat, POES (NOAA) και UARS των ΗΠΑ, Spot της Γαλλίας, ERS 1 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος, MOS 1 και JERS 1 της Ιαπωνίας κ.ά.

## 1.6 Εκτόξευση δορυφόρων

Η αποβολή ενός δορυφόρου αρχίζει πάντοτε με την εκτόξευση του με τον πύραυλο – φορέα. Οι πολλοί μικροί δορυφόροι και μάλιστα κατά τα πρώτα εγχειρήματα, εκτοξεύτηκαν με απλό πύραυλο, από εκείνους που ήδη χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς, όπως οι «Άτλας» και «Κένταυρος». Όταν οι απαιτήσεις έγιναν μεγαλύτερες, είτε γιατί το ύψος των τροχιών ήταν μεγαλύτερο είτε γιατί το βάρος ήταν πολύ μεγαλύτερο, τότε, άρχισαν να χρησιμοποιούνται συνδυασμένοι πύραυλοι στην αρχή και αργότερα οι πύραυλοι πολλών ορόφων, όπως αναφέρονται στην αρχή.

Επειδή η Γη περιφέρεται γύρω από τον άξονα της από Δυσμάς προς Ανατολάς, η εκτόξευση γίνεται πάντοτε κατά την ίδια κατεύθυνση με σκοπό να γίνει αντικείμενο εκμετάλλευσης και η ταχύτητα περιστροφής της Γης, η οποία στον ισημερινό είναι 465 m/sec, ενώ σε γεωγραφικό πλάτος 30° φτάνει τα 402 m/sec και σε πλάτος 45° τα 328 m/sec. Και βέβαια, το σημείο εκτόξευσης πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον Ισημερινό, ώστε να προστεθεί και η αντίστοιχη ταχύτητα της Γης, γιατί, αν και η αρχική διεύθυνση του πυραύλου είναι κατακόρυφη ως προς τον τόπο εκτόξευσης, η κίνηση του ως προς το κέντρο της Γης είναι σύνθετη, με μια συνιστώσα κατακόρυφη και μια οριζόντια, που είναι η κίνηση της Γης

Όταν ο πύραυλος φτάσει στο προϋπολογισμένο ύψος και με την προϋπολογισμένη ταχύτητα, παίρνει κλίση προς Ανατολάς και αρχίζει την κυκλική ελλειπτική τροχιά του. Τότε, με ειδικούς μικρούς πυραύλους, ο δορυφόρος αποχωρίζεται από τον τελευταίο όροφο του πυραύλου και αρχίζει την αποστολή του. Αν χρειάζεται διόρθωση ή οποιαδήποτε μεταβολή, η τροχιά του δορυφόρου, επιφέρεται με ειδικούς μικρούς πυραύλους που πυροδοτούνται με εντολές που δίνονται με ραδιοσήματα (εικόνα 1.10)



Εικόνα 1.10 Επιτυχής εκτόξευση δορυφόρου Τσανγκ-ε 2, ο δεύτερος κινεζικός δορυφόρος σχεδιασμένος να τεθεί σε τροχιά γύρω από το φεγγάρι

Όλες οι φάσεις της εκτόξευσης και όλα τα σχετικά στοιχεία έχουν προϋπολογιστεί και εξαρτώνται από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε κάθε αποστολή, όπως ο τύπος του πυραύλου – φορέα, ο τύπος του δορυφόρου, η αντοχή των οργάνων και των συσκευών τους στις μεγάλες επιταχύνσεις κτλ. Ειδικό ηλεκτρονικό υπολογιστές, εγκατεστημένοι στο κέντρο παρακολούθησης, συνδέονται με κεραιές εκπομπής και λήψης ραδιοσημάτων, ώστε να παρακολουθούν τον πύραυλο και το δορυφόρο σε κάθε στιγμή και να κάνουν αυτόματα τις απαιτούμενες διορθώσεις. Επιπλέον, ένα επιτελείο από ειδικούς επιστήμονες και τεχνικούς βρίσκεται σε επιφυλακή ώστε να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε απρόοπτη εξέλιξη που θα μπορούσε να παρουσιαστεί, παρά το λεπτομερέςτατο προγραμματισμό των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η δυσκολότερη φάση του εγχειρήματος είναι η τελική τοποθέτηση του δορυφόρου στην τροχιά του, η οποία διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα μόνο. Κατά τη διάρκειά της, συνήθως, προκύπτουν τόσα προβλήματα, ώστε για να διατυπωθούν και να λυθούν χρειάζονται 10 μαθηματικοί, οι οποίοι θα εργάζονται επί 10 χρόνια. Και όμως, με τα αυτόματα συστήματα και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, που χρησιμοποιούνται, όχι μόνο αναγνωρίζονται, διατυπώνονται και λύνονται τα προβλήματα αυτά, αλλά και οι λύσεις τους στέλνονται στο σκάφος και εφαρμόζονται σε λίγα μόλις δευτερόλεπτα. Είναι φανερό, ότι δε θα μπορούσε να γίνει εκτόξευση και επιτυχής τοποθέτηση σε τροχιά κανενός δορυφόρου, αν δεν

είχαν αναπτυχθεί τα αυτόματα συστήματα παρακολούθησης και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

## **Επίλογος**

Γνωρίζουμε πλέον τις βασικές έννοιες των δορυφορικών συστημάτων και είδαμε πώς με τη χρήση της τεχνολογίας και των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι εφικτό να τεθεί ένας δορυφόρος σε τροχιά. Για να εκτιμήσουμε τα δορυφορικά συστήματα του σήμερα, πρέπει να κάνουμε μια ιστορική αναδρομή στο παρελθόν τους. Αυτός είναι και ο σκοπός του επόμενου κεφαλαίου.

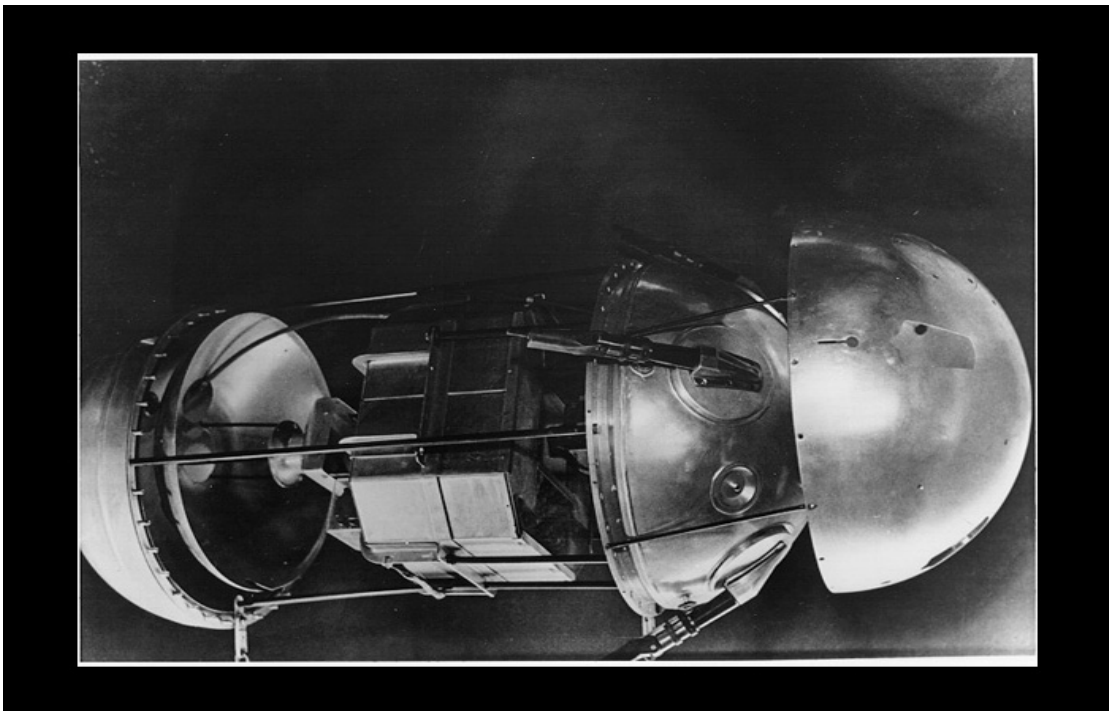
## Κεφάλαιο 2 – Το παρελθόν των δορυφορικών επικοινωνιών

### Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τα πιο σημαντικά γεγονότα του εικοστού αιώνα στον τομέα των δορυφόρων ξεκινώντας από τα κίνητρα που υπήρξαν για τη δημιουργία τους και εκτόξευσής τους. Στη συνέχεια θα δούμε τις απόπειρες των υπερδυνάμεων για την κατάκτηση της πρωτιάς καθώς επίσης και τα επιτεύγματα και τη χρησιμότητα των δορυφόρων στο πέρασμα του χρόνου.

### 2.1 Οι απόπειρες των Ρώσων

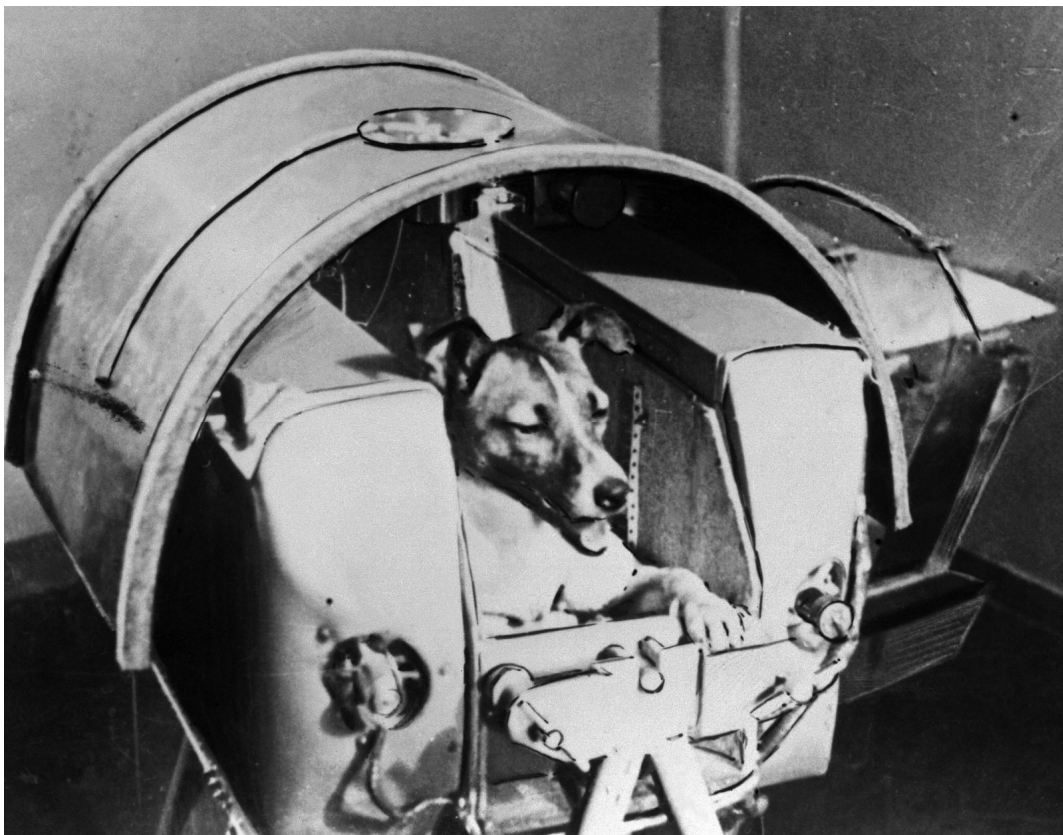
Οι δορυφορικές επικοινωνίες θεωρούνται το αποτέλεσμα της έρευνας στον τομέα των επικοινωνιών, με αντικειμενικό σκοπό την επίτευξη όλο και μεγαλύτερης εμβέλειας και χωρητικότητας (σε πληροφορίες), με το μικρότερο δυνατό κόστος. Η διαστημική εποχή ξεκίνησε το 1957 με την εκτόξευση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου *sputnik* (Εικόνα 2.1) ο οποίος μετέδιδε πληροφορίες τηλεμετρίας για 21 ημέρες.



Εικόνα 2.1 Σπούτνικ 1

Ο «Σπούτνικ 1» ήταν ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος Σοβιετικής κατασκευής που εκτοξεύθηκε στο διάστημα. Ο «Σπούτνικ 1» (στα Ρωσικά Σπούτνικ σημαίνει συνοδός, ενώ το επίσημο όνομά του ήταν Τεχνητός Δορυφόρος της Γης ή ISZ στα Ρώσικα), αποτελεί τον πρώτο μίας σειράς δορυφόρων με την επωνυμία «πρόγραμμα Σπούτνικ». Εκτοξεύθηκε στις 4 Οκτωβρίου του 1957 από το Κοσμοδρόμιο του Μπαϊκονούρ στο Καζακστάν με έναν πύραυλο R-7. Χαρακτηρίστηκε σημαντική επιτυχία για τη Σοβιετική Ένωση, η οποία αιφνιδίασε τις ΗΠΑ, και αποτέλεσε το πρώτο βήμα στον σκληρό «πόλεμο των άστρων» που έφερε αντιμέτωπες τις δύο τότε υπερδυνάμεις στο Διάστημα. Ο δορυφόρος ήταν ουσιαστικά ένα μεταλλικό σώμα σφαιρικού σχήματος, διαμέτρου 58 εκατοστών, κατασκευασμένο από αλουμίνιο βάρους περίπου 83 κιλών. Εκτός από την σημασία του ως «επιστημονική πρωτιά» ο «Σπούτνικ 1» συνέβαλε στην ανίχνευση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού στρώματος, μέσω της καταμέτρησης των αλλαγών στην τροχιά του δορυφόρου. Ο «Σπούτνικ 1» συνέχισε την τροχιά του γύρω από τη Γη για 92 ημέρες, μέχρι τις 3 Ιανουαρίου του 1958, όπου και κήκε κατά την είσοδό του στην ατμόσφαιρα έχοντας ολοκληρώσει 1.400 τροχιές γύρω από τη Γη και έχοντας καλύψει συνολική απόσταση 70 εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Ο Σπούτνικ 2 (εικόνα 2.2) ήταν το δεύτερο κατά σειρά διαστημικό σκάφος που εκτοξεύτηκε από την Σοβιετική Ένωση στις 3 Νοεμβρίου 1957 και τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη.



Εικόνα 2.2 Σπούτνικ 2

Είναι επίσης το πρώτο διαστημικό σκάφος που μετέφερε έναν ζωντανό οργανισμό στο διάστημα, τη σκυλίτσα Λάικα

Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί βλέπουμε εποπτικά τις ημερομηνίες που αποτέλεσαν σταθμό στην εξέλιξη των δορυφορικών επικοινωνιών.

Πίνακας 1.1

<b>Ιστορία</b>	
1945	Ο Arthur C. Clarke δημοσιεύει την εργασία "Extra Terrestrial Relays"
1956	Ανταλλαγή μηνυμάτων με ανάκλασή τους στη Σελήνη-Αμερικανικό Ναυτικό.
1958	Ανταλλαγή μηνυμάτων σε ολόκληρη την επικράτεια των Η.Π.Α. μέσω ανακλαστήρα σε αερόστατο.
1957	Ο πρώτος πραγματικός δορυφόρος-Sputnik, Ε.Σ.Σ.Δ.
1962	AT&T Telstar 1. Μπορεί να εξυπηρετεί 600 τηλεφωνικά κανάλια, ή 1 TV κανάλι.
1963	Telstar 2.
1982	Το πρώτο δορυφορικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, INMARSAT-A
1988	Το πρώτο δορυφορικό σύστημα για κινητή τηλεφωνία και μεταφορά δεδομένων, το INMARSAT- C
1993	Το πρώτο ψηφιακό δορυφορικό σύστημα τηλεφωνίας
1998	Iridium-Παγκόσμιας εμβέλειας δορυφορικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας.
1999	Globalstar-Δορυφορικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας.

## 2.2 Η απάντηση των Αμερικανών

Η επιτυχία του Σπούτνικ είχε σαν αποτέλεσμα οι Αμερικάνοι να επισπεύσουν τις ήδη σε εξέλιξη δικές τους προσπάθειες για την εκτόξευση του δικού τους δορυφόρου, κάτι που πέτυχαν στις 31 Ιανουαρίου του 1958 με τον Explorer 1.

Δεν αποτέλεσε ωστόσο την πρώτη απόπειρα για εκτόξευση δορυφόρου, καθώς είχε προηγηθεί μια αποτυχημένη προσπάθεια το Δεκέμβριο του 1957.

Ο δορυφόρος ήταν εξοπλισμένος με όργανα για παρατηρήσεις της ραδιενέργειας γύρω από τη Γη και δημιουργήθηκε υπό την εποπτεία του καθηγητή Τζέιμς βαν Άλεν (James A. Van Allen). Τα δεδομένα που πήρε τόσο ο Explorer 1 όσο και ο Explorer 3 (Μάρτιος του 1958) ήταν τα πρώτα επιστημονικά δεδομένα της εποχής

του Διαστήματος. Οι ραδιενεργές ζώνες γύρω από τη Γη είναι γνωστές ως ζώνες Van Allen.

Στα επόμενα χρόνια, έγιναν και άλλα πειράματα , περιλαμβανομένων των εξής:

- το Χριστουγεννιάτικο μήνυμα του Προέδρου Eisenhower που μεταδόθηκε από το δορυφόρο SCORE (1958)
- ο δορυφόρος – ανακλαστήρας ECHO (1960)
- εκπομπή με αποθήκευση και προώθηση (1960) από το δορυφόρο COURIER (ο COURIER ήταν ιδιαίτερα σημαντικός, διότι κατέγραφε ένα μήνυμα που θα μπορούσε να διαδραματιστεί ξανά αργότερα)
- ενεργοί δορυφόροι αναμετάδοσης (TELSTAR και RELAY 1962)
- και ο πρώτος γεωστατικός δορυφόρος SYNCOM (1963)

Η πρώτη αποστολή με πύραυλο δέλτα που μετέφερε τον δορυφόρο Έκο 1 στις 13 Μαΐου του 1960 απέτυχε, η δεύτερη προσπάθεια έθεσε τον Έκο 1A (ή απλά Έκο 1) επιτυχώς σε τροχιά στις 12 Αυγούστου του 1960. Το Έκο 1 ήταν παθητικός δορυφόρος επικοινωνιών, η επιφάνειά του αντανακλούσε τα σήματα χωρίς όμως να έχει ενεργούς πομπούς. Τέθηκε σε χαμηλή τροχιά της γης και για αυτό φαινόταν σαν λαμπρό αντικείμενο που διαπερνούσε τον ουρανό γρήγορα και επανειλημμένα από την μια πλευρά του ορίζοντα στην άλλη. Έφερε επίσης το παρατσούκλι «satelloon» (satellite balloon). Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την διηπειρωτική αντανάκλαση σημάτων τηλεπικοινωνίας, ραδιοφωνίας και τηλεόρασης. Λόγω του μεγάλου όγκου και της μικρής μάζας του βοήθησε επίσης στον προσδιορισμό της πυκνότητας της ατμόσφαιρας και της ηλιακής πίεσης. Το Έκο 1A κήκε μπαίνοντας στην γήινη ατμόσφαιρα στις 24 Μαΐου του 1968.



Εικόνα 2.3 Echo 1

Το 1964 Το Έκο 2, είχε διάμετρο 41,1μ και ήταν επίσης από επιμεταλλωμένο συνθετικό PET με βελτιωμένο σύστημα προφούσκωσης για να βελτιώσει την γεωμετρική σφαιρικότητα του μπαλονιού. Εκτοξεύτηκε στις 25 Ιανουαρίου 1964 σε έναν πύραυλο Thor Agena . Χρησιμοποιήθηκε ως δορυφόρος επικοινωνιών και επίσης για την εξερεύνηση της δυναμικής των μεγάλων διαστημικών σκαφών καθώς επίσης και για τη γεωμετρική γεωδαισία της υφής.

Το Έκο 2 κήκε μπαίνοντας στην γήινη ατμόσφαιρα στις 7 Ιουνίου του 1969. Μετά από το Έκο 2, η NASA εγκατέλειψε τελικά τα παθητικά δορυφορικά συστήματα τηλεπικοινωνίας και αφοσιώθηκε στους ενεργούς δορυφόρους.



Εικόνα 2.4 Echo 2

Στα 1965 , ο πρώτος εμπορικός γεωστατικός δορυφόρος INTELSAT I (ή Early Bird) εγκαινίασε τη μεγάλη σειρά των δορυφόρων INTELSAT .

Τον ίδιο χρόνο εκτοξεύτηκε ο πρώτος επικοινωνιακός δορυφόρος της σειράς MOLNYA. Οι δορυφόροι αυτοί παρείχαν υπηρεσίες βίντεο (τηλεόραση) και φωνής (τηλεφωνία) για το κοινό τους. Το INTELSAT ήταν το πρώτο εμπορικό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα που ανήκει και λειτουργεί υπό μια κοινοπραξία με περισσότερα από 100 έθνη. Ως εκ τούτου , το όνομά του σημαίνει Διεθνής Δορυφορικός Τηλεπικοινωνιακός Οργανισμός (International Telecommunications Satellite Organization). Είναι ο πρώτος οργανισμός για την παροχή παγκόσμιας δορυφορικής κάλυψης και συνδεσιμότητας και συνεχίζει να είναι ο κύριος πάροχος επικοινωνιών με την ευρύτερη πρόσβαση και το πιο ολοκληρωμένο φάσμα υπηρεσιών. Από την ίδρυσή της και έπειτα , έχει χρησιμοποιήσει αρκετές εκδόσεις



των αποκλειστικών δορυφόρων της Intelsat. Το δίκτυό της τα πρώτα χρόνια δεν ήταν τόσο ισχυρό όσο στην πορεία. Μια αποτυχία του δορυφόρου Atlantic την άνοιξη του 1969 απείλησε να σταματήσει την αποστολή του Apollo 11. Ένας δορυφόρος αντικατάστασης πήρε λάθος τροχιά και δεν μπορούσε να ανακτηθεί στο χρόνο που χρειαζόταν.



Εικόνα 2.5 INTELSAT

Άλλοι φορείς για βιομηχανικές και οικιακές αγορές περιλάμβαναν την Westar το 1974, τη Satcom το 1975, τη Comstar το 1976, τη SBS το 1980, τις Galaxy και Telstar το 1983, τις Spacenet και Anik το 1984, τη Gstar το 1985, τη Aussat το 1985-86, την Optus A2 το 1985, τη Hughes-Ku το 1987, τη NASA ACTS το 1993, την Optus A3 το 1997, και την Iridium και Intelsat VIII A το 1998.

Ακόμη περισσότεροι είχαν προγραμματιστεί. Μερικοί από αυτούς φιλοξένησαν ειδικά στρατιωτικά κανάλια επικοινωνίας. Η ανάγκη του να έχουν μια δεσπόζουσα θέση στην αγορά και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε στρατιωτικές επιτηρήσεις και τακτικά πεδία, οδήγησε σε πιο πολύπλοκες εξελίξεις στον τομέα των δορυφόρων.

### **2.3 Η χρησιμότητα των δορυφορικών συστημάτων**

Κατά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ευνοήθηκε η ανάπτυξη δύο πολύ ξεχωριστών τεχνολογιών: των πυραύλων και των μικροκυμάτων. Η γνώση που αποκτήθηκε εν τέλει από τη συνδυασμένη χρήση των δύο αυτών τεχνολογιών εγκαινίασε την

εποχή των δορυφορικών επικοινωνιών. Οι υπηρεσίες των δορυφορικών επικοινωνιών συμπληρώνουν με χρήσιμο τρόπο τις επίγειες επικοινωνίες που παρέχονται αποκλειστικά από επίγεια δίκτυα χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα και καλώδια. Μέχρι τις αρχές του 1970, οι υπηρεσίες που παρέχονταν αφορούσαν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις και μετάδοση τηλεοπτικού σήματος μεταξύ των ηπείρων. Ο δορυφόρος ήταν σχεδιασμένος ώστε να «συμπληρώνει» το υποθαλάσσιο καλώδιο και έπαιζε το ρόλο μιας δορυφορικής σύνδεσης. Προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη ικανότητα μετάδοσης πληροφοριών, καταλήξαμε σε δορυφόρους με πολλές, ξεχωριστές δέσμες εκπομπής και την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, πρώτα μέσω της ορθογωνικής πόλωσης και έπειτα με τη χωρική απομόνωση (απόσταση).

Η πολλαπλή πρόσβαση σε ένα δορυφόρο επιτεύχθηκε σαν πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiple Access, FDMA). Η ολοένα αυξανόμενη απαίτηση για ένα μεγάλο αριθμό από ζεύξεις μικρής χωρητικότητας, όπως για παράδειγμα για επικοινωνίες με πλοία, οδήγησε το 1980 στην εισαγωγή της κατ' απαίτηση χρήσης, αρχικά με χρήση FDMA με διαμόρφωση απλού καναλιού ανά φέρον κύμα/ συχνότητα (SCPC/FM) ή διαμόρφωση φάσης (PSK) και έπειτα με πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου και διαμόρφωση φάσης (TDMA/PSK), με εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των ψηφιακών τεχνικών.

Ταυτόχρονα, η πρόοδος της τεχνολογίας των κεραιών επέτρεψε την προσαρμογή των δεσμών εκπομπής για την κάλυψη της εξυπηρετούμενης περιοχής. Με τον τρόπο αυτό, βελτιώθηκε η απόδοσης της ζεύξης, ενώ ελαττώθηκε η παρεμβολή μεταξύ συστημάτων.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν οι δορυφόροι με πολλαπλές δέσμες (κατευθυνόμενης) εκπομπής, όπου η διασύνδεση μεταξύ των δεσμών γινόταν μέσω αναμετάδοσης ή μεταγωγή από το δορυφόρο, χρησιμοποιώντας την τεχνική SSTDMA (Satellite-Switched Time Division Multiple Access, πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου, μεταγόμενη από το δορυφόρο). Σε μερικούς πειραματικούς δορυφόρους, όπως ο ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) εφαρμόστηκαν τεχνικές με κινητές δέσμες εκπομπής, σε συνδυασμό με επεξεργασία των σημάτων επί του δορυφόρου. Η επεξεργασία επί του δορυφόρου είναι μια τεχνική που παρέχει το πλεονέκτημα της διαθεσιμότητας του σήματος βάσης επί του δορυφόρου, χάρη στην αποδιαμόρφωση του φέροντος. Τα δορυφορικά δίκτυα αναπτύσσονται για πολιτικές εφαρμογές στο πλαίσιο «αστερισμών» πολλών δορυφόρων, όπως είναι το IRIDIUM για επικοινωνίες κινητών σταθμών και τελικά θα αναπτυχθούν για γεωστατικούς δορυφόρους. Η χρήση υψηλότερων συχνοτήτων (Ζώνη Ka στους 30/20 GHz) θα επιτρέψει τη διαθεσιμότητα υπηρεσιών ευρείας ζώνης συχνοτήτων, λόγω του ευρύτατου φάσματος συχνοτήτων που είναι διαθέσιμο, παρά τα προβλήματα μετάδοσης που προκαλεί η βροχή.

## **Επίλογος**

Είδαμε πως ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της τεχνολογίας, είναι οι τεχνητοί δορυφόροι, από απλούς τηλεπικοινωνιακούς, έως κατασκοπευτικούς στρατιωτικής χρήσης. Είδαμε επίσης πως οι δορυφορικές επικοινωνίες αποτελούν επανάσταση στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών τα τελευταία 40 χρόνια. Η δορυφορική τεχνολογία όμως συνεχίζει ακόμη να αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς τη σημερινή εποχή, πράγμα το οποίο θα αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

## **Κεφάλαιο 3 – Το παρόν των δορυφορικών επικοινωνιών**

### **Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στην τεχνολογία των δορυφορικών επικοινωνιών σήμερα, στις αρχές του εικοστού αιώνα. Πιο συγκεκριμένα θα ερευνήσουμε το ποιές ανάγκες των σημερινών απαιτήσεων μπορούν να καλύψουν οι δορυφόροι, ποιες είναι οι εφαρμογές τους και ποια είναι σήμερα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με το είδος της τροχιάς τους.

### **3.1 Δορυφόροι με χαμηλή τροχιά ως προς τη Γη (Low Earth Orbit Satellites)**

Η γενιά των σεναρίων Ασύρματου Ίντερνετ περιλαμβάνει τους LEOs ( Δορυφόροι με Χαμηλή τροχιά ως προς τη Γη-Low Earth Orbit Satellites). Τα χαμηλά υψόμετρα των δορυφόρων LEO επιτρέπουν Παγκόσμια κάλυψη, ενώ μπορούν να προσφέρουν χαμηλότερη καθυστέρηση διάδοσης, χαμηλότερη ισχύ κατανάλωσης και την αποτελεσματική χρήση της συχνότητας τόσο για τους χρήστες όσο και για το δορυφορικό δίκτυο. Οι δορυφόροι LEO περιστρέφονται με ασύγχρονο τρόπο σε σχέση με την περιστροφή της γης. Η γρήγορη κίνηση των δορυφόρων LEO καθιστά αναγκαίο να περιληφθεί αποτελεσματική διαχείριση της κινητικότητας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί πρότυπα κινητικότητας από την εξέταση του πλήρους σχηματισμού κάλυψης της γης, όπου η περιστροφή της γης συχνά θεωρείται αμελητέα ώστε να ληφθεί υπόψη.

Αρχικά θα παρέχουμε στοιχεία και αριθμούς που δείχνουν τη διέλευση των δορυφόρων LEO σε σχέση με την περιστροφή της γης.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας , των επικοινωνιών και εν γένει των ασύρματων επικοινωνιών ειδικότερα, η χρήση μικρού μεγέθους και συσκευών χειρός, όπως φορητοί υπολογιστές, PDAs (Personal Digital Assistance) κλπ αυξάνεται μέρα με την ημέρα.

Η χρήση αυτών των συσκευών έχει δημιουργήσει μια πρόκληση για τους ερευνητές προκειμένου να παρέχουν ευέλικτα δίκτυα επικοινωνίας. Τα δίκτυα LEO κερδίζουν τη δημοτικότητα λόγω του πλεονεκτήματος ότι σχηματισμοί δορυφόρων που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της γης θα μπορούσαν να παρέχουν συνδεσιμότητα σε απομονωμένες περιοχές όπως οι αγροτικές περιοχές με δυσκολία στη διέλευση προς αυτές. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης δορυφόρων LEO , όπως αναφέραμε και νωρίτερα, βρίσκονται στην χαμηλή

καθυστέρηση διάδοσης του σήματος, στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας καθώς και την αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

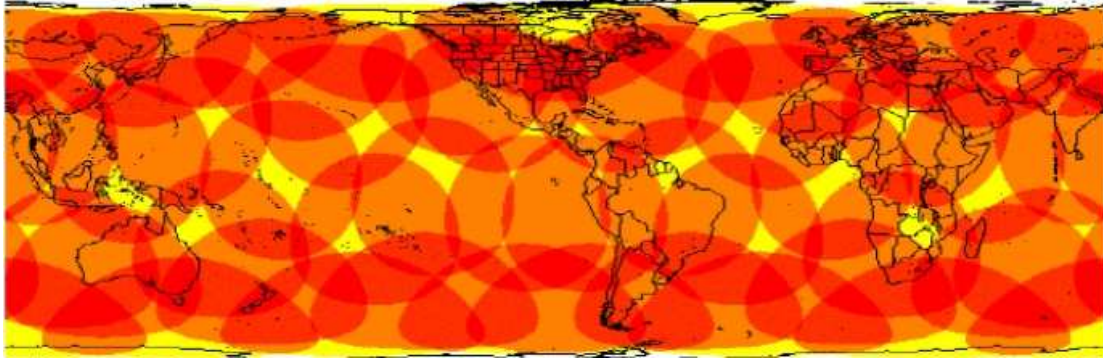
Σε ότι αφορά τις πολιτικές, στρατιωτικές, προσωπικές και παγκόσμιες επικοινωνίες, οι δορυφόροι LEO θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην επόμενη γενιά του Ίντερνετ. Η ενσωμάτωση δορυφόρων LEO στο Ίντερνετ παραμένει στενά αξιόπιστη για μια αποτελεσματική διαχείριση κινητικότητας η οποία μπορεί να φιλοξενήσει μικρά παράθυρα σύνδεσης με οποιοδήποτε μοναδικό σημείο στη γη λόγω της κίνησης του δορυφόρου. Η δυναμική φύση των δορυφόρων (υψηλή ταχύτητα περιστροφής) έχει αντιμετωπιστεί με την αύξηση του αριθμού των δορυφόρων σε μια συστάδα, προκειμένου να παρέχουν κάλυψη σε όλη την υδρόγειο. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ένας δορυφόρος LEO σε απόσταση 1.500 km από τη γη κινείται με ταχύτητα 7,1 km/sec. Η ακτίνα του πέλματος ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε τροχιά LEO κυμαίνεται από 3.000 έως 4.000 χιλιόμετρα. Ο μέγιστος χρόνος τον οποίο ο δορυφόρος LEO βρίσκεται πάνω από τον τοπικό ορίζοντα για ένα παρατηρητή πάνω στη γη, μπορεί να φθάσει και τα 20 λεπτά. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν μεγάλες περιόδους όπου ο δορυφόρος δεν είναι ορατός από ένα συγκεκριμένο σταθμό εδάφους. Αυτό μπορεί να είναι αποδεκτό για ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποθήκευσης και προώθησης. Πολλά μικρά συστήματα LEO χρησιμοποιούν πολικές (ή σχεδόν πολικές) τροχιές. Μπορούμε να βελτιώσουμε την ευκολία πρόσβασης με την ανάπτυξη περισσότερων του ενός δορυφόρων και κάνοντας χρήση πολλαπλών τροχιακών επιπέδων. Ένα ολοκληρωμένο και παγκόσμιας κάλυψης σύστημα LEO, απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό από δορυφόρους, σε πολλαπλά τροχιακά επίπεδα, και σε ποικίλες κεκλιμένες τροχιές.

Για το λόγο αυτό θα δούμε πως η τοπολογία ενός πλήρους συστήματος τηλεπικοινωνιακού δικτύου LEO είναι δυναμική. Το δίκτυο πρέπει να προσαρμόζεται διαρκώς ανάλογα με τις συνθήκες, οι οποίες εναλλάσσονται, προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες (με την ελάχιστη καθυστέρηση) συνδέσεις μεταξύ τερματικών. Όταν ένας δορυφόρος που εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο χρήστη κινηθεί πίσω από τον τοπικό ορίζοντα, πρέπει να δύναται να αναθέσει την υπηρεσία σε κάποιο κοντινό ή επερχόμενο δορυφόρο που βρίσκεται στην ίδια ή σε κάποια γειτονική τροχιά.

Εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα, άλλοτε μεμονωμένοι δορυφόροι μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους προκειμένου να επιτύχουν την αναμετάδοση ενός σήματος μέσω μιας τεχνικής ταχείας εναλλαγής πακέτων (όπως συμβαίνει στο σύστημα Iridium) ή άλλες φορές μπορούν να επιστρέψουν το σήμα σε κάποιο τερματικό που βρίσκεται στη γη, για την επαναδρομολόγησή του.

Βλέποντας τον χάρτη κάλυψης μπορούμε να έχουμε μια εποπτεία του τεράστιου μεγέθους και της πολυπλοκότητας ενός παγκοσμίου συστήματος LEO. Είτε

χρησιμοποιείται διάταξη δρομολόγησης δορυφόρος προς δορυφόρο, είτε δορυφόρος – επίγειο τερματικό - δορυφόρος, ο χειρισμός των μηνυμάτων γίνεται μέσω διπλής (duplex) κατεύθυνσης δικτύου LEO, τα οποία διαδίδονται με τη μορφή μικρών και σταθερού μήκους (fixed length) πακέτων.



Εικόνα 3.1 Χάρτης κάλυψης του GLOBALSTAR

Κάθε πακέτο σχηματίζεται έτσι ούτως ώστε να περιέχει μια επικεφαλίδα η οποία περιλαμβάνει τη διεύθυνση προορισμού και πληροφορίες ακολουθίας, ένα τμήμα ελέγχου λαθών που χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της ορθότητας της επικεφαλίδας και ένα τμήμα που φέρει τα ψηφιακώς κωδικοποιημένα δεδομένα του χρήστη (για παράδειγμα φωνή, εικόνα, κείμενο κ.λ.π) καθώς και έναν αλγόριθμο προσαρμοστικής δρομολόγησης.

Κάθε κόμβος αυτομάτως και ανεξάρτητα επιλέγει τη διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση προς το σταθμό προορισμού. Πακέτα που προέρχονται από τον ίδιο χρήστη είναι δυνατό να ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές μέσα από το δίκτυο. Το τερματικό στη θέση προορισμού συγκεντρώνει και, σε περίπτωση που απαιτείται, θέτει σε σωστή σειρά τα ληφθέντα πακέτα ώστε να περιοριστούν χρονικές καθυστερήσεις.

Λόγω της σχετικά αυξημένης κίνησης ενός δορυφόρου που βρίσκεται σε τροχιά LEO σε σχέση με έναν παρατηρητή στη γη, οι δορυφόροι που κινούνται σε τέτοιου είδους τροχιές θα πρέπει να βρίσκονται σε θέση να αντιμετωπίσουν μεγάλες εναλλαγές Doppler. Οι δορυφόροι LEO επηρεάζονται επιπλέον από την έλξη της ατμόσφαιρας, η οποία αναγκάζει τις τροχιές να εκφυλίζονται σταδιακά. Με αποτέλεσμα, ένας τυπικός χρόνος ζωής ενός δορυφόρου LEO στο διάστημα να μην ξεπερνά τα πέντε με οκτώ έτη.

Ωστόσο, οι εκτοξεύσεις δορυφόρων σε τροχιές LEO είναι αρκετά οικονομικότερες από εκείνες σε τροχιές GEO και εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι μικρότεροι σε βάρος, πολλοί δορυφόροι LEO έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης εκτόξευσης,

ενώ μόνο δύο GEO δορυφόροι μπορούν να εκτοξευθούν ταυτόχρονα με τη σημερινή τεχνολογία εκτόξευσης πυραύλων.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των προσωπικών επικοινωνιακών συστημάτων LEO είναι το γεγονός πως παρέχουν άμεση δορυφορική σύνδεση τόσο όσον αφορά τις εισερχόμενες όσο και τις εξερχόμενες επικοινωνίες, σε απομακρυσμένες περιοχές, με ελλιπή επικοινωνιακή κάλυψη και σε περιοχές εκτός επίγειων δικτύων, είτε η επικοινωνία επιτυγχάνεται με κάποια φορητή συσκευή, από οποιοδήποτε δημόσιο τηλέφωνο στον κόσμο, είτε απλά μέσω ενός ομοκατευθυντικού αλφαριθμητικού βομβητή (unidirectional alpha numeric pager).

Η καθυστέρηση διάδοσης των LEO συστημάτων κυμαίνεται από 20 έως 25 msec, αριθμός συγκρίσιμος με αυτόν των επίγειων συνδέσεων και πολύ χαμηλότερος από εκείνον των συστημάτων GEO (240-280 msec). Δίνεται επιπλέον η δυνατότητα στο χρήστη να υπερκεράσει πολλά άλλα ασύρματα δίκτυα και εθνικά τηλεφωνικά συστήματα, χρησιμοποιώντας ένα απλό τηλεφωνικό αριθμό και λαμβάνοντας μόνο ένα τηλεφωνικό λογαριασμό για κλήσεις που έχει πραγματοποιήσει από οπουδήποτε στον κόσμο.

Ωστόσο, όλα τα προσωπικά επικοινωνιακά συστήματα LEO δεν έχουν ως σκοπό την παγκόσμια κάλυψη. Μερικές πρόσφατες προτάσεις των συστημάτων LEO έχουν ως στόχο μόνο συγκεκριμένα παγκόσμια γεωγραφικά πλάτη που είναι εγκατεστημένα σε εμπορικά κέντρα μεγάλης κίνησης.

Ορισμένες άλλες προτάσεις αφορούν στην παροχή υπηρεσιών σε περιορισμένους γεωγραφικούς και εμπορικούς τομείς. Τα μη-παγκοσμίου εύρους συστήματα LEO σχεδιάστηκαν έτσι ούτως ώστε να προσφέρουν τη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και μεταφορά πληροφοριών για μεγάλες εθνικές μεταφορικές εταιρείες και κινητές μονάδες.

Χρησιμοποιώντας κάποιο αναμεταδότη σε όχημα ή και επιτραπέζιο, με μικρή και εύκαμπτη κεραία, το σύστημα έχει τη δυνατότητα αποστολής και λήψης αλφαριθμητικών πακέτων πληροφοριών δύο διαδρομών (paging, email).

Τα συστήματα αυτά επεκτάθηκαν προκειμένου να συμπεριλάβουν φορητές συσκευές για προσωπική χρήση. Το μήνυμα του αποστολέα οδηγείται στον κοντινότερο εντός εμβέλειας (in-view) δορυφόρο, όπου διασυνδέεται με την τοπική επίγεια επικοινωνιακή πύλη (station gateway), για επικύρωση και βέλτιστη δρομολόγηση προς τον πομποδέκτη-παραλήπτη.

Σε περίπτωση που κριθεί απαραίτητο, οι επίγειες επικοινωνιακές πύλες παραδίδουν τα μηνύματα μεταξύ δορυφόρων για πιο γρήγορη μετάδοση. Τα μεταδιδόμενα πακέτα πληροφοριών έχουν επίσης τη δυνατότητα κωδικοποίησης στην αντίστοιχη συχνότητα, για να υπάρξει ασφάλεια στη μετάδοση και για να υπάρχει δυνατότητα της μοναδικής αναγνώρισης του μηνύματος από τον νόμιμο παραλήπτη.

### 3.2 Εφαρμογές δορυφορικών συστημάτων

Το κύριο στοιχείο το οποίο εγγυάται όχι μόνο τη βιωσιμότητα αλλά και τη συνεχή ανάπτυξη των συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών στο νέο περιβάλλον οξυμένου ανταγωνισμού που συνιστά σήμερα ο χώρος των τηλεπικοινωνιών, είναι το εύρος των εφαρμογών που μπορούν να υποστηρίξουν. Παρατηρείται αύξηση, τα τελευταία χρόνια, των εφαρμογών που μπορούν να υποστηρίξουν οι δορυφόροι. Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι μετάνουν με τρόπο αποδοτικό ραδιοσήματα μεταξύ σημείων του εδάφους και οι χρήστες τους διαθέτουν μια ευρεία ποικιλία τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, ανεξάρτητα από την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται. Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος της εμπορικής δραστηριότητας των επικοινωνιακών δορυφόρων, πραγματοποιείται μέσω σταθμών τοποθετημένων σε γεωστατική τροχιά. Οι δορυφόροι αυτοί φαίνονται σαν να είναι σταθεροί από έναν παρατηρητή στην επιφάνεια της γης (αφού περιφέρονται γύρω από τη γη με περίοδο 24 ωρών). Η ιδιότητα αυτή των γεωστατικών συστημάτων είναι ιδιαίτερα επιθυμητή, διότι διαφορετικά απαιτούνται δαπανηρά υποσυστήματα παρακολούθησης της τροχιάς των δορυφόρων. Ο κορεσμός, ωστόσο, της τροχιάς αυτής από πλήθος δορυφόρων που λειτουργούν υπό την αιγίδα είτε κρατών είτε τηλεπικοινωνιακών φορέων, αλλά και η καθυστέρηση διάδοσης που εισάγεται από τη μεγάλη απόσταση γης – γεωστατικού αναμεταδότη (36.000 χιλιόμετρα από τον ισημερινό) οδήγησε από την προηγούμενη δεκαετία στην εμφάνιση των δορυφορικών συστημάτων χαμηλής τροχιάς, που αναφέραμε νωρίτερα, και μεσαίας τροχιάς. Τα ύψη από το έδαφος των τροχιών αυτών είναι από 500 έως 900 χιλιόμετρα (LEO) και 5000 έως 12000 χιλιόμετρα MEO αντίστοιχα.

Βέβαια, σε αυτά τα ύψη η ιδιότητα της σταθερής θέσης του δορυφόρου ως προς ένα γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων παύει να ισχύει και οι δορυφόροι που τοποθετούνται σε τροχιές χαμηλότερες της γεωστατικής βρίσκονται στο οπτικό πεδίο του επίγειου σταθμού μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα. Η ιδέα που βρίσκεται λοιπόν πίσω από τα δορυφορικά συστήματα του τύπου αυτού είναι να περιάγεται η ζεύξη από το δορυφόρο που εγκαταλείπει το οπτικό πεδίο, σε κάποιον άλλο, υποθέτοντας έτσι ένα πλήρη σχηματισμό δορυφόρων για την παροχή συνεχούς επικοινωνίας. Για το λόγο αυτό, προϋποτίθενται αλγόριθμοι διαπομπής μεταξύ των δορυφόρων, όμοιοι με αυτούς που υπάρχουν στα κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών και επομένως η πολυπλοκότητα της απαιτούμενης αρχιτεκτονικής δικτύου είναι ιδιαίτερως αυξημένη.

Μια επιπλέον καινούρια εξέλιξη στους επικοινωνιακούς δορυφόρους είναι η ανάπτυξη μικροσταθμών χαμηλού κόστους που ονομάζονται Τερματικά Πολύ Μικρής Επιφάνειας (Very Small Aperture Terminals, VSAT). Στα τερματικά αυτά, όχι μόνο οι κεραίες αλλά και τα υπόλοιπα τμήματα του υλικού έχουν μειωμένες διαστάσεις και για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά από ένα χρήστη.



Σε κάποια συστήματα VSAT, οι μικροσταθμοί δεν διαθέτουν την απαιτούμενη ισχύ ώστε να έχουν απευθείας επικοινωνία με το δορυφορικό επαναλήπτη.

Για το λόγο αυτό, μεταξύ των σταθμών και του δορυφόρου παρεμβάλλεται ένας ειδικός επίγειος επαναλήπτης με πολλαπλούς αποδέκτες που διαθέτει τις απαιτούμενες προδιαγραφές, ώστε να «μοιράζεται» αποδοτικά την κίνηση που προέρχεται από τους VSAT.

Η διανομή των εφαρμογών στις δορυφορικές επικοινωνίες ακολουθεί τους παρακάτω τύπους αρχιτεκτονικής δικτύου :

- Σημείου-προς-σημείο (point –to- point)
- Σημείου- προς – πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint)
- Διαδραστική επικοινωνία πολλαπλών σημείων (multipoint interactive)

Μια ακόμη σημαντική δυνατότητα των τηλεπικοινωνιών που εμπλέκουν δορυφόρους είναι αυτή της ταυτόχρονης εκπομπής της πληροφορίας από ένα σημείο στο διάστημα προς ένα μεγάλο αριθμό αποδεκτών στο έδαφος (broadcast). Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα τερματικά VSAT, αποτελεί το βασικό εκπρόσωπο αρχιτεκτονικής δικτύου πολλαπλών σημείων, όπου σε καθένα από τα τερματικά αυτά ενσωματώνονται δυνατότητες εκπομπής προς όλα τα υπόλοιπα. Αναφερόμαστε σε μια πρόταση εναλλακτική προς τα ενσύρματα δίκτυα δεδομένων τα οποία απαντώνται σήμερα σε πολυάριθμες επιχειρήσεις.

### **3.3 Triple Play μέσω δορυφόρου**

Κατά τα τελευταία χρόνια μια σειρά από φορείς εκμετάλλευσης ανέπτυξαν δορυφορικές υπηρεσίες πρόσβασης στο διαδίκτυο για τους καταναλωτές, μειώνοντας το ψηφιακό χάσμα και καλύπτοντας την αγορά των νοικοκυριών που δεν καλύπτονταν από υπηρεσίες ADSL, καλωδιακής ή ασύρματης ευρυζωνικότητας. Οι εν λόγω φορείς προτείνουν ένα βήμα βελτίωσης σε οικονομικές υπηρεσίες, με τερματικά χαμηλότερου κόστους, ευρυζωνική πρόσβαση με μηνιαία τέλη συγκρίσιμα με υπηρεσίες ADSL και μια ενσωματωμένη τεχνολογία που απλοποιεί τη διαδικασία εγκατάστασης του τερματικού, υποστήριξης και διαχείρισης. Μέχρι τώρα, οι υπηρεσίες αυτές ήταν επικεντρωμένες μόνο στην πρόσβαση στο ίντερνετ. Τώρα είναι διαθέσιμες πλήρεις υπηρεσίες triple play μέσω δορυφόρου. Παρακάτω θα δούμε τη στρατηγική για την ευρωπαϊκή ζώνη Ka της Eutelsat, αναφορικά με τις υπηρεσίες Tooway™ και την εξέλιξή τους μέσα από μια ειδική ζώνη Ka (Ka band) του δορυφόρου Kasat. Θα εξηγήσουμε, επίσης, την επιλογή της Eutelsat όσον αφορά την μπάντα Ka για διαδραστικές υπηρεσίες, γεγονός που αποδεικνύει τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των

καταναλωτών σε συνεργεία μεταξύ της υφιστάμενης Ku μπάντας και των υπηρεσιών ζώνης (μπάντας) Ka .

### 3.3.1 Eutelsat

Η Eutelsat λειτουργεί 34 δορυφόρους σε γεωστατικό τόξο από 116° Δυτικά έως 172 ° Ανατολικά προσφέροντας μια ποικιλία υπηρεσιών από εταιρικά δίκτυα έως ραδιοηλεκτρονικές μεταδόσεις (εικόνα 3.2) και αποτελεί τον κορυφαίο οργανισμό στον τομέα των δορυφορικών υπηρεσιών στην Ευρώπη και τον τρίτο σε παγκόσμιο επίπεδο. Από αυτές τις συγκεκριμένες τροχιακές θέσεις, ο στόλος των δορυφόρων της Eutelsat είναι σε θέση να εξυπηρετεί τα δυο τρίτα της υδρογείου, από την Ανατολική Ακτή της Βορείου και Νοτίου Αμερικής ως την Άπω Ανατολή.

Οι δορυφόροι εξυπηρετούν τις απαιτήσεις επίγειων, θαλάσσιων και εναέριων επικοινωνιών. Χρησιμοποιούνται στις τηλεοπτικές μεταδόσεις σε οικιακούς χρήστες με καλωδιακή ή δορυφορική σύνδεση, στη δορυφορική συλλογή ειδήσεων (newsgathering) και στις ανταλλαγές προγραμμάτων. Υποστηρίζουν επίσης ευρεία ποικιλία υπηρεσιών σταθερής και κινητής επικοινωνίας, συνδρομητικής τηλεόρασης, εταιρικών δικτύων και ευρυζωνικότητας για Παρόχους Διαδικτυακών Υπηρεσιών καθώς και για τις αγορές των μεταφορών και των θαλάσσιων και εναέριων επικοινωνιών.



Εικόνα 3.2 Οι δορυφόροι Eutelsat

Από τους 34 δορυφόρους που διατίθενται για εμπορική χρήση, οι 31 αποτελούν εξολοκλήρου ιδιοκτησία της Eutelsat. Οι δραστηριότητες ελέγχου και λειτουργίες διαχειρίζονται από το Κέντρο ελέγχου (teleport) του Ομίλου, που βρίσκεται στο Rambouillet της Γαλλίας και που είναι επίσης εξοπλισμένο για την πραγματοποίηση χειρισμών προσδιορισμού θέσης και διατήρησης τροχιάς μετά την εκτόξευση.

### **3.3.2 Προϊόντα και Υπηρεσίες**

#### Υπηρεσίες Ραδιοηλεκτρονικής Εκπομπής

Η Eutelsat είναι ο κορυφαίος δορυφορικός οργανισμός για τις ραδιοηλεκτρονικές εκπομπές με απευθείας λήψη στο σπίτι (direct-to-home, DTH) και κυρίαρχος παίκτης στις επαγγελματικές εκπομπές, από τη δορυφορική συλλογή ειδήσεων μέχρι την πρωτογενή μεταφορά σημάτων στους αναλογικούς και ψηφιακούς αναμεταδότες της επίγειας τηλεόρασης (DTT). Περισσότερα από 204 εκατομμύρια νοικοκυριά σε Ευρώπη, Βόρειο Αφρική και Μέση Ανατολή είναι εξοπλισμένα για καλωδιακή ή δορυφορική λήψη καναλιών που εκπέμπονται από τους δορυφόρους της Eutelsat. Με τις υπηρεσίες απευθείας λήψης στο σπίτι (direct-to-home, DTH), ο κύριος στόχος είναι η κάλυψη όσο περισσότερων νοικοκυριών μέσω ενός ενιαίου τομέα υπηρεσιών.

#### Ευρυζωνικές υπηρεσίες

Με 1,7 εκατομμύρια τερματικά τύπου VSAT, η αγορά των δορυφορικών ευρυζωνικών υπηρεσιών εξυπηρετεί επιχειρήσεις, κυβερνητικές αρχές και καταναλωτές σε περιοχές όπου παραμένει η βέλτιστη και, συχνά, η μοναδική λύση πρόσβασης σε υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας. Οι IP υπηρεσίες της Eutelsat παρέχουν λύσεις στους καταναλωτές αλλά και στις επιχειρήσεις στις αγορές της Ανατολικής και Δυτικής Ευρώπης, τη Μέση Ανατολή και την Αφρική, την Ασία και την Αμερικανική Ήπειρο.

#### Τηλεπικοινωνίες

Με 850 δίκτυα επιχειρήσεων και εταιρικές υπηρεσίες ανεπτυγμένες σε διεθνές επίπεδο, η Eutelsat είναι ένας δορυφορικός φορέας στους τομείς της μετάδοσης δεδομένων και της διασύνδεσης πληροφορικών συστημάτων. Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς και πάροχοι υπηρεσιών, παγκοσμίως, συνεργάζονται στενά μαζί της αναπτύσσοντας δίκτυα για τους πελάτες τους χρησιμοποιώντας τη δορυφορική χωρητικότητα της Eutelsat. Μεταξύ των κύριων εφαρμογών περιλαμβάνονται η ασφάλεια μεγάλων εταιρικών δικτύων, η διασύνδεση απομακρυσμένων τοποθεσιών, η παρακολούθηση υποδομών πετρελαίου και

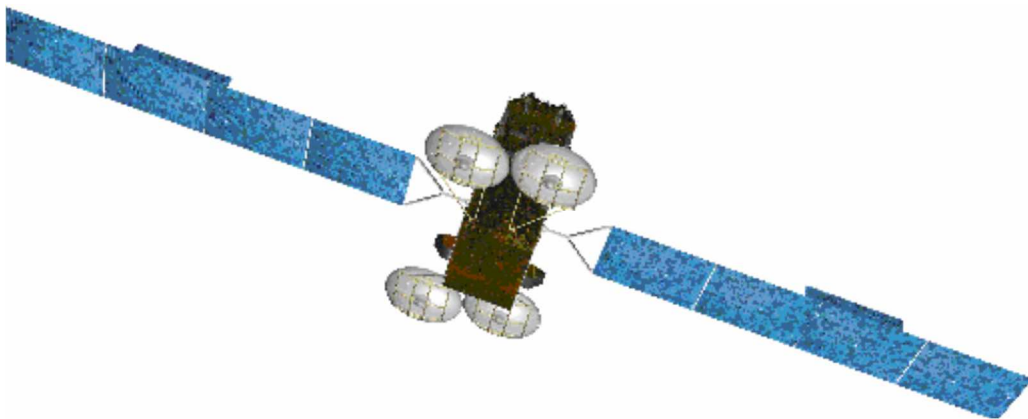
φυσικού αερίου, καθώς και η ανταλλαγή δεδομένων στους τομείς της οικονομίας, των ΜΜΕ και του λιανικού εμπορίου.

#### Κινητές και θαλάσσιες επικοινωνίες

Οι κινητές υπηρεσίες της Eutelsat συμπληρώνουν τα επίγεια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας παρέχοντας επαγγελματικές λύσεις σε συγκεκριμένες ανάγκες, με λύσεις τόσο για τη διαχείριση στόλου όσο και για τις ναυτιλιακές αγορές. Η EutelTRACS™ αποτελεί την καθιερωμένη υπηρεσία μηνυμάτων και προσδιορισμού θέσης για τη Διαχείριση Στόλου στη βιομηχανία των οδικών εμπορευματικών μεταφορών. Η υπηρεσία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των οχημάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών των φορτίων. Στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, οι υπηρεσίες Eutelsat@Sea εξασφαλίζουν παράκτιες και υπεράκτιες ευρυζωνικές επικοινωνίες για επιχειρηματικές και ψυχαγωγικές ανάγκες.

#### **3.3.3 Ο δορυφόρος Ka-Sat**

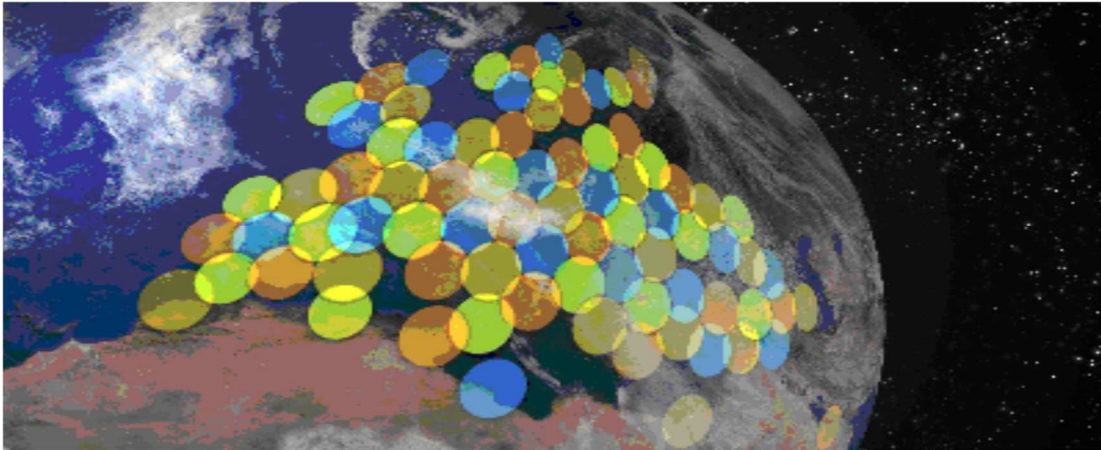
Ο δορυφόρος Ka-Sat (εικόνα 3.3), είναι ο πρώτος High Throughput Satellite (HTS-Υψηλής Ρυθμοαπόδοσης Δορυφόρος) στην Ευρώπη και σηματοδοτεί μια νέα γενιά δορυφόρων πολλαπλών δεσμών (multi-spot beam), υψηλής χωρητικότητας.



Εικόνα 3.3 KA-SAT δορυφόρος

Η επαναστατική ιδέα του Ka-Sat, βασίζεται σε ένα φορτίο με 82 Ka-μπάντας δέσμες συνδεδεμένες σε ένα δίκτυο δέκα σταθμών εδάφους. Ο δορυφόρος αυτός έχει κατασκευαστεί από την EADS-Astrium και με βάση την πλατφόρμα Spacebus 3000. Το γεγονός ότι λειτουργούν ταυτόχρονα 82 δέσμες, τον καθιστά το μεγαλύτερο δορυφόρο πολλαπλών δεσμών Ka-μπάντας παγκοσμίως και επίσης

προσφέρει το μεγαλύτερο τομέα υπηρεσιών. Ο δορυφόρος διαθέτει ένα υψηλό επίπεδο επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Το διαστημικό σκάφος είναι εξοπλισμένο με τέσσερις ανεπτυγμένες κεραιές πολυτροφοδοσίας με αυξημένη ακρίβεια κατάδειξης και υψηλή απόδοση αναμεταδότη. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα (3.4) που ακολουθεί, οι περιοχές κάλυψης είναι η Ευρώπη και τμήματα της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής.



Εικόνα 3.4 Κάλυψη KA-SAT

Η αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων επιτρέπει στο σύστημα να επιτυγχάνει μεγαλύτερη χωρητικότητα που φτάνει σε περίσσεια τα 100 Gb/s. Η εισαγωγή των δορυφόρων Ka-Sat τριπλασίασε τη συνολική χωρητικότητα στο εμπόριο από την Eutelsat. Η εταιρεία ViaSat παρήγγειλε ένα παρόμοιο δορυφόρο για τη Βόρεια Αμερική, από την Space Systems Loral βασιζόμενο στην πλατφόρμα τους L1300. Οι Ka-Sat και ViaSat-1 αποτελούν τους δορυφόρους με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα που κατασκευάστηκε ποτέ και αντιπροσωπεύουν μια νέα κατηγορία δορυφόρων με τη δυνατότητα να αλλάξει την παγκόσμια άποψη για τις σταθερές δορυφορικές επικοινωνίες.

#### **3.3.4. Η Μπάντα–Κα για το δορυφόρο Ka-Sat**

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που εξηγούν την επιλογή της Eutelsat για την κατασκευή ενός δορυφόρου αποκλειστικά Ka-μπάντας για διαδραστικές υπηρεσίες.

1. Υπάρχει περισσότερο αποκλειστικά διαθέσιμο φάσμα στην Ka-μπάντα. Η αποκλειστική μπάντα – Ku περιορίζεται στα 250 MHz στην άνω ζεύξη και εκτείνεται από 14.25 GHz σε 14.50 GHz, ενώ το διαθέσιμο φάσμα στην Ka-μπάντα είναι διπλάσιο. Επιπλέον η αποκλειστική Ka-μπάντα έχει καλύτερο περιβάλλον παρέμβασης και η χρήση της είναι περιορισμένη σε μικρούς τερματικούς σταθμούς (terminals).

2. Η απολαβή της κεραίας και οι απώλειες του εξωτερικού χώρου είναι συναρτήσεις του πλάτους της συχνότητας. Υποθέτοντας ότι το άνοιγμα της δορυφορικής κεραίας περιορίζεται από τις παραμέτρους του δορυφόρου και ότι το διάφραγμα τερματικού ορίζεται από την υπηρεσία, η βελτίωση του συνδεόμενου προϋπολογισμού υπό συνθήκες καθαρού ουρανού (ατμόσφαιρας) είναι επίσης συνάρτηση του τετραγώνου της συχνότητας περιλαμβάνοντας μια βελτίωση της τάξης των 4 dB στην κάτω ζεύξη και μια βελτίωση της τάξης των 6 dB στην άνω ζεύξη πηγαίνοντας από την Ku-μπάντα στην Ka-μπάντα. Η εξασθένηση λόγω βροχής αντιπροσωπεύει μια πιο σύνθετη πτυχή. Παρόλα αυτά μπορεί να αποδειχθεί ότι στην Ευρώπη, για τη διαθεσιμότητα του έως της τάξης του 99,7 %, εξακολουθεί να είναι πιο κατάλληλο να εργαστούν σε Ka-μπάντα σε σχέση με ένα σύστημα Ku-μπάντας.

3. Η Ka-μπάντα είναι σχεδόν διπλάσιας συχνότητας σε σχέση με την Ku-μπάντα. Οι ανωτέρω μπάντες δίνονται ως εξής:

	<b>Ka band</b>	<b>Ku band</b>
<b>Uplink</b>	27.5 GHz to 30.0 GHz	12.75 GHz to 14.5 GHz
<b>Downlink</b>	17.7 GHz to 20.2 GHz	10.7 GHz to 12.75 GHz

Υψηλότερη συχνότητα σημαίνει επίσης ότι για ένα δεδομένο άνοιγμα δορυφορικής κεραίας η δέσμη είναι μικρότερη, επιτρέποντας μικρότερα κελιά. Μικρότερα κελιά συνεπάγεται καλύτερη ατομική κάλυψη:

- Επί της ζεύξης μετάβασης (πύλη προς τερματικά) αυτό επιτρέπει να εξασφαλιστεί ότι η ενέργεια του δορυφόρου χρησιμοποιείται αποτελεσματικά σε μια πιο περιορισμένη περιοχή με την απαιτούμενη EIRP (effective isotropic radiated power- ισοδύναμη ισότροπα ακτινοβολούμενη ισχύς) για να βρísκεται πιο κοντά στον χρήστη που παρέχει υπηρεσίες.
- Στην επιστροφή σύνδεσης (τερματικά προς πύλη), αυτό βελτιώνει το G / T (gain-over-temperature – κέρδος έναντι θερμοκρασίας) του δορυφόρου εξασφαλίζοντας ότι για ένα δεδομένο ρυθμό bit λιγότεροι πόροι θα απαιτηθούν για τα τερματικά από την άποψη της RF (radio frequency- ραδιοσυχνότητας) ισχύς που απαιτείται από τον HPA (high power amplifier- ενισχυτής υψηλής ισχύος) και το άνοιγμα της κεραίας. Όλα αυτά συμβαίνουν υπέρ των μικροτέρων τερματικών.

Για ένα δεδομένο τομέα υπηρεσιών, περισσότερα κελιά μπορούν να συμπεριληφθούν εάν τα κελιά είναι μικρότερα. Από την άλλη πλευρά, αυτό υποστηρίζει μια ανώτερης τάξης επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Συνήθως

χρησιμοποιούνται τέσσερις συνδυασμοί χρωμάτων για να εξασφαλιστεί ένας καλός C/I (carrier to interference ratio- φορέας ως ποσοστό παρεμβολών). Το τέσσερα αντιπροσωπεύει ένα αποδεκτό συμβιβασμό μεταξύ της απόδοσης και της πολυπλοκότητας του αριθμού των ανοιγμάτων κεραίας στο δορυφόρο. Έτσι, οι φασματικοί πόροι αξιοποιούνται πιο αποτελεσματικά και πιο κοντά στην ικανότητα του συστήματος ώστε να επιτευχθεί για ένα δεδομένο διαθέσιμο φάσμα.

Η Ka-μπάντα προσφέρει δυνατότητες στη σχεδίαση ενός φορτίου με μεγαλύτερη χωρητικότητα συστήματος σε σχέση με την Ku-μπάντα. Σε τεχνικό επίπεδο, η υψηλή χωρητικότητα του συστήματος μπορεί να επιτρέπει:

- Αύξηση του ποσοστού δεδομένων προς και από τους τερματικούς σταθμούς.
- Βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Αύξηση του πληθυσμού των τερματικών εντός του συστήματος.
- Συνδυασμό των ανωτέρω.

Σε εμπορικό επίπεδο, αυτοί οι παράγοντες συνδυάζονται για να βοηθήσουν το σύστημα να μειώσει το κόστος παροχής υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης, κάνοντας μια οικονομικά προσιτή υπηρεσία για την αγορά των καταναλωτών.

### **3.3.5 Η Υπηρεσία Tooway™**

Οι προσδοκίες των καταναλωτών για ευρυζωνικές υπηρεσίες βρίσκονται διαρκώς σε εξέλιξη για εφαρμογές υψηλού εύρους ζώνης, όπως οι Web TV, VoIP, μουσική, P2P, online gaming, βάσεις δεδομένων και βίντεο. Οι εφαρμογές αυτές πρέπει να είναι προσβάσιμες σε υψηλότερες ταχύτητες και με όσο το δυνατόν χαμηλότερες τιμές. Οι δορυφόροι KA-SAT αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο μιας νέας σημαντικής δορυφορικής υποδομής που διευρύνει σημαντικά την ικανότητα των καταναλωτών για ευρυζωνικές υπηρεσίες σε όλη την Ευρώπη και τη λεκάνη της Μεσογείου (triple play), ενώ παρέχει νέες ευκαιρίες για τις τοπικές και περιφερειακές τηλεοπτικές αγορές.

### **Ευρυζωνική πρόσβαση**

Νοικοκυριά που βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψης KA-SAT και τα οποία δεν έχουν πρόσβαση σε ADSL υπηρεσίες, μπορούν να επωφεληθούν από την Tooway™ για σύστημα πλήρους δορυφορικής ευρυζωνικής σύνδεσης. Το εν δυνάμει αγοραστικό κοινό για καθαρά ευρυζωνικές δορυφορικές υπηρεσίες είναι περίπου 6 εκατομμύρια σπίτια στην Δυτική Ευρώπη και 8 εκατομμύρια νοικοκυριά στην Ανατολική Ευρώπη.

Αξιοποιώντας τη χωρητικότητα της Ka-μπάντας που είναι ήδη διαθέσιμη μέσω των υφιστάμενων πόρων της Eutelsat, η Eutelsat έχει θεσπίσει την Tooway™ για ευρυζωνική πρόσβαση των καταναλωτών χρησιμοποιώντας το σύστημα Surfbeam™ που αναπτύχθηκε από τη ViaSat.

Η διαφοροποίηση των υπηρεσιών γίνεται για όγκο κατανάλωσης ανά μήνα μέσω της Fair Access πολιτικής (FAP). Για να προωθηθεί μια δίκαιη χρήση της πρόσβασης των υπηρεσιών και της αποφυγής κατάχρησης, όταν η κατανάλωση είναι άνω των επιτρεπτών ορίων, η υπηρεσία παραμένει διαθέσιμη αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα ταχύτητας. Οι δορυφόροι KA-SAT με τη νέα γενιά συστήματος Surfbeam™ από τη ViaSat επιτρέπουν μεγαλύτερη απόδοση και όγκο για κάθε συνδρομητή σε τιμή συγκρίσιμη με συνδέσεις ADSL και καλωδιακού μόντεμ.

### **Υπηρεσία Voip (Voice over IP)**

Η υπηρεσία Voice over IP είναι επίσης η προσδοκία κάθε ευρυζωνικού συνδρομητή που ενδιαφέρεται για καλή ποιότητα κλήσεων με χαμηλό κόστος, εκμεταλλευόμενος τον ανταγωνισμό μεταξύ όλων των φορέων VoIP. Η υπηρεσία VoIP είναι διαθέσιμη από την Tooway™ και διατίθεται στο εμπόριο από διάφορους διανομείς υπηρεσιών.

Εκμεταλλευόμενοι αυτές τις τεχνολογίες αιχμής Ku και Ka-μπάντας σε ένα δορυφόρο, η Eutelsat ανέπτυξε και αναπτύσσει μια μοναδική υποδομή στην Ευρώπη, η οποία είναι σε θέση να :

- Παρέχει ένα πλήρες φάσμα ψηφιακών υπηρεσιών προς τους καταναλωτές (DTH-Direct to The Home και διαδραστικές υπηρεσίες όπως triple play).
- Να επωφεληθούν από μια νέα μπάντα Ka επιτρέποντας στην Ku-μπάντα να διατηρηθεί για τηλεοπτικές μεταδόσεις.
- Ικανοποιεί μια πραγματική κοινή λύση για το ψηφιακό χάσμα σε όλη την περιοχή της Ευρώπης.

Χάρη στο δορυφόρο KA-SAT και στις νέας γενιάς σύστημα Surfbeam™ από τη ViaSat, οι υπηρεσίες Tooway™ θα αυξήσουν την απόδοση των υπηρεσιών που παρέχονται ήδη στους συνδρομητές, σε τιμή συγκρίσιμη με τις υπηρεσίες ADSL και των συνδέσεων καλωδιακού μόντεμ. Η Tooway™ αυξάνει τις δυνατότητες του να ικανοποιεί τις ανάγκες των πελατών. Η μπάντα Ka κάνει πραγματικά τη διαφορά στις δορυφορικές υπηρεσίες triple play.



## Υπηρεσίες Τηλεόρασης

Οι υπηρεσίες τηλεόρασης παρέχονται από την Tooway™ με χαρακτηριστικά VoD (Video on Demand) και PVR (Personal Video Recorder). Η IPTV παρέχεται με ωφέλη από νέες τεχνικές συμπεριλαμβανομένων των Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation (DVB-S2) Μεταβλητής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης (VCM) και Προσαρμοστικής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης (ACM) και H.264 SVC (Scalable Video Coding) κωδικοποίησης προκειμένου να εγγυηθεί υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (bit rates) και πρότυπα ποιότητας.

- DVB-S2 VCM/ACM

Στο πρότυπο DVB-S2, η λειτουργία VCM (Variable Code and Modulation-Μεταβλητής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης) ορίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανάδραση από κάθε τερματικό για την αποτελεσματικότητα της διαμόρφωσης κυματομορφής. Σε μια τέτοια περίπτωση, εκτελείται ένας σύνδεσμος ειδικού προϋπολογισμού σε κάθε τερματικό και για καθένα από αυτά ορίζεται μια σταθερή απόδοση, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα που απαιτείται. Στην περίπτωση αυτή, η προσαρμογή που συνδέεται με τις καιρικές συνθήκες εξαφανίζεται, αλλά δεν υπάρχουν περιορισμοί για το χειρότερο σύνδεσμο που εφαρμόζεται σε ολόκληρη την περιοχή. Η λειτουργία ACM (Adaptive Code and Modulation -Προσαρμοστικής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης) απαιτεί ένα τερματικό ανατροφοδότησης στο κανάλι επιστροφής και επιτρέπει σε κάθε τερματικό να λαμβάνει την καλύτερη απόδοση που σχετίζεται με τις συνθήκες απόσβεσής της.




- H.264 SVC

Η κωδικοποίηση SVC (Scalable Video Coding) είναι ένα νέο χαρακτηριστικό που αναπτύχθηκε για το H.264 (MPEG-4 Part 10) πηγαίο κώδικα, το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση της ίδιας αλληλουχίας βίντεο κωδικοποιημένη με διαφορετικές αναλύσεις ή/και ρυθμούς μετάδοσης (bit rate) και/ή διαμόρφωση SD-HD (standard-definition (SD) High-definition (HD)). Η κωδικοποίηση SVC αναπτύχθηκε ώστε να εφαρμόζεται κατά βάση σε κινητά οικοσυστήματα (Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds) και σε υπηρεσίες ADSL βίντεο, αλλά έχει επίσης και σημαντικότερες εφαρμογές για την μεταφορά βίντεο IP πάνω από δορυφορικά συστήματα Ka μπάντας. Σαν ένα παράδειγμα, η ίδια αλληλουχία βίντεο μπορεί να κωδικοποιηθεί σε μορφή SD (720x576i στα 50 Hz) και HD (1920x1080p στα 60 Hz)

Σε συνδυασμό με την κωδικοποίηση SVC η μορφή HD- High-definition θα μπορούσε να ληφθεί από ένα τερματικό σε συνθήκες καθαρής ατμόσφαιρας καθώς και η μορφή SD - standard-definition θα μπορούσε να ληφθεί από άλλο τερματικό επηρεαζόμενη από τις συνθήκες απόσβεσης (π.χ. βροχή). Σε περίπτωση των ισχυρών συνθηκών απόσβεσης ένα πρόγραμμα SD - standard-

definition με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit θα είναι διαθέσιμο προκειμένου να διατηρηθεί η τηλεοπτική υπηρεσία.

Εφαρμοζόμενη στην δορυφορική τηλεόραση, η κωδικοποίηση SVC με δυνατότητα DVB-S2 VCM/ACM δεν θα επιτρέψει την πλήρη πολυεκπομπή των τριών προγραμμάτων που φαίνονται στην εικόνα 3.5 που ακολουθεί, αλλά μόνο ενός προγράμματος με 3 επίπεδα που προστατεύονται με διαφορετική αποτελεσματικότητα. Οι ρυθμοί μετάδοσης και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας είναι υπό μελέτη.

Definition	MPEG4 encoding bit rate <i>under study</i>	DVB-S2 Efficiency <i>under study</i>	Example of quality
SD	1Mbps	QPSK 2/3 1.33	
SD	2.5Mbps	QPSK 5/6 1.66	
HD	8Mbps	8PSK 2/3 1.99	

Εικόνα 3.5 SVC κωδικοποίηση που εφαρμόζεται σε δορυφόρους KA-SAT για νέες υπηρεσίες τηλεόρασης

### Συμπεράσματα

Η Eutelsat έχει δημιουργήσει την κορυφαία τεχνολογία δορυφορικού βίντεο παγκοσμίως, συγκεντρώνοντας περισσότερα από 1,100 κανάλια. Το 2010 με το λανσάρισμα του δορυφόρου KA-SAT, η Eutelsat τριπλασίασε τη συνολική χωρητικότητα εμποροποιώντας την τροχιά των πόρων της και οδηγώντας έτσι την ευρυζωνικότητα σε νέους ορίζοντες. Με την ένωση των τεχνολογιών αιχμής των Ku και Ka –μπάντας ανέπτυξε μια μοναδική υποδομή στην Ευρώπη που είναι σε θέση να :

- Παραδώσει ένα πλήρες φάσμα ψηφιακών υπηρεσιών προς τους καταναλωτές (DTH-Direct to The Home και διαδραστικές υπηρεσίες όπως είναι το triple play),
- Να λάβει όφελος από μια νέα μπάντα (Ka) και να ενεργοποιήσει την ικανότητα της Ku μπάντας να διαφυλαχθεί για τηλεοπτική μετάδοση (TV broadcasting),
- Να ικανοποιήσει μια πραγματική κοινή λύση για το ψηφιακό χάσμα που υπάρχει σε όλη την περιοχή της Ευρώπης.

Χάρη στο δορυφόρο KA-SAT και στο σύστημα νέας γενιάς Surfbeam™ από τη ViaSat, οι υπηρεσίες της Tooway™ θα αυξήσουν την απόδοση των υπηρεσιών που προσφέρονται ήδη στους συνδρομητές σε τιμές συγκρίσιμες με αυτές των ADSL υπηρεσιών και των συνδέσεων καλωδιακού μόντεμ (cable modem connections).

### **3.4 Υποδομή παροχής Ευρυζωνικών IP Υπηρεσιών- βασιζόμενη σε δορυφόρο- για αμαξοστοιχίες μεγάλης ταχύτητας.**

Έπειτα από τις παλαιότερες τεχνολογίες που προσέφεραν δορυφορικές κινητές υπηρεσίες για πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές, οι ειδικής σχεδίασης σημερινές κεραιές, οι διαφοροποιημένες τεχνικές και οι πιο ισχυροί δορυφόροι νέας γενιάς επιτρέπουν επίσης την επίτευξη ενός καλού επιπέδου απόδοσης σε λειτουργίες υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων, όπως σε αεροσκάφη ή τρένα. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε την εμπειρία της Eutelsat στην ανάπτυξη και εγκατάσταση της αρχιτεκτονικής βασιζόμενης σε ένα σύστημα φασματικής εξάπλωσης προκειμένου να παρέχει ευρυζωνική συνδετικότητα στα τρένα υψηλής ταχύτητας.

Δύο λόγοι εξηγούν την ανάπτυξη ευρυζωνικών επικοινωνιών σε πλοία, αεροσκάφη και τρένα: πρώτον, η ανάγκη για την εξυπηρέτηση και την ασφάλεια των πληροφοριών μεταφοράς (π.χ. παρακολούθηση και ειδοποιήσεις) και δεύτερον, η ανάγκη για πρόσθετες δημόσιες υπηρεσίες, όπως πρόσβαση στο Ίντερνετ και εφαρμογές πολυμέσων (βίντεο και πλούσια διανομή περιεχομένου), έτσι ώστε να καταστεί το μέσο μεταφοράς, που προσφέρει την εφαρμογή, μια πιο ελκυστική επιλογή για τους επιβάτες.

Για την παροχή υπηρεσιών βασιζόμενες σε τεχνολογία IP επί των πολιτικών αεροσκαφών καθώς και των τρένων υψηλής ταχύτητας, η Eutelsat ανέπτυξε μια δορυφορική υποδομή που βασίζεται σε μετάδοση ευρέος φάσματος και ειδικές κεραιές έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις λειτουργίας ενός

κινητού περιβάλλοντος. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την αρχιτεκτονική που σχεδιάστηκε προκειμένου να παρέχει IP υπηρεσίες επί των τρένων υψηλής ταχύτητας. Μια τέτοια αρχιτεκτονική αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας των επίγειων ζεύξεων μεταξύ της αμαξοστοιχίας και του χώρου όπου ο δορυφόρος δεν είναι ορατός.

### **3.4.1 Το σιδηροδρομικό περιβάλλον**

#### **3.4.1.1 Κινητές Δορυφορικές Επικοινωνίες σε τρένα υψηλής ταχύτητας**

Κατά κανόνα, οι κινητές σιδηροδρομικές επικοινωνίες μπορούν να επωφεληθούν από το να έχουν μια στατική διαδρομή (static path), γεγονός που θα μείωνε την πολυπλοκότητα των υποδομών μεταφοράς π.χ. με τη χρήση ραδιοφωνικών δικτύων σε ολόκληρη τη σιδηροδρομική γραμμή. Δυστυχώς, τα περισσότερα μέρη της υψηλής ταχύτητας του σιδηροδρομικού δικτύου τοποθετούνται σε απομονωμένες περιοχές όπου εξειδικευμένες επίγειες επικοινωνιακές υποδομές δεν είναι οικονομικά βιώσιμες. Για το λόγο αυτό, οι δορυφορικές επικοινωνίες θεωρούνται η πιο κατάλληλη εναλλακτική λύση για παροχή IP υπηρεσιών, λόγω της δυνατότητας του συνόλου του στόλου ή των στόλων να χρησιμοποιούνται από μια ή και περισσότερες σιδηροδρομικές επιχειρήσεις που μοιράζονται την ίδια υποδομή.

Όμως, με αυτόν τον τρόπο, οι δορυφορικές επικοινωνίες επί των αμαξοστοιχιών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη διάφορα πρόσθετα θέματα. Πρώτον, την παρουσία επίμονων εμποδίων στη γραμμή όρασης του δορυφόρου (satellite's line of sight (LOS)), π.χ. σήραγγες, τα δάση, ακουστικούς μονωτές, τα κτίρια και οι ίδιοι οι σταθμοί, διακόπτουν τη μεταδοτικότητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με μία κάθετη μεταπομπή, δηλαδή ενεργοποιώντας αυτόματα την κίνηση σε ένα τοπικό σύνδεσμο. Η κάθετη μεταπομπή από μόνη της δεν εκπληρώνει το καθήκον της μείωσης της μη διαθεσιμότητας της σύνδεσης IP: πράγματι, μια πολύ γρήγορη διαδικασία ανάκτησης δορυφορικής σύνδεσης, τόσο από την άποψη της παρακολούθησης της κεραίας και του συγχρονισμού εκ νέου του συστήματος, θα πρέπει να είναι διαθέσιμα στην έξοδο της μη-LOS περιοχής προκειμένου να μειωθεί η μη διαθεσιμότητα.

Άλλες διαταραχές προκαλούνται από περιστασιακά εμπόδια ή περιοδικά εμπόδια. Η επίδρασή τους στην κυκλοφορία εξαρτάται από το πρωτόκολλο που εγκρίθηκε στην επικεφαλίδα της IP. Εάν υποθέσουμε ότι αυτές οι περιστασιακές διακοπές δεν επηρεάζουν το συγχρονισμό του συστήματος επί του οχήματος, οι διάφορες προσεγγίσεις έχουν αναλυθεί με σκοπό την άμβλυνση των εν λόγω απωλειών: αφενός, με την εφαρμογή της αρχής της ποικιλομορφίας χρόνου για τα ανώτερα

στρώματα, για παράδειγμα με «ελεγχόμενη» επανάληψη των πακέτων δεδομένων, η οποία, ωστόσο, έχει το μειονέκτημα της μείωσης της αποτελεσματικότητας. Η αρχή της πολυμορφίας μπορεί επίσης να υιοθετηθεί στο φυσικό στρώμα, ενώ χρησιμοποιείται μετάδοση με χρονικά διαστήματα με επανάληψη. Μια δεύτερη λύση είναι η εισαγωγή της παρεμβολής στις αλυσίδες διαφοροποίησης, η οποία υπάρχει ήδη για τα πρότυπα DVB-S και DVB-S2, αλλά δεν έχει ακόμη εφαρμοστεί σε διαδραστικό κανάλι.

Ακόμη και εάν επιτευχθεί καλή διαθεσιμότητα των υπηρεσιών με τις διαθέσιμες τεχνολογίες, άλλες πτυχές (όχι λιγότερο σημαντικές) στο περιβάλλον του σιδηροδρόμου επιβάλλουν πρόσθετους περιορισμούς και στην πραγματικότητα αποτέλεσαν τις συνθήκες που οδήγησαν στην αρχιτεκτονική Eutelsat και στο σχεδιασμό του συστήματος. Αναφερόμαστε σε περιβαλλοντικά θέματα και θέματα ασφαλείας, τα οποία περιγράφονται καλά στα σιδηροδρομικά πρότυπα.

#### **3.4.1.2 Μηχανολογικοί και Ηλεκτρολογικοί περιορισμοί**

Για τα τρένα υψηλής ταχύτητας με τη δυνατότητα να ταξιδεύουν με ταχύτητα μέχρι τα 350 χιλιόμετρα/ώρα, υπάρχουν μηχανικοί περιορισμοί που επιβάλλονται κυρίως από την άποψη του εξοπλισμού που εγκαθίσταται, τόσο στο εσωτερικό των οχημάτων όσο και στην οροφή. Ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται στην οροφή του τρένου, με κεραίες ραδιοσύζευξης, πρέπει να εισαγάγει ένα χαμηλό επίπεδο αεροδυναμικής έτσι ώστε να παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε περίπτωση ισχυρής επιτάχυνσης είτε πίεσης στις εισόδους των σηράγγων (ιδιαίτερα όταν δύο τρένα περνούν αμοιβαία) καθώς και σε δονήσεις.

Υπάρχουν επίσης και περιορισμοί που οφείλονται στο βάρος, τον όγκο και το σχήμα της κεραίας η οποία για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να συμφωνεί με διάφορες προδιαγραφές. Για παράδειγμα, η ακτινοβολία της δορυφορικής κεραίας θα πρέπει να τηρεί μια απόσταση ασφαλείας από τη μόνωση των εναέριων καλωδίων υπό δυναμικές συνθήκες.

Η τήρηση όλων αυτών των περιορισμών κατέστη δυνατή χάρη σε μια κεραία χαμηλής ακτινοβολίας που παράγεται από την Space Engineering, η οποία εξασφαλίζει αποδεκτές επιδόσεις όσον αφορά στην EIRP (effective isotropic radiated power- ισότροπα ακτινοβολούμενη ισχύ).

Επιπλέον, ο εξοπλισμός πρέπει να συμμορφώνεται με αρκετές αρχές που υπαγορεύονται από το ηλεκτρικό περιβάλλον. Ειδικότερα, ο εξοπλισμός πρέπει να είναι συμβατός με την τροφοδοσία ρεύματος, και οτιδήποτε ατελές ή ασταθές είναι ήδη στο όχημα.

### **3.4.1.3 Έλεγχος ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών**

Ειδικοί κανονισμοί όπου σχετίζονται με τις δορυφορικές επικοινωνίες σε τρένα έχουν πρόσφατα καθοριστεί από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI - European Telecommunications Standards Institute), με ένα πρότυπο που στοχεύει τη μείωση των παρεμβολών στο γύρω περιβάλλον, καθώς και των γειτονικών δορυφόρων. Η επιλογή του δορυφορικού συστήματος, σε αυτή την περίπτωση βασίζεται σε μια ευρέως φάσματος διαφοροποίηση, υπήρξε θεμελιώδης για τη συμβατότητα με τις ενδείξεις του ETSI, καθώς και του σχεδιασμού της κεραίας.

### **3.4.2 Το δορυφορικό σύστημα - Ασύγχρονη πρόσβαση διάδοσης φάσματος στο Δορυφόρο**

Δύο κριτήρια εφαρμόστηκαν κατά την επιλογή του δορυφορικού συστήματος: τη δυνατότητα να παρέχει στον πελάτη όσο το δυνατόν υψηλότερη απόδοση, και τη συμβατότητα με τις απαιτήσεις του ETSI για τη μείωση των παρεμβολών. Αν η πρώτη προϋπόθεση μπορεί να συνδυαστεί με όλα τα πιο κοινά εμπορικά δορυφορικά συστήματα, η δεύτερη οδήγησε στην επιλογή ενός φασματικού συστήματος. Στην πραγματικότητα, η διαδικασία εξάπλωσης συμβάλλει στη μείωση της ενός και εκτός άξονα πλαστής ακτινοβολίας από την άποψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος, η οποία είναι μια από τις κύριες απαιτήσεις του ETSI. Το σύστημα Viasat Archlight υλοποιεί μια αμφίδρομη τοπολογία αστέρα μέσω δορυφόρου, όπου τα εισερχόμενα πακέτα βασίζονται στους κατοχυρωμένους αλγορίθμους Viasat γνωστοί και ως Code Re-use Multiple Access (CRMA)- Κώδικας επαναχρησιμοποίησης πολλαπλής πρόσβασης. Ο CRMA, ο οποίος έχει προέλθει από το πρωτόκολλο Spread Aloha Multiple Access, υιοθετεί ένα σύστημα διασποράς όπου υπάρχει μόνο μια άμεση ακολουθία κώδικα-λέξης, η οποία είναι μεγαλύτερη οπότε και το σύμβολο, χρησιμοποιείται από όλους τους τερματικούς σταθμούς. Είναι, ως εκ τούτου παρόμοια με τη μέθοδο ALOHA για πρόσβαση σε ένα ραδιοφωνικό κανάλι, με διαφορετικά απομακρυσμένα τερματικά να μοιράζονται την ίδια εισερχόμενη μετάδοση κίνησης ασύγχρονα.

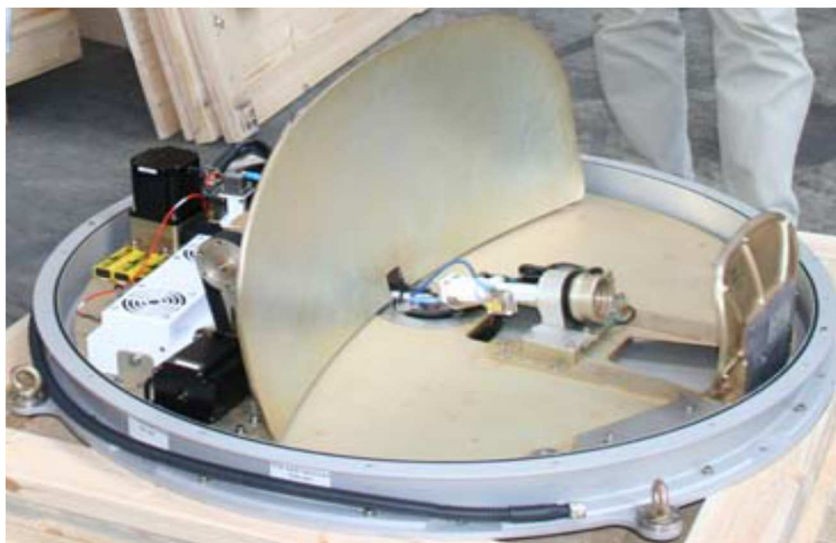
Χάρη στη διαδικασία εξάπλωσης φάσματος, μια σύγκρουση δυο διαδεδομένων σημάτων (και κατά συνέπεια απώλεια πληροφοριών) συμβαίνει μόνο όταν τα πρώτα chips των δυο κωδικοποιημένων ριπών επικαλύπτονται και η πιθανότητα σύγκρουσης μειώνεται έντονα. Επιπλέον, η χρήση μιας μόνο κωδικής λέξης μειώνει την πολυπλοκότητα των αποδιαμορφωτών, σε σύγκριση με το πρωτόκολλο CDMA ή το Spread Aloha CDMA, διότι μόνο ένας διακόπτης προστασίας κτήσης (με correlation) απαιτείται για όλα τα απομακρυσμένα τερματικά. Το πρωτόκολλο CRMA παρουσιάζει ένα επιπλέον πλεονέκτημα για την απλοποίηση του χρόνου/συχνότητας αλγορίθμου ανάκτησης κατά τη διαδικασία συγχρονισμού (σχεδόν χωρίς βρόχο), το οποίο καθιστά γρηγορότερες τις

διαδικασίες εκ νέου απόκτησης και εκ νέου εισόδου. Έτσι, σε κινητές εφαρμογές με συχνή διακοπή της απώλειας σήματος (LOS- loss of signal), η δυνατότητα μιας ταχείας ανάκαμψης μετά από δορυφορική απώλεια επαφής επιτρέπει την αύξηση της διαθεσιμότητας της υπηρεσίας. Επιπλέον, η μείωση της πολυπλοκότητας σήμανσης έχει μια θετική συνεισφορά στη συνολική απόδοση του συστήματος.

Η έξοδος του συστήματος είναι ένα σήμα διάδοσης TDM (Time Division Multiplexing), όπου ο παράγοντας διασποράς μπορεί να είναι 1,2 ή 4. Το σύστημα Arclight βελτιώνει τη φασματική απόδοση χάρη στο πρωτόκολλο Paired Carrier Multiple Access (PCMA) , όπου τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα πακέτα μπορούν να μοιραστούν την ίδια χωρητικότητα. Ο αλγόριθμος PCMA βασίζεται στην αρχή ότι, στην περίπτωση όπου δυο σήματα υπερτίθενται, εάν το κανάλι μεταξύ του πομπού και του δέκτη μπορεί να εκτιμηθεί και το πρότυπο ενός από των δύο σημάτων είναι γνωστό εκ των προτέρων, να εξάγεται από το λαμβανόμενο σύνθετο σήμα , προκειμένου να ανακτήσει το δεύτερο. Το μειονέκτημα σε αυτό το είδος τεχνολογίας είναι το υψηλό κόστος που απαιτείται για την ταυτοποίηση εισερχόμενων πακέτων, με την επακόλουθη μείωση της αποτελεσματικότητας να αντισταθμίζεται από τη μείωση του μεταδιδόμενου σήματος

### 3.4.3 Η Δορυφορική Κεραία μικρής ακτινοβολίας

Μια αυτόματης παρακολούθησης κεραία μικρής ακτινοβολίας (βλ. Εικ. 3.6) έχει σχεδιαστεί ειδικά από την Space Engineering για την εφαρμογή της επί των αμαξοστοιχιών μεγάλης ταχύτητας. Πρόκειται για ένα διπλό ανακλαστήρα Γρηγοριανών κατευθυνόμενων κεραίων. Έχει πραγματοποιηθεί κάποια βελτιστοποίηση με τον περιορισμό της γεωγραφικής περιοχής εντός της οποίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κεραία και μπορεί να απασχολεί μια περιορισμένη υποομάδα του δορυφόρου της Eutelsat.



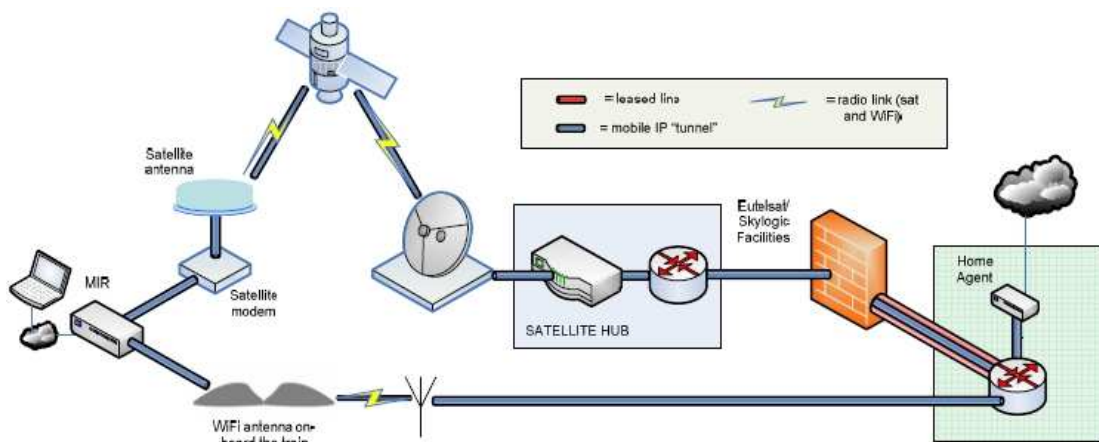
Εικόνα 3.6 Η δορυφορική κεραία χαμηλής ακτινοβολίας για τρένα υψηλής ταχύτητας

### 3.4.4 Οι αποδόσεις της κεραίας

Τρεις διαμορφώσεις λήφθηκαν υπόψιν, οι οποίες προέρχονται από τη διαδικασία εξέλιξης του πρωτοτύπου (configuration A), μέσω της πρώτης σειράς (configuration B) και της σειράς που προβλέπεται (configuration C).

Parameters	Config. A	Config. B	Config. C
Antenna gain	30.5 dBi	33.4 dBi	33.4 dBi
XPD min	25 dB		
G/T	9 dB/K	10.5 dB/K	12 dB/K

Εικόνα 3.7 Αποδόσεις της κεραίας



Εικόνα 3.8 Σχήμα της διασύνδεσης

### Επίλογος

Μεγάλης σημασίας οι υπηρεσίες που προσφέρουν σήμερα τα δορυφορικά συστήματα καθώς και πολλές οι εφαρμογές τους. Triple play, GPS, ταχύτερη επικοινωνία σε απόμακρα σημεία, Voip επικοινωνίες χαμηλού κόστους είναι κάποια από αυτά. Το παρόν των δορυφορικών επικοινωνιών μας έχει δείξει πολλά. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε τι μας επιφυλάσει το άμμεσο μέλλον.



## Κεφάλαιο 4 – Το μέλλον στις δορυφορικές επικοινωνίες

### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα ρίξουμε μια ματιά στο άμεσο μέλλον των δορυφορικών επικοινωνιών και πιο συγκεκριμένα στη χρήση δέσμης laser καθώς και στις δυσκολίες που παρουσιάζονται έως ότου καταφέρουμε να χαλιναγωγήσουμε και αυτή την τεχνολογία προς όφελος των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών μας.

#### 4.1 Επισκόπηση του Laser Communications Relay Demonstration Project

Ο σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ διαστημικών παρατηρητηρίων και Γης αποτελεί για πολύ καιρό μια κρίσιμη αποστολή. Οι πληροφορίες από μια επιστημονική έρευνα ή ανακάλυψη θα πρέπει να επιστραφούν πίσω στη γη. Όσο περισσότερη πληροφορία μπορεί να σταλεί πίσω, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα ότι η αποστολή θα αποβεί ωφέλιμη στην επιστήμη. Διάφορες τεχνολογίες, όπως οι επικοινωνίες υψηλού εύρους ζώνης RF και η συμπίεση δεδομένων χωρίς απώλειες έχουν βελτιώσει τις ικανότητες κατά την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν καταφέρνουν να συμβαδίσουν με τις ανάγκες των προηγμένων οργάνων που μπορούν να πετάξουν στο διάστημα σήμερα. Οι οπτικές Επικοινωνίες (ή επικοινωνίες μέσω λέιζερ ή "lasercom") είναι μια επαναστατική τεχνολογία που επιτρέπει στη NASA να αναλάβει πιο σύνθετες αποστολές στο μέλλον που απαιτούν περισσότερη αύξηση στα ποσοστά των δεδομένων από τη μία μεριά και μείωση σε μάζα-μέγεθος-κατανάλωση ισχύος στο διαστημικό σκάφος από την άλλη. Για περίπου την ίδια μάζα, όγκο και ισχύ ενός διαστημικού σκάφους, ένα οπτικό σύστημα επικοινωνίας θα παράσχει σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με ένα συγκρίσιμο σύστημα ραδιοσυχνοτήτων.

Για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (π.χ. 1 Gbps εξόδου), ένα σύστημα οπτικών επικοινωνιών θα απαιτήσει μικρότερη μάζα, όγκο και ισχύ από ένα συγκρίσιμο σύστημα ραδιοσυχνοτήτων.

Η βραχυπρόθεσμη ζήτηση για υπηρεσίες υψηλού εύρους ζώνης κατευθύνεται από την Science Mission Directorate της NASA, η οποία επιθυμεί να αναπτύξει πιο ικανά όργανα για εξοπλισμό διαστημοπλοίου. Μακροπρόθεσμα, τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τις πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων που απαιτούνται για να υποστηρίξουν το υπόστρωμα των εξώτερων πλανητών, διπλής

κατεύθυνσης και υψηλής ευκρίνειας τηλεοπτικές μεταδόσεις από και προς το φεγγάρι και σε άλλους εξερευνητικούς στόχους κοντά στη Γη καθώς και την υποστήριξη αστροναυτών στον Άρη. Κοντά στη Γη, συμπεριλαμβανομένων και των σεληνιακών διαστημοπλοίων θα πρέπει να υπάρχουν αμφίδρομες συνδέσεις που υποστηρίζουν εκατοντάδες Mbps ή Gbps. Οι πιο εξειδικευμένες αποστολές (deep space missions) θα χρειαστούν δεκάδες έως και εκατοντάδες Mbits/δευτερόλεπτο για αποστάσεις όπως ο Άρης και ο Δίας. Μια εικόνα από το Mars Reconnaissance Orbiter λαμβάνει επί του παρόντος 90 λεπτά της ώρας για τη μετάδοση πίσω στη Γη με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps. Αυτό το εμπόδιο γίνεται ο περιορισμός στην απόδοση της επιστήμης. Το Lunar Reconnaissance Orbiter ήταν ικανό να μεταδώσει περισσότερα δεδομένα από όλες τις πλανητικές αποστολές με ένα downlink των 100 Mbps. Περισσότερες αυξήσεις του ρυθμού δεδομένων πάνω από αυτές τις τρέχουσες δυνατότητες αποστολής είναι εφικτές χρησιμοποιώντας οπτικές επικοινωνίες.

Πέρα από την εξοικονόμηση μάζας, μεγέθους και ισχύος, το υψηλότερο εύρος ζώνης δεδομένων θα επιτρέψει αποστολές με το σημερινό όγκο δεδομένων να λειτουργούν ενώ απαιτούν λιγότερο χρόνο για τις δραστηριότητες επικοινωνίας. Αυτή η εξοικονόμηση του χρόνου επικοινωνίας θα μειώσει τα λειτουργικά προβλήματα τόσο για το διαστημόπλοιο όσο και την υποστηρικτική υποδομή δικτύων επικοινωνιών. Υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ των τεχνολογικών προσεγγίσεων για οπτικές επικοινωνίες ειδικά σχεδιασμένων για αποστολές μικρής τροχιάς (Near Earth) έναντι των αποστολών μεγάλης τροχιάς (Deep Space). Λόγω των πολύ διαφορετικών σειρών και ρυθμών δεδομένων για αποστολές μικρής τροχιάς σε σχέση με τις αποστολές μεγάλης τροχιάς, ορισμένες από τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε κάθε τομέα διαφέρουν με έντονο τρόπο. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πολλές τεχνολογίες που είναι παρόμοιες με αυτές τις δύο. Το Laser Communications Relay Demonstration Project θα καταδείξει κρίσιμες τεχνολογίες οπτικών επικοινωνιών που αφορούν τόσο στις αποστολές μικρής τροχιάς όσο και στις αποστολές μεγάλης τροχιάς. Επιπλέον θα καταδείξει ενέργειες αναμετάδοσης δικτύου που βασίζονται σε εφαρμογές Near Earth και Deep Space.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία οπτικών επικοινωνιών έχουν αποδείξει την ικανότητά τους να επιτυγχάνουν αμφίδρομες συνδέσεις δεδομένων χαμηλής τροχιάς πέραν των 10 Gbps κάνοντας χρήση του Differential Phase Shift Keying Modulation (DPSK).

Ομοίως, διασυνδέσεις υψηλής τροχιάς με downlinks πέραν του 1 Gbps και uplinks πέραν των 100 Mbps μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές διαμόρφωσης μέτρησης φωτονίων (Photon Counting) και Παρακολούθησης θέσης παλμού (Counting and Pulse Position Monitoring –PPM). Οι τεχνικές αυτές είναι επίσης κρίσιμες τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνιών για διαστημικά σκάφη πολύ χαμηλής τροχιάς (LEO) που χρειάζονται υψηλή απόδοση, αλλά χαμηλή ισχύ

και μικρή μάζα. Η αποστολή Laser Communications Relay Demonstration (LCRD) θα παρέχει μια διαστημική τεχνολογία επίδειξης των οπτικών επικοινωνιών, χρησιμοποιώντας τόσο DPSK και PPM διαμορφωμένα σήματα. Η LCRD θα χρησιμοποιήσει καταμέτρηση φωτονίων στο PPM downlink και θα χρησιμοποιήσει τα υφιστάμενα συστήματα και μικρές διαφοροποιήσεις σε άλλα συστήματα για τον πλήρη χαρακτηρισμό υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων οπτικών επικοινωνιών σε ένα περιβάλλον διαστημικής πτήσης.

#### **4.2 Αξιοποιώντας το Lunar Laser Communication Demonstration της NASA**

Η NASA κάνει σήμερα μια μεγάλη επένδυση στο Lunar Laser Communication Demonstration (LLCD). Το LLCD θα αποδείξει τη σκοπιμότητα των οπτικών επικοινωνιών, αλλά λόγω του πολύ περιορισμένου χρόνου λειτουργίας του (όχι περισσότερο από 16 ώρες στη διάρκεια της αποστολής) δεν θα παρέχει την αναγκαία επιχειρησιακή γνώση για να επιτρέψει στις οπτικές επικοινωνίες να είναι κρίσιμης σημασίας για τις μελλοντικές αποστολές. Ωστόσο, το LLCD θα έχει την ικανότητα να επιδείξει:

- τη διαμόρφωση θέσης παλμού
- την καταμέτρηση φωτονίων στο downlink
- την αδρανειακή σταθεροποίηση
- τη μετάδοση υψηλής απόδοσης και την υποδοχή διαμόρφωσης θέσης παλμού
- τα πολύ χαμηλού μεγέθους, βάρους και λειτουργικής ισχύος τερματικά
- την ενσωμάτωση ενός τερματικού οπτικών επικοινωνιών σε ένα διαστημόπλοιο.
- τη λειτουργία διασύνδεσης υπό ορισμένες συνθήκες (περιορισμένη λόγω του πολύ περιορισμένου χρόνου λειτουργίας)
- τον επίγειο δέκτη κλιμακωτού πίνακα

Δυστυχώς όμως το LLCD δεν επαρκεί. Για να γίνουν οι οπτικές επικοινωνίες χρήσιμες για μελλοντικά έργα, τερματικά αποστολών μεγάλης διάρκειας πρέπει να αναπτυχθούν και να δοκιμαστούν.

Για να διατηρήσουμε τη διαθεσιμότητα μιας σύνδεσης οπτικών επικοινωνιών σε περίπτωση που σύννεφα καλύπτουν έναν επίγειο σταθμό, χρειάζεται μια διαδοχική μεταπομπή της σύνδεσης από σταθμό σε σταθμό, χωρίς να υπάρξει διακοπή από μεταφορά σε μεταφορά. Για εφαρμογές κοντά στη Γη, αυτό που

πρέπει να επιτευχθεί, είναι η αναμετάδοση ενός σήματος οπτικών επικοινωνιών στο διάστημα καθώς επίσης και η κατάλληλη διαμόρφωση-κωδικοποίηση του σήματος αυτού για συνδέσεις πολύ υψηλής ταχύτητας.

Το νέο έργο οπτικών επικοινωνιών της NASA θα απαντήσει στα παραπάνω για εφαρμογές κοντινής απόστασης από τη Γη.

Το LCRD θα έχει δυο τερματικά οπτικών επικοινωνιών στο διάστημα και δυο τερματικά οπτικών επικοινωνιών στη Γη για να μπορέσει η αποστολή να επιδείξει:

- υψηλό ποσοστό αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ της Γης και της γεωστατικής γήινης τροχιάς (GEO)
- οπτική αναμετάδοση σε πραγματικό χρόνο από το γήινο σταθμό 1 μέσω του LCRD, στο γήινο σταθμό 2.
- διαμορφώσεις θέσεων παλμού κατάλληλες για αποστολές στο μακρινό διάστημα είτε για χρήστες περιορισμένης ισχύος όπως για παράδειγμα οι μικρές αποστολές σε κοντινή απόσταση από τη Γη.
- διαμορφώσεις κατάλληλες για αποστολές επικοινωνιών κοντά στη Γη υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων.
- σενάρια αποστολών σε προσομοιωτές διαστημικού σκάφους στο σταθμό εδάφους της Γης.
- την απόδοση και την επίδειξη των πρωτοκόλλων κωδικοποίησης, στρώματος ζεύξης, και στρώματος δικτύου μέσω οπτικών συνδέσεων σε μια δοκιμαστική τροχιά (orbiting testbed).

### 4.3 To Flight Payload

Το LCRD flight payload θα πετάξει σε ένα διαστημόπλοιο GEO και θα αποτελείται από:

- δύο μονάδες οπτικών επικοινωνιών (κεφαλές)
- δύο ελεγκτές οπτικών μονάδων
- δύο μόντεμ Differential Phase Shift Keying (DPSK)
- δύο μόντεμ Pulse Position Modulation (PPM)
- High Speed Electronics για τη διασύνδεση των δύο οπτικών μονάδων, την εκτέλεση επεξεργασίας δικτύου και δεδομένων και τη διασύνδεση με το διαστημόπλοιο υποδοχής.

Ένα τερματικό οπτικών επικοινωνιών για LCRD αποτελείται από μια οπτική μονάδα, μόντεμ DPSK, μόντεμ PPM και μία μονάδα οπτικού χειριστήριου.

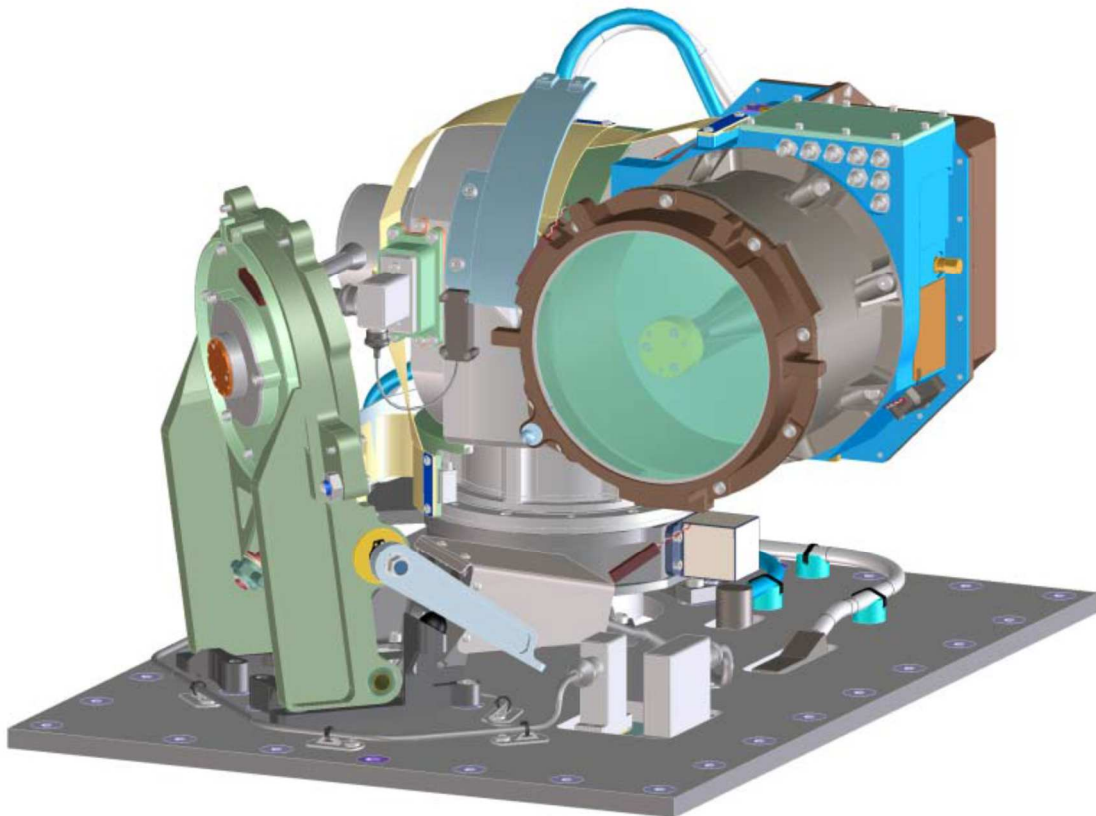
#### 4.4 Η μονάδα οπτικών επικοινωνιών πτήσης (Flight Optical Communications Module)

Κάθε ένα από τα δύο οπτικά τερματικά επικοινωνιών που θα πετάξουν στο διαστημικό σκάφος GEO, θα έχουν ως σκοπό τους να μεταδίδουν και να λαμβάνουν οπτικά σήματα.

Κατά τη μετάδοση οπτικών σημάτων, οι κύριες λειτουργίες του τερματικού οπτικών επικοινωνιών GEO θα είναι: να παράξει οπτική ισχύ ικανή να μεταφέρει δεδομένα που έχουν διαμορφωθεί, να μεταφέρει αυτή την ισχύ με οπτικά μέσα και να μπορέσει να οδηγήσει-στοχεύσει την στενή αυτή οπτική δέσμη στο γήινο σταθμό, παρά των δονήσεων, κινήσεων και στρεβλώσεων της πλατφόρμας του.

Κατά τη λήψη οπτικών σημάτων το τερματικό οπτικών επικοινωνιών GEO πρέπει να έχει ένα συλλέκτη τόσο μεγάλο, που να είναι ικανός να συλλάβει επαρκή ισχύ για να υποστηρίξει τον υψηλό ρυθμό των δεδομένων, να οδηγήσει αυτό το φως σε πολύ ευαίσθητους αισθητήρες απαλοιφοντας το φως του περιβάλλοντος και να φέρει σε πέρας τον συγχρονισμό-αποδιαμόρφωση-αποκωδικοποίηση της λαμβανόμενης κυματομορφής.

Κάθε οπτική μονάδα (Εικόνα 4.1) αποτελείται από ένα τεσσάρων ιντσών αντανακλαστικό τηλεσκόπιο που παράγει δέσμη 15 μικροακτινίων.



Εικόνα 4.1 Οπτική μονάδα σταθεροποίησης αδράνειας

Στεγάζει επίσης έναν ανιχνευτή με ένα οπτικό πεδίο περίπου 2 μικροακτινίων. Χρησιμοποιείται τόσο για την ανίχνευση ενός σήματος ανοδικής ζεύξης σάρωσης, όσο και ως αισθητήρας εντοπισμού για την αρχική έλξη του σήματος. Το τηλεσκόπιο είναι τοποθετημένο σε ένα μηχανισμό αντιζύγου δυο αξόνων μέσω μιας μαγνητοϋδροδυναμικής αδρανειακής μονάδας αναφοράς (MIRU). Γωνιομετρικοί αισθητήρες στο MIRU ανιχνεύουν τις γωνιακές διαταραχές οι οποίες στη συνέχεια απορρίπτονται χρησιμοποιώντας ενεργοποιητές πηνίου φωνής για αδρανειακή σταθεροποίηση του τηλεσκοπίου. Οπτικές ίνες διασυνδέουν την οπτική μονάδα με τα modems, όπου και επεξεργάζονται οι μεταδιδόμενες οπτικές κυματομορφές. Ο έλεγχος για κάθε οπτική μονάδα και για τα αντίστοιχα modems παρέχεται από έναν ελεγκτή. Κάθε οπτική μονάδα διατηρείται και προστατεύεται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης με ένα κάλυμμα.

#### **4.5 Flight Modems/ Μόντεμς πτήσης**

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, υπάρχουν κάποιες διαφορές στις τεχνολογικές προσεγγίσεις των οπτικών επικοινωνιών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για αποστολές κοντά στη Γη σε σχέση με αυτές που έχουν σχεδιαστεί για μεγαλύτερης κλίμακας αποστολές. Αυτό οφείλεται κυρίως στις πολύ διαφορετικές περιοχές και τους ρυθμούς δεδομένων που απαιτούνται για κάθε επιμέρους αποστολή. Ένας τομέας που εξετάστηκε αρκετά από τη NASA, είναι η κατάλληλη διαμόρφωση, κωδικοποίηση και το σύστημα ανίχνευσης για τους δύο αυτούς διαφορετικούς τύπους των αποστολών. Η καταμέτρηση φωτονίων και η Διαμόρφωση Θέσης παλμού Pulse Position Modulation (PPM) έχει ταυτοποιηθεί ως η τεχνική της επιλογής για αποστολές μακριά από τη Γη, ενώ η Differential Phase Shift Keying (DPSK) είναι η τρέχουσα προτιμώμενη επιλογή για αποστολές κοντά στη Γη. Το LCRD θα καταδείξει και τις δυο τεχνικές.

Η καταμέτρηση φωτονίων PPM είναι ιδιαίτερα αποδοτική, παρόλο που ο τελικός ρυθμός δεδομένων έχει περιορισμούς λόγω περιορισμών του ανιχνευτή φωτονίων. Το LCRD αξιοποιεί το μόντεμ PPM ως μια οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την παροχή ενός σήματος PPM. Το μόντεμ LLCD υποστηρίζει downlink μεταβλητού ρυθμού 39 ως 622 Mbits/second και μεταβλητού uplink από 10 έως 20 Mbps.

Ο πομπός πτήσης PPM κωδικοποιεί τα δεδομένα με ρυθμό  $\frac{1}{2}$  σειριακών συνεχόμενων PPM (SC-PPM). Η κωδικοποιημένη ροή δεδομένων παρεμβάλλεται συγκεραστικά (για την άμβλυνση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής εξασθένησης) και διαμορφώνεται με ένα δεκαεξαδικό PPM σύστημα διαμόρφωσης (το σήμα τοποθετείται ακριβώς μία φορά ανά κάθε 16 χρονικές υποδοχές). Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα ρολόι χρονικών υποδοχών συχνότητας 5 GHz. Οι χαμηλότεροι ρυθμοί δεδομένων

επιτυγχάνονται με συνδυασμό διαδοχικών σχισμών, μειώνοντας αποτελεσματικά το ρυθμό του ρολογιού, με ελάχιστο ρυθμό υποδοχής τα 311 MHz. Η οπτική διαφοροποίηση επιτυγχάνεται με την αρχιτεκτονική MOPA (Master Oscillator Power Amplifier). Ένα λέιζερ συνεχούς κύματος στα ~1550 nm είναι διαμορφωμένο με ένα διαμορφωτή Mach-Zehnder και ενισχύεται με έναν Erbium-doped fiber ενισχυτή δύο σταδίων (EDFA) με ένα επίπεδο μέσης ισχύος 0.5W.

Ο δέκτης πτήσης PPM είναι ένας οπτικός προ-ενισχυμένος δέκτης άμεσης ανίχνευσης. Μετά την ενίσχυση και το φιλτράρισμα, το σήμα είναι οπτικά χωρισμένο για να εκτελέσει την ανίχνευση χώρου, την ανάκτηση του ρολογιού και τις επικοινωνίες. Το LCRD θα υποστηρίξει επίσης την Differential Phase Shift Keying (DPSK), η οποία έχει ανώτερη ανοχή θορύβου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες δεδομένων, και να υποστηρίξει επικοινωνίες κατά τη διάρκεια που ο ήλιος βρίσκεται στο πεδίο θέασης. Το LCRD αξιοποιεί ένα MIT/LL DPSK μόντεμ που είχε σχεδιαστεί στο παρελθόν ως μια οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την παροχή ενός σήματος DPSK. Μπορεί να κάνει λήψη και μετάδοση δεδομένων σε ένα μη κωδικοποιημένο ρυθμό από 72 Mbps ως 2.88 Gbps. Σε μελλοντικά σενάρια αναμετάδοσης, θα μπορούσε να αντικατασταθεί από ένα μόντεμ DPSK υψηλότερου ρυθμού που θα υποστήριζε ταχύτητες δεδομένων πέραν των 10 Gbps. Το DPSK μόντεμ διαχειρίζεται ταυτόσημα σήματα τόσο για uplink όσο και για downlink κατευθύνσεις. Ο πομπός DPSK παράγει μια αλληλουχία παλμών σε ένα ρυθμό ρολογιού 2.88 GHz. Ένα bit κωδικοποιείται στη διαφορά φάσεως μεταξύ διαδοχικών παλμών. Η αποδιαμόρφωση επιτυγχάνεται με ένα οπτικό συμβολόμετρο Mach-Zehnde, όπου ο ρυθμός του ρολογιού παραμένει σταθερός. Ο πομπός DPSK χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική MOPA παρόμοια με του πομπού PPM. Η EDFA ενισχύει το οπτικό σήμα σε 0.5-W μέση στάθμη ισχύος. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων κάτω από το ανώτατο όριο επιτυγχάνονται μέσω της λειτουργίας “burst-mode”, όπου ο πομπός στέλνει παλμούς μόνο σε ένα κλάσμα του χρόνου και δεν στέλνει οπτική δύναμη καθ' όλη τη διάρκεια του υπολοιπούμενου χρόνου. Δεδομένου ότι η μέση ισχύς της EDFA περιορίζεται, η μέγιστη ισχύς κατά τη διάρκεια των εκρήξεων αυξάνεται. Έτσι η μείωση του ρυθμού επιτυγχάνεται με ένα τρόπο που σκοπό του έχει την αποτελεσματικότητα της ισχύος. Ο δέκτης DPSK έχει ένα οπτικό προ-ενισχυτικό στάδιο και ένα οπτικό φίλτρο, σε εκείνο το σημείο όπου το φως χωρίζεται ανάμεσα σε μια μονάδα ανάκτησης ρολογιού και ενός δέκτη επικοινωνιών. Ο δέκτης χρησιμοποιεί ένα συμβολόμετρο καθυστέρησης γραμμής που ακολουθείται από σταθεροποιημένους φωτοανιχνευτές για να συγκρίνει τις φάσεις των διαδοχικών παλμών, λαμβάνοντας μια δύσκολη απόφαση για κάθε bit του καναλιού. Κατά την εφαρμογή της κωδικοποίησης και της συγκεκριμένης παρεμβολής της ροής των δεδομένων για την άμβλυση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής εξασθένησης, ο πομπός πτήσης DPSK ούτε αποκωδικοποιεί αλλά και ούτε αποπαρεμβάλει. Αντ' αυτού, τα μόντεμς υποστηρίζουν μια αρχιτεκτονική

αναμετάδοσης όπου τα σφάλματα κατά το uplink και downlink διορθώνονται ταυτόχρονα από έναν αποκωδικοποιητή ο οποίος βρίσκεται στο σταθμό προορισμού στη Γη.

#### **4.6 Ηλεκτρονικά Υψηλής Ταχύτητας (High Speed Electronics)**

Για την πραγματοποίηση μιας οπτικής αναμετάδοσης, το LCRD θα δημιουργήσει μια σύνδεση μεταξύ δυο επίγειων σταθμών. Ένας σημαντικός στόχος της LCRD είναι να επιδείξει προηγμένες τεχνολογίες αναμετάδοσης στο διαστημικό σκάφος GEO. Το LCRD θα επιτρέψει μια ευρεία ποικιλία εργασιών αναμετάδοσης μέσω των ηλεκτρονικών υψηλής ταχύτητας (HSE) που συνδέουν τα δυο οπτικά τερματικά. Εκτός από τις λειτουργίες αναμετάδοσης σε πραγματικό χρόνο, τα ηλεκτρονικά θα επιτρέψουν σενάρια όπου η μια σύνδεση χρησιμοποιεί DPSK σηματοδότηση και η άλλη PPM. Μια γνωστή πρόκληση με οπτική επικοινωνία μέσα από την ατμόσφαιρα είναι η ευαισθησία στη νεφοκάλυψη. Τα ηλεκτρονικά υψηλής ταχύτητας θα περιλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσό αποθηκευτικού χώρου δεδομένων, προκειμένου να εξασφαλίσουν την αποθήκευση και την προώθηση της αναμετάδοσης όταν το uplink είναι διαθέσιμο αλλά το downlink δεν είναι διαθέσιμο. Τα ηλεκτρονικά υψηλής ταχύτητας θα υποστηρίξουν πρωτόκολλα DTN (Delay Tolerant Network). Για την υποστήριξη DTN πάνω από οπτικές συνδέσεις DPSK, τα ηλεκτρονικά υψηλής ταχύτητας θα υλοποιήσουν κάθε απαιτούμενη αποκωδικοποίηση και αποσύμπλεξη δεδομένων, έτσι ώστε ο ανάλογος εξοπλισμός στο διαστημόπλοιο να μπορεί να επεξεργαστεί και να δρομολογήσει τα δεδομένα (σε ρυθμό μικρότερο από τον μέγιστο ρυθμό του DPSK). Οι εργασίες σύνδεσης θα είναι διαμορφωμένες έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία σεναρίων.

#### **4.7 Το επίγειο τμήμα**

Το επίγειο τμήμα LCRD αποτελείται από το LMOC (LCRD Mission Operations Center) και δύο επίγειους σταθμούς. Το LMOC θα εκτελεί όλο τον προγραμματισμό, θα διοικεί και θα ελέγχει το LCRD και τους επίγειους σταθμούς. Κάθε επίγειος σταθμός της Γης πρέπει να παρέχει τρεις λειτουργίες κατά την επικοινωνία με ένα από τα δυο οπτικά τερματικά επικοινωνιών στο διαστημικό σκάφος GEO: να λαμβάνει το σήμα από το διαστημικό σκάφος GEO, να μεταδίδει ένα σήμα σε αυτό και να διαβιβάζει μια δέσμη uplink έτσι ώστε το διαστημικό σκάφος GEO να στοχεύει στη σωστή θέση πάνω στη γη.

Ο δέκτης στη Γη πρέπει να παρέχει ένα συλλέκτη τόσο μεγάλο, που να είναι ικανός να συλλάβει επαρκή ισχύ για να υποστηρίξει τον υψηλό ρυθμό των δεδομένων, να οδηγήσει αυτό το φως σε πολύ ευαίσθητους αισθητήρες



απαλοιφώντας το φως του περιβάλλοντος και να φέρει σε πέρας τον συγχρονισμό-αποδιαμόρφωση-αποκωδικοποίηση της λαμβανόμενης κυματομορφής.

Το uplink σήμα που μεταδίδεται από κάθε επίγειο σταθμό πρέπει να παρέχει ένα σημείο αναφοράς για τον καθορισμό της κατεύθυνσης της δέσμης δεδομένων του διαστημικού σκάφους GEO. Οι αναταραχές που ενδεχομένως συμβούν, δρουν αρνητικά εξαπλώνοντας τη δέσμη, μειώνοντας τη μέση ακτινοβολία στον τερματικό σταθμό στο διάστημα, καθώς και τις αιτίες διακύμανσης της στιγμιαίας λαμβανόμενης ισχύος.

### **LCRD Ground Station 1**

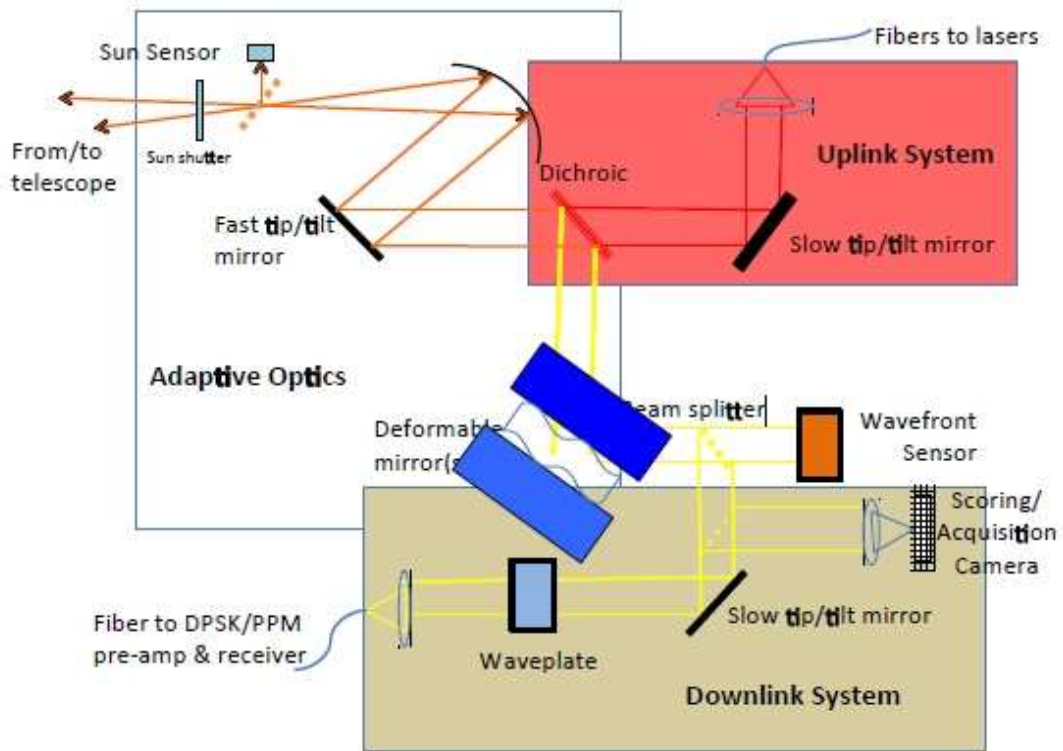
Η Jet Propulsion Laboratory (JPL) θα βελτιώσει το Optical Communications Telescope Laboratory (OCTL) της, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επίγειος σταθμός 1. Το OCTL βρίσκεται στο San Gabriel της νότιας Καλιφόρνια (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2 OCTL

Το μεγάλο διάφραγμα υποστηρίζει τις υψηλού ρυθμού δεδομένων DPSK και PPM downlinks από το LCRD διαστημικό τερματικό με επαρκή περιθώρια σύνδεσης. Το OCTL θα πρέπει να περικλείεται σε ένα δωμάτιο ελεγχόμενης θερμοκρασίας με ένα διαφανές παράθυρο για να διαπερνάει η ακτίνα λέιζερ και να γίνεται η μετάδοση ραντάρ. Το Σύστημα Ασφαλείας Laser στο OCTL (Laser Safety System at the OCTL (LASSO)) θα διασφαλίζει την ασφαλή διαβίβαση δέσμης λέιζερ μέσω αέρα και στο διάστημα κοντά στη Γη.

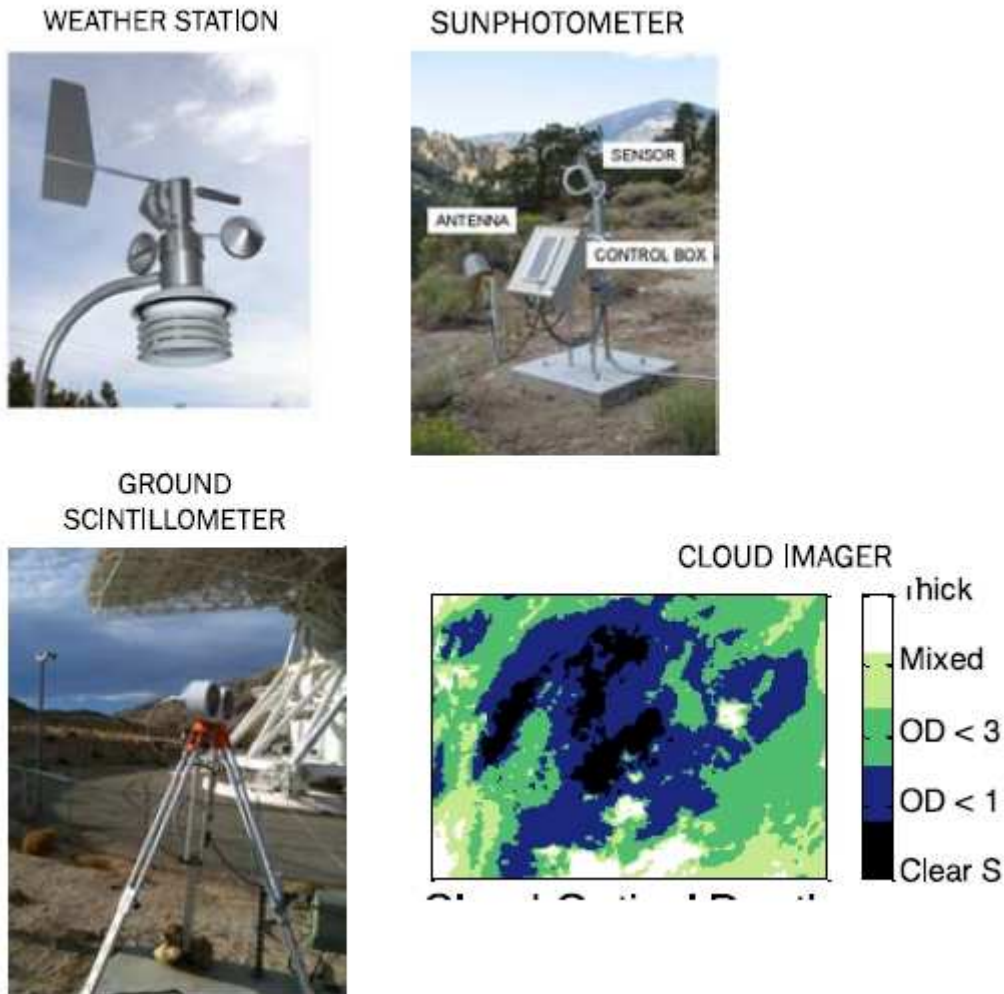
Το ολοκληρωμένο οπτικό σύστημα στο telescope coudé focus φαίνεται στην εικόνα 4.3 που ακολουθεί



Εικόνα 4.3 Σχηματικό του ολοκληρωμένου οπτικού συστήματος που βρίσκεται στο coudé focus του OCTL

Ένα διάφραγμα που ελέγχεται από ένα ηλιακό αισθητήρα προστατεύει το προσαρμοζόμενο σύστημα οπτικής από το να σημαδεύει ακούσια πιο κοντά στον ήλιο απ' ό τι έχει καθορισθεί.

Ως προοίμιο για ένα λειτουργικό σύστημα, την κατανόηση της οπτικής του καναλιού και της απόδοσης του συνδέσμου, σύμφωνα με μια ποικιλία ατμοσφαιρικών συνθηκών, ενημερώνει τον ορισμό των απαιτήσεων για μελλοντικούς επιχειρησιακούς επίγειους σταθμούς. Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε μια εικόνα μερικών από τα μέσα ατμοσφαιρικής παρακολούθησης που θα εφαρμοστούν στο OCTL.



Εικόνα 4.4 Ιδιωτικά όργανα ατμοσφαιρικής παρακολούθησης για το χαρακτηρισμό του οπτικού καναλιού

Το ηλιακό φωτόμετρο (sun photometer) μετρά την ατμοσφαιρική μετάδοση και την ουράνια ακτινοβολία, το scintillometer εδάφους μετρά τις οριακές αναταράξεις στρώματος που είναι ο κύριος συντελεστής για το σπινθηρισμό του σήματος downlink, και το cloud imager μετρά την κάλυψη νέφους και το οπτικό βάθος νέφους. Ο μετεωρολογικός σταθμός (weather station) μετρά την ταχύτητα ανέμου και την κατεύθυνση μαζί με τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία στο OCTL.

Το υποσύστημα παρακολούθησης και ελέγχου θα παρέχει τον έξυπνο έλεγχο του ακροδέκτη γείωσης LCRD. Θα εφαρμόσει το λογισμικό να παρέχει τη διεπαφή για απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση κατάστασης όλων των OCTL υποσυστημάτων. Θα παρέχει μια πύλη προς το LMOC για να υποστηρίξει τον τηλεχειρισμό την αναφορά κατάστασης και την επιστροφή των δεδομένων. Το υποσύστημα M&C επίσης θα εφαρμόσει ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων υψηλής ταχύτητας και μηχανικής διασύνδεσης. Ο καταγραφέας δεδομένων θα

αρχαιοθετεί όλα τα δεδομένα του συστήματος OCTL για τη θέση ανάλυσης των επιδόσεων του συστήματος.

Το επίγειο μόντεμ DPSK υποστηρίζει τις ίδιες δομές σηματοδότησης όπως το μόντεμ πτήσης DPSK. Επιπλέον το επίγειο μόντεμ θα πρέπει να εφαρμόσει κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων και παρεμβολής για τον περιορισμό των ατμοσφαιρικών σπινθηρισμών.

### **LCRD Ground Station 2**

Το MIT εργαστήριο του Λίνκολ σχεδιάζει και υλοποιεί το Lunar Lasercom Ground Terminal (LLGT) για τον Lunar Laser Communications Demonstration (LLCD) της NASA. Το LLGT , το οποίο βλέπουμε στην εικόνα 4.5, θα ανακαινισθεί και θα ενισχυθεί ώστε να χρησιμεύσει ως Ground Station 2 του LCRD.



Εικόνα 4.5 Lunar Lasercom Ground Terminal

Οι κύριες βελτιώσεις για το LCRD θα είναι ένα προσαρμοζόμενο οπτικό σύστημα για να ενώσει το λαμβανόμενο φως σε μια ενιαία ίνα οπτικών ινών μονοακτινικής μετάδοσης (για να υποστηρίξει τον δέκτη DPSK), καθώς και την περαιτέρω ανάπτυξη των μεμονωμένων ανιχνευτών φωτονίων (για την υποστήριξη του PPM δέκτη), συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης πιο ισχυρού και κλιμακούμενου οπτικού πακεταρίσματος, καλωδίωσης και ανάγνωσης ηλεκτρονικών.

### **Λειτουργίες επίδειξης**

Ο έλεγχος όλων των δραστηριοτήτων που εμπíπτουν στο LCRD πραγματοποιείται στο LCRD Mission Operations Center (LMOC). Το LMOC συνδέεται με όλα τα άλλα τμήματα, και επικοινωνεί με τους δυο σταθμούς εδάφους χρησιμοποιώντας υψηλής χωρητικότητας συνδέσεις. Η σύνδεση με το διαστημικό τμήμα θα παρέχεται είτε μέσω ενός από τους σταθμούς εδάφους είτε μέσω μιας χαμηλότερων δυνατοτήτων σύνδεσης στο διαστημικό σκάφος υποδοχής Mission Operations Center (HMOC) και έπειτα στο LCRD.

Το LMOC θα παρέχει υπηρεσίες όπως:

- Σχεδιασμός και προγραμματισμός
- Έλεγχος
- Παρακολούθηση κατάστασης
- Πληροφόρηση και αναφορά

Οι εργασίες σχετικά με την αποστολή του διαστημικού σκάφους και την επίδειξη οπτικών επικοινωνιών είναι άρρηκτα συνυφασμένες. Η μοναδική φύση της επίδειξης είναι πως υπάρχει ένα μονοπάτι από και προς το διαστημόπλοιο που βρίσκεται έξω από τη συνηθισμένη σύνδεση RF. Οι εντολές για το τερματικό οπτικών επικοινωνιών GEO μπορούν να αποσταλούν μέσω είτε της οπτικής ανερχόμενης ζεύξης ή μέσω της ανερχόμενης ζεύξης διαστημοπλοίων υποδοχής RF. Υπάρχουν δυο οδοί για τη συλλογή δεδομένων μηχανικής (υγείας και κατάστασης) και πάλι μέσω οπτικών ή RF. Το LMOC συντονίζει όλες τις δραστηριότητες οπτικών επικοινωνιών και παρέχει μια διασύνδεση στις λειτουργίες διαστημοπλοίου. Από την πλευρά της τηλεμετρίας υπάρχουν και πάλι δυο οδοί για διαφορετικούς όμως λόγους. Τα δεδομένα (πληροφορίες χρηστών ή μηχανική τηλεμετρία) μπορούν να σταλούν στη Γη μέσω του τερματικού οπτικών επικοινωνιών GEO. Το τερματικό διαστημόπλοιο παρακολουθεί τις παραμέτρους όπως η δύναμη (ενέργεια) και περιλαμβάνει εκείνους- στη μηχανική τηλεμετρία- που διαβιβάζονται μέσω της ζεύξεως RF. Επιπλέον υπάρχουν πολλά «σημεία δοκιμής» εντός του τερματικού GEO που αποστέλλονται μέσω RF ως μέρος της μηχανικής τηλεμετρίας. Λόγω των ιδιομορφιών του καιρού και των ατμοσφαιρικών συνθηκών, οι στρατηγικές εργασιών για το μετριασμό των επιπτώσεων της

σύνθεσης θα πρέπει να διερευνηθούν. Μια πιθανότητα θα ήταν να έχουμε πολλαπλά τερματικά εντός της ίδιας ακτίνας με ταυτόχρονη λήψη των ίδιων δεδομένων, για να εγγυηθούμε ότι ξεπερνά τουλάχιστον ένα τερματικό σε ένα αρκετά υψηλό ποσοστό του χρόνου. Από την άλλη, στρατηγικές ρύθμισης και αναμετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για downlink των δεδομένων για να ξεχωρίσουν γεωγραφικά (και μετεωρολογικά) διάφορους σταθμούς σε μορφή χρονικής ποικιλομορφίας. Οι επίγειοι σταθμοί θα έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώσουν τα συστήματα δεδομένων διαστημοπλοίων χρήστη και χρήστη MOC. Αυτό θα επιτρέψει την επίδειξη των σεναρίων υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων χωρίς την απαίτηση για συνδέσεις υψηλής ταχύτητας δεδομένα εξωτερικά προς τους επίγειους σταθμούς. Ως εκ τούτου, οι προσομοιώσεις θα επιτρέπουν πολλαπλούς χρήστες και τα σεναρία τύπου χρήστη. Το LCRD θα έχει επίσης την ικανότητα να προσομοιώνει δεδομένα-χρήστη διαστημοπλοίων και πολλαπλών συστημάτων δεδομένων αναμετάδοσης.

## **Επίλογος**

Είδαμε ότι είναι θέμα χρόνου να πάρει τα ηνία η τεχνολογία της δέσμης laser με σκοπό να μας προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες και πρόσβαση σε πολύ απόμακρα σημεία του πλανήτη. Άλλωστε η ιδέα έχει ήδη υλοποιηθεί, απλά πρέπει να επιλυθούν κάποια προβλήματα για την εκτενέστερη εφαρμογή της. Παρόλα αυτά, η πρόοδος δεν σταματάει εδώ. Συνεχώς γίνονται απόπειρες για βελτιστοποίηση των δορυφορικών επικοινωνιών χωρίς να ξέρουμε που θα καταλήξουν.

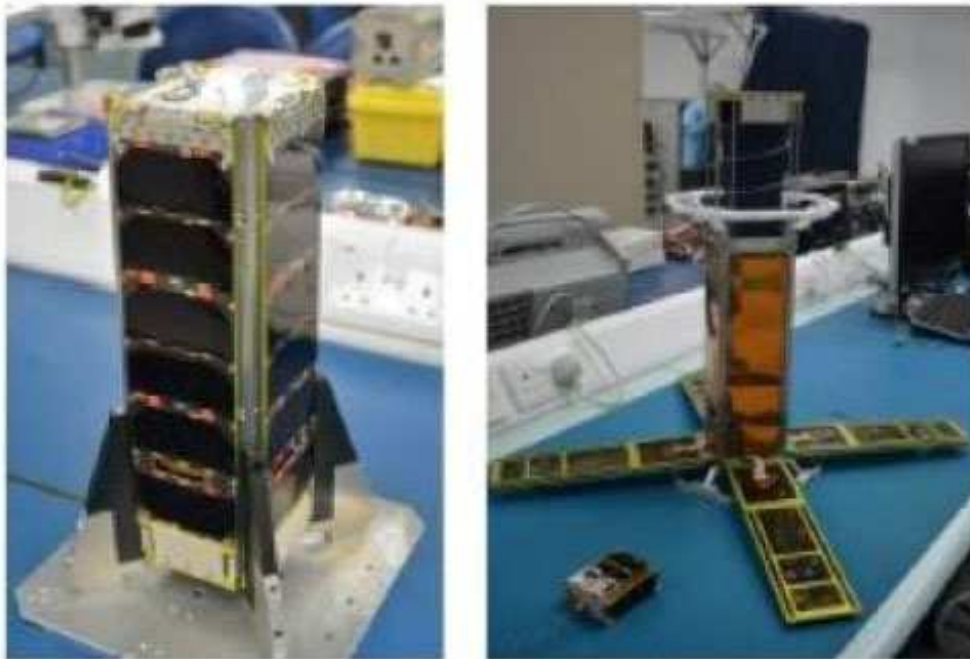
## Κεφάλαιο 5 – Εφαρμογές που βρίσκονται υπό υλοποίηση

### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο θα εξετάσουμε κάποιες νέες εφευρέσεις και τεχνολογίες που είναι ακόμη σε δοκιμαστικό στάδιο αλλά υπόσχονται πολλά, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι έχουν εξασφαλίσει με σιγουριά την μελλοντική τους εφαρμογή.

### 5.1 Το ZigBee στο διάστημα

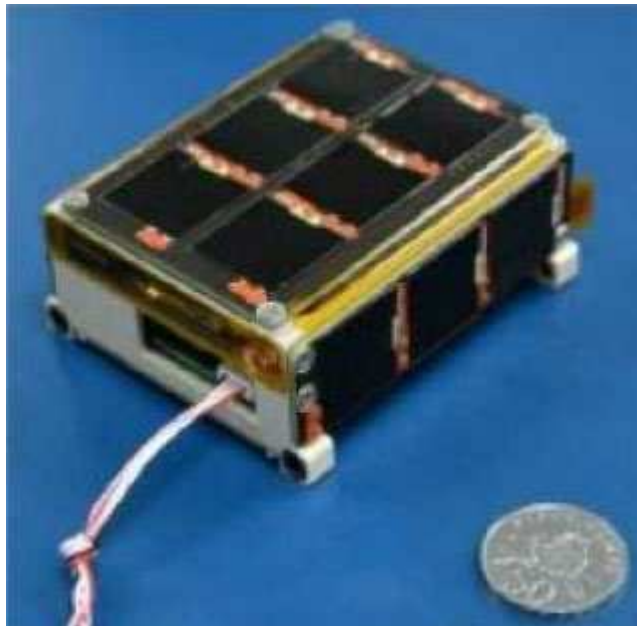
Τον Αύγουστο του 2014 μια ομάδα μηχανικών από τη Σιγκαπούρη δοκίμασε επιτυχώς το πρώτο πιλοτικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ZigBee για δορυφορικές επικοινωνίες. Αποτελούσε πάντα μια πρόκληση η κατασκευή ενός ελαφρού, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, ασύρματου συστήματος επικοινωνίας, που δεν θα είχε να κάνει με την καλωδίωση εντός του δορυφόρου για τους σχεδιαστές δορυφορικών συστημάτων δεδομένου ότι ο εξοπλισμός της μετάδοσης δεδομένων αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο στο δορυφορικό σχεδιασμό. Η ομάδα μηχανικών στο Κέντρο Δορυφορικών Ερευνών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Nanyang στη Σιγκαπούρη εγκαινίασε το VELOX-I (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1 VELOX-I πριν και μετά την εγκατάσταση



Το VELOX-I αποτελείται από ένα νανοδορυφόρο που ζυγίζει 3.5 κιλά και ένα μικρότερο, βάρους 1.5 κιλού. Σχεδιάστηκαν προκειμένου να ελεγχθεί η υπόθεση ότι το ZigBee, ένα φθινό αλλά ισχυρό χερσαίο ασύρματο σύστημα, θα αποδώσει εξίσου καλά και στο διάστημα, και οι δυο μικροσκοπικοί δορυφόροι είχαν ρυθμιστεί με ένα ασύρματο δίκτυο ZigBee και εξοπλίστηκαν με μικρούς κόμβους αισθητήρων. Οι κόμβοι αυτοί εκτελούν λειτουργίες όπως η τοπική ανίχνευση κατανεμημένων υπολογιστών και συλλογή στοιχείων στο εσωτερικό του δορυφόρου για την υποστήριξη ενδοδορυφορικών επικοινωνιών. Οι δορυφόροι βρέθηκαν να είναι σε θέση να διατηρήσουν ενδοδορυφορική επικοινωνία μεταξύ τους σε αξιοσημείωτα μεγάλες αποστάσεις. Το πείραμα αυτό σηματοδοτεί μια σημαντική ανακάλυψη για την αεροναυτική εφαρμοσμένη μηχανική, καθώς έχει σχεδιαστεί για να αξιολογήσει την απόδοση των ασύρματων δικτύων στο χώρο. Μετά τη διεξαγωγή δοκιμών που εξετάζουν τους δείκτες ισχύος λαμβανόμενων σημάτων σχετικών με τις μονάδες ραδιοσυχνότητας των δορυφόρων, ένα μέγιστο εύρος της τάξεως του ενός χιλιομέτρου βρέθηκε να είναι εφικτό μεταξύ δορυφορικών επικοινωνιών στο χώρο του πανεπιστημίου.



Εικόνα 5.2 P-Sat μικροδορυφόρος

Ενδεχομένως να αναμένεται ένα ακόμη μεγαλύτερο εύρος επικοινωνίας σε ελεύθερο χώρο, λόγω της απουσίας της εξασθένισης σήματος το οποίο προκαλείται από τη διάθλαση και την απόσβεση. Προκειμένου να εκτιμήσει το εύρος μεταξύ των δορυφορικών επικοινωνιών σε ελεύθερο χώρο, η ομάδα εφάρμοσε μια ανάλυση βασισμένη στην εξίσωση μετάδοσης Friis, που απορρέει μια μέση θεωρητική απόσταση 4.186 χιλιομέτρων με τη μέγιστη απόσταση να φθάνει τα 15.552 χιλιόμετρα. Τα ευρήματα της ανάλυσης αυτής παρουσιάζουν την επιτακτική ανάγκη για περαιτέρω μελέτες σε συστήματα μεταξύ δορυφορικών



επικοινωνιών με πιο πολύπλοκα σχέδια. Η ομάδα διαπίστωσε επίσης ότι με την εσωτερική αντικατάσταση ενσύρματων συνδέσεων με ασύρματες, η μάζα του δορυφόρου θα μπορούσε να μειωθεί έως και κατά 10%. Με τις δυο πιέσεις, από τη μια ελαχιστοποίηση του κόστους και από την άλλη μεγιστοποίηση της διαφοροποίησης του κινδύνου επιβολής μεγάλων περιορισμών στο δορυφορικό σχεδιασμό, η παραγωγή των ολοκληρωμένων αλλά ελαφρών συστημάτων θα μπορούσαν να ωφεληθούν σημαντικά από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Παρόλο που τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών κατά τα τελευταία έτη, η χρήση τους σε εφαρμογές για το διάστημα έχει, μέχρι στιγμής, παραμείνει περιορισμένη. Η έρευνα της ομάδας της Σιγκαπούρης έχει δημιουργήσει μια υγιή βάση για τη μελλοντική διαμόρφωση που φέρει δορυφορικές αποστολές και φαίνεται έτοιμη να δημιουργήσει μεταγενέστερους επαναστάτες στο χώρο.

### **Λίγα λόγια για το Zigbee**

Το ZigBee όπως και το Bluetooth προορίζεται για ασύρματα προσωπικά δίκτυα. Οι συχνότητες λειτουργίας του είναι στα 868 MHz, 915 MHz και στην ISM ζώνη των 2.4 GHz. Αυτό που το κάνει ξεχωριστό είναι η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος η οποία και απαιτείται σε πολλές σύγχρονες εφαρμογές. Το ZigBee αναπτύχθηκε από την ZigBee Alliance που παρομοίως με την Wi-Fi Alliance και το SIG που προαναφέραμε, αποτελεί επίσης μια συνεργασία μεταξύ εταιρειών παραγωγής ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ημιαγωγών, για την προώθηση της τεχνολογίας αυτής. Η ZigBee Alliance ανέπτυξε τα ανώτερα επίπεδα του πρωτοκόλλου ενώ για τα PHY και MAC στηρίχθηκε πάνω στο IEEE 802.15.4. Το πρωτόκολλο χαρακτηρίζεται ως WPAN-LR γιατί ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που δύναται να επιτευχθεί είναι μόλις 250Kbps. Για τον ίδιο λόγο δεν προορίζεται για υψηλής ποιότητας μετάδοση φωνής ή εικόνας, άλλα ενδείκνυται περισσότερο για σήματα με χαμηλότερη ποσότητα πληροφορίας όπως για παράδειγμα οι μετρήσεις ενός αισθητηρίου. Ανακεφαλαιώνοντας σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, ασύρματη διασύνδεση υπέρμετρου αριθμού συσκευών και χαμηλό κόστος κατασκευής, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει ανάγκη για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, το ZigBee αποτελεί την τέλεια λύση. Οι συσκευές ZigBee διακρίνονται σε συσκευές με πλήρεις λειτουργίες FFD και σε συσκευές με περιορισμένες λειτουργίες RFD. Τα στοιχεία που έχουμε σε ένα ZigBee δίκτυο είναι ο κεντρικός διαχειριστής (PAN Coordinator), ο απλός διαχειριστής ή δρομολογητής (Router) και η τερματική συσκευή (End Device). Τα PAN Coordinator και Router θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε FFD ενώ το End Device μπορεί να είναι οτιδήποτε (συνήθως RFD). Οι τοπολογίες δικτύωσης είναι σε αστέρα και σε πλέγμα. Η τοπολογία αστέρα περιλαμβάνει ένα κεντρικό διαχειριστή και ένα πλήθος στοιχείων τα οποία μπορούν να επικοινωνούν αποκλειστικά μαζί του. Στην τοπολογία πλέγματος όλα

τα FFD στοιχεία έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν το ένα με το άλλο, ενώ τα RFD αλληλοεπιδρούν μόνο με το κοντινότερο σε αυτά FFD.

## 5.2 Οπτικά δορυφορικά συστήματα

Καθώς η εμπορική ζήτηση για επιπλέον εύρος ζώνης αυξάνεται, διαστημικές επικοινωνίες λέιζερ παρέχουν ένα νέο τρόπο διακίνησης τεράστιων ποσοτήτων πληροφοριών σε όλο τον κόσμο με αποτελεσματικό και περισσότερο ανθεκτικό τρόπο. Σε αυτά τα πλαίσια η Ball Aerospace & Technologies Corporation έχει επιλεγεί από την εταιρία Laser Light™ Communications, LLC (Laser Light™) προκειμένου να είναι ο κύριος ανάδοχος της για το πρώτο αμιγώς οπτικό εμπορικό δορυφορικό σύστημα παγκοσμίως. Το συμβόλαιο της Ball Aerospace θα περιλαμβάνει μια πρώτη φάση ανάλυσης του σχεδιασμού που θα οδηγήσει στην ολοκλήρωση του οκταπλού σχηματισμού δορυφόρων που δραστηριοποιούνται στη μεσαία τροχιά της Γης Medium Earth Orbit (MEO). Ο πλήρης σχηματισμός των έως και 12 δορυφόρων αναμένεται να μεταδίδει 6 terabits των δεδομένων ανά δευτερόλεπτο με ταχύτητα υπηρεσίας των 200 gigabits ανά δευτερόλεπτο, αμφίδρομα, ή σχεδόν εκατό φορές γρηγορότερα σε σχέση με τις καθοδικές ζεύξεις συχνοτήτων. Ενώ τα συμβατικά συστήματα απαιτούν υποδομές υψηλής εντάσεως εργασίας και είναι ευάλωτα σε πιθανές διαταραχές υπηρεσιών, το σύστημα της Laser Light™ θα παραδίδει ισοδύναμες συνδέσεις υψηλής ταχύτητας και μεγαλύτερης αξιοπιστίας σε χαμηλότερο κόστος. Το νέο οπτικό σύστημα θα ενσωματωθεί αρμονικά με τα υπάρχοντα δίκτυα υπηρεσιών εδάφους, προσφέροντας πολλαπλές θέσεις downlink για την εξάλειψη επιβράδυνσης από τη συμφόρηση του δικτύου, των διακοπών λειτουργίας ή των διακοπών εξαιτίας των καιρικών συνθηκών.

Σύμφωνα με τον Cary Ludtke, γενικό διευθυντή και αντιπρόεδρο της Ball Operational Space business, με μια μακροχρόνια δέσμευση για την ανάπτυξη των επικοινωνιών λέιζερ, η Ball Aerospace έχει κάνει μεγάλη πρόοδο σε ότι αφορά στην τεχνολογία για σκοπούς πολιτικής, άμυνας καθώς και για εμπορικές εφαρμογές διαμέσου της έρευνας των laser και της ανάπτυξης καθώς και της βελτιστοποίησης του διαστημικού εξοπλισμού. Η εταιρία Ball έχει δείξει πως διαθέτει αποδεδειγμένη εμπειρία στην εξέλιξη της τεχνολογίας ακρίβειας, κατάδειξης, απόκτησης και παρακολούθησης υψηλής ισχύος ενισχυτών οπτικών σημάτων και υψηλού εύρους ζώνης τεχνολογιών οπτικών επικοινωνιών. Η εταιρία έχει σχεδιάσει και ολοκληρώσει πλήρη τερματικά λέιζερ για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών χρήστη, που εκτείνονται σε εναέριες, διαστημικές, επίγειες καθώς και σε αποστολές βασιζόμενες σε πλοία. Πρόσφατα, η εταιρία ολοκλήρωσε μια ανάλυση της μείωσης του κινδύνου ένα πρόγραμμα του Υπουργείου Άμυνας όπου εξετάστηκε η ασφάλεια, η μεταφορά σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης

δεδομένων για τους στρατιωτικούς δορυφόρους επικοινωνίας με χρήση οπτικών τερματικών.

### **H Ball Aerospace & Technologies Corp.**

Η εταιρία Ball Aerospace & Technologies Corp υποστηρίζει κρίσιμες αποστολές για τους εθνικούς φορείς, όπως το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α, τη NASA, NOAA και την υπόλοιπη κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών, καθώς επίσης και εμπορικές οντότητες. Η εταιρία αναπτύσσει και κατασκευάζει διαστημικά οχήματα, προηγμένα εργαλεία και αισθητήρες, συστήματα αξιοποίησης δεδομένων και λύσεις ραδιοσυχνοτήτων για θέματα στρατηγικής, τακτικής και επιστημονικών εφαρμογών.

### **Ball Corporation**

Η Ball Corporation παρέχει καινοτόμες, βιώσιμες λύσεις συσκευασίας, καθώς και αεροδιαστημικές και άλλες τεχνολογίες και υπηρεσίες κυρίως για την κυβέρνηση των Η.Π.Α. Η Ball Corporation και οι θυγατρικές της απασχολούν 14.500 άτομα ανά τον κόσμο.

### **Laser Light™ Communications, LLC**

Η Laser Light™ Communications, LLC σκοπεύει να είναι ο πρώτος πάροχος Οπτικών Δορυφορικών Υπηρεσιών και τηλεπικοινωνιακών λύσεων σε μήκος του δικτύου της SpaceCable™, παρέχοντας υπηρεσίες που εξυπηρετούν ανάγκες για υψηλό εύρος ζώνης επόμενης γενιάς, οι οποίες αφορούν επιχειρήσεις καθώς και κυβερνητικούς οργανισμούς σε όλο τον κόσμο.

## **5.3 CoraSat**

Το όραμα CoraSat (Cognitive Radio for Satellite Communications) είναι μια «γνωσιακή / έξυπνη ακτινοβολία» για τις δορυφορικές επικοινωνίες που κάνει έξυπνη και ευέλικτη εφαρμογή / χρήση του ραδιοφάσματος για την εκμετάλλευση αχρησιμοποίητων ή μη επαρκώς χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων αναθέτοντάς το σε δορυφορικές υπηρεσίες ως κύρια ή δευτερεύουσα κατανομή.

Βασικοί στόχοι: Η προσέγγιση CoRaSat στοχεύει στη μεγιστοποίηση των πόρων εκμετάλλευσης προκειμένου να ανοιχθούν νέες επιχειρηματικές προοπτικές με δυνητικά χαμηλότερου κόστους μετάδοση, χωρίς να δημιουργεί οποιοσδήποτε επιβλαβείς παρεμβολές σε υφιστάμενα δορυφορικά ή επίγεια συστήματα που δικαιούνται να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα σε πρωτεύουσα βάση και τα οποία ως εκ τούτου θα παραμείνουν σχεδόν να αγνοούν την ύπαρξη του συστήματος CoRaSat. Η «γνωσιακή/έξυπνη ακτινοβολία» έχει τη δυναμική να αυξήσει δραματικά την αποτελεσματικότητα της εκμετάλλευσης του φάσματος. Ενώ έχει μελετηθεί εκτενώς στο χερσαίο τομέα, εξακολουθεί να αποτελεί μάλλον

ανεξερεύνητη περιοχή σε σενάρια δορυφορικών επικοινωνιών. Ο κύριος στόχος του συστήματος CoRaSat είναι η αντιμετώπιση, ο σχεδιασμός και η πρακτική εφαρμογή των εννοιών της «γνωσιακής/έξυπνης ακτινοβολίας» (Cognitive Radio concepts) και των τεχνικών για τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών. Το CoRaSat έχει ως στόχο να επιτρέψει το εξής όραμα:

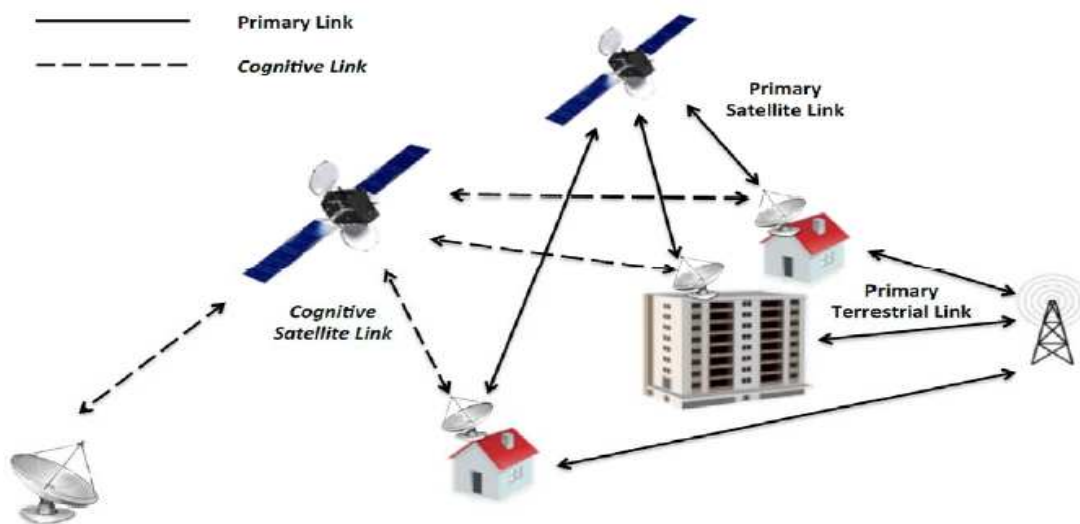
- Διερεύνηση, ανάπτυξη και επίδειξη γνωσιακών τεχνικών ακτινοβολίας σχετικών με τα σενάρια δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών και περιπτώσεων όπου οι περιπτώσεις χρήσης όπου η ευέλικτη/δυναμική χρήση του φάσματος αντιπροσωπεύει μια προστιθέμενη αξία και είναι κερδοφόρα από την άποψη της λειτουργίας του συστήματος, παροχής υπηρεσιών ή/και εμπειρίας του χρήστη.
- Απόδειξη ότι τα οφέλη χρήσης ευέλικτου φάσματος υπερτερούν αριθμητικά των απειλών και άνοιγμα νέων επιχειρηματικών προοπτικών σε τομείς των Δορυφορικών Επικοινωνιών.
- Παροχή υποστήριξης και κατευθυντήριων γραμμών για τον καθορισμό των ρυθμίσεων, της τυποποίησης και την τεχνολογία οδικών χαρτών για την εκμετάλλευση των προσεγγίσεων «γνωσιακής/έξυπνης ακτινοβολίας», σε στήριξη του Ψηφιακού Θεματολογίου της Ευρώπης (Digital Agenda for Europe).

### **Τεχνική προσέγγιση**

Η «γνωσιακή/έξυπνη ακτινοβολία» (Cognitive Radio (CR)) είναι μια συγκείμενη έξυπνη ακτινοβολία ικανή για αυτόνομη αναδιαμόρφωση μαθαίνοντας από και προσαρμοζόμενη στο περιβάλλον επικοινωνίας. Η ευέλικτη χρήση του φάσματος είναι μια συνεχής τάση για τη βελτιστοποιημένη εκμετάλλευση των πόρων του ραδιοφάσματος, και η προσέγγιση CR έχει ήδη αποδείξει τη δυναμική της στο να βελτιώσει δραματικά την αποτελεσματικότητα εκμετάλλευσης των ζωνών ραδιοφάσματος που κατανέμεται σε επίγεια συστήματα χαμηλότερου εύρους συχνοτήτων. Ωστόσο, έχει δοθεί ελάχιστη προσοχή στα πιθανά οφέλη που μπορεί να φέρει το CR στον τομέα των Δορυφορικών Επικοινωνιών. Σε αυτό το πλαίσιο, το CoRaSat θέτει μαζί αυτά τα δυο στοιχεία εξετάζοντας τις προσεγγίσεις CR για κάθε υπηρεσία δορυφορικών επικοινωνιών. Το CoRaSat στοχεύει στη διερεύνηση, ανάπτυξη και επίδειξη τεχνικών CR στα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών για έξυπνη αξιοποίηση του φάσματος. Για πρώτη φορά στις ερευνητικές πρωτοβουλίες δορυφορικών επικοινωνιών η CoRaSat απευθύνει συστηματική και εμπειριστατωμένη προσέγγιση προς την εφαρμοσιμότητα και ανάλυση της έννοιας του CR λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών επικοινωνιών.

## Σενάρια

Διάφορα σενάρια δορυφορικών επικοινωνιών προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες για την ευέλικτη αξιοποίηση του φάσματος σε συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών μέσω της υιοθέτησης των τεχνικών και των εννοιών CR. Τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν τα βασικά σενάρια συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών για τα οποία επί του παρόντος οι εργασίες σε εξέλιξη στα πλαίσια του CoRaSat αφορούν στην αξιολόγηση του δυναμικού για την έξυπνη αξιοποίηση του φάσματος μέσω της εφαρμογής του CR, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις αντίστοιχες απαιτήσεις της αγοράς και των υπηρεσιών καθώς και το πλαίσιο τυποποίησης, όπως επίσης και το τεχνολογικό πλαίσιο. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες ζώνες συχνοτήτων αξιολογούνται, όπως οι μπάντες Ka-band, Ku-band, C-band και S-band. Τα σενάρια σχετίζονται με συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων εντός των δεδομένων ζωνών συχνοτήτων για τις οποίες ισχύουν διαφορετικές ρυθμιστικές συνθήκες.



Εικόνα 5.3 Δίκτυο επικοινωνίας μέσω γνωσιακής / έξυπνης ακτινοβολίας CR (Cognitive Radio)

## Βασικά ζητήματα

- Τεχνικές προκλήσεις: Η απουσία εφαρμογής CR για τις δορυφορικές επικοινωνίες είναι γνωστή έως σήμερα και η εφαρμοσιμότητα των υφιστάμενων τεχνικών CR είναι εμπνευσμένη από τα επίγεια συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών. Αυτό απαιτεί μια διεξοδική αναθεώρηση και δυναμικό επανασχεδιασμό της υπάρχουσας CR τεχνολογίας προκειμένου να είναι δυνατή η εφαρμογή της σε περιβάλλον δορυφορικών επικοινωνιών.
- Προκλήσεις τυποποίησης: Η καθιέρωση των CR τεχνικών στις δορυφορικές επικοινωνίες απαιτεί δράσεις τυποποίησης. Η CoraSat θα

καθορίσει και θα χαρακτηρίσει, σε σχετικές οργανώσεις τυποποίησης, τις επιπτώσεις των τεχνικών CoraSat για την αναφορά αρχιτεκτονικής συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών.

- Ρυθμιστικές προκλήσεις: Οι κανονισμοί του φάσματος για δορυφορικές μπάντες βασίζονται σε στατικές και άκαμπτες μεθόδους πρόσβασης στο ραδιοφάσμα. Για το λόγο αυτό είναι υψίστης σημασίας η διευκόλυνση ανάπτυξης ενός νέου κανονιστικού περιβάλλοντος που επιτρέπει τη χρήση των τεχνικών CR στο οικοσύστημα δορυφορικών επικοινωνιών.

## **Επίλογος**

Δεν ξέρουμε τι τελικά μας επιφυλάσει το μέλλον. Πάντως δεν είναι λίγες οι εφαρμογές που βρίσκονται υπό υλοποίηση και από ότι φαίνεται έχουμε να περιμένουμε πολλά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν όμως και κάποια σενάρια που φημολογούνται στο μακρινό σε εμάς μέλλον, κάτι το οποίο παρουσιάζεται στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο.

## Κεφάλαιο 6 – Σενάρια που φημολογούνται

### Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τρία μελλοντικά σενάρια. Το πρώτο αφορά στην υβριδική μετάδοση IPTV, το δεύτερο σενάριο αφορά στη μεταφορά Smart M2M και το τρίτο σενάριο αφορά στην επέκταση τέταρτης γενιάς (4G). Και τα τρία αυτά σενάρια βασίζονται στο παράδειγμα Information-Centric Networking (ICN) επικοινωνιών.

#### 6.1 Εφαρμογή των πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης στις δορυφορικές επικοινωνίες

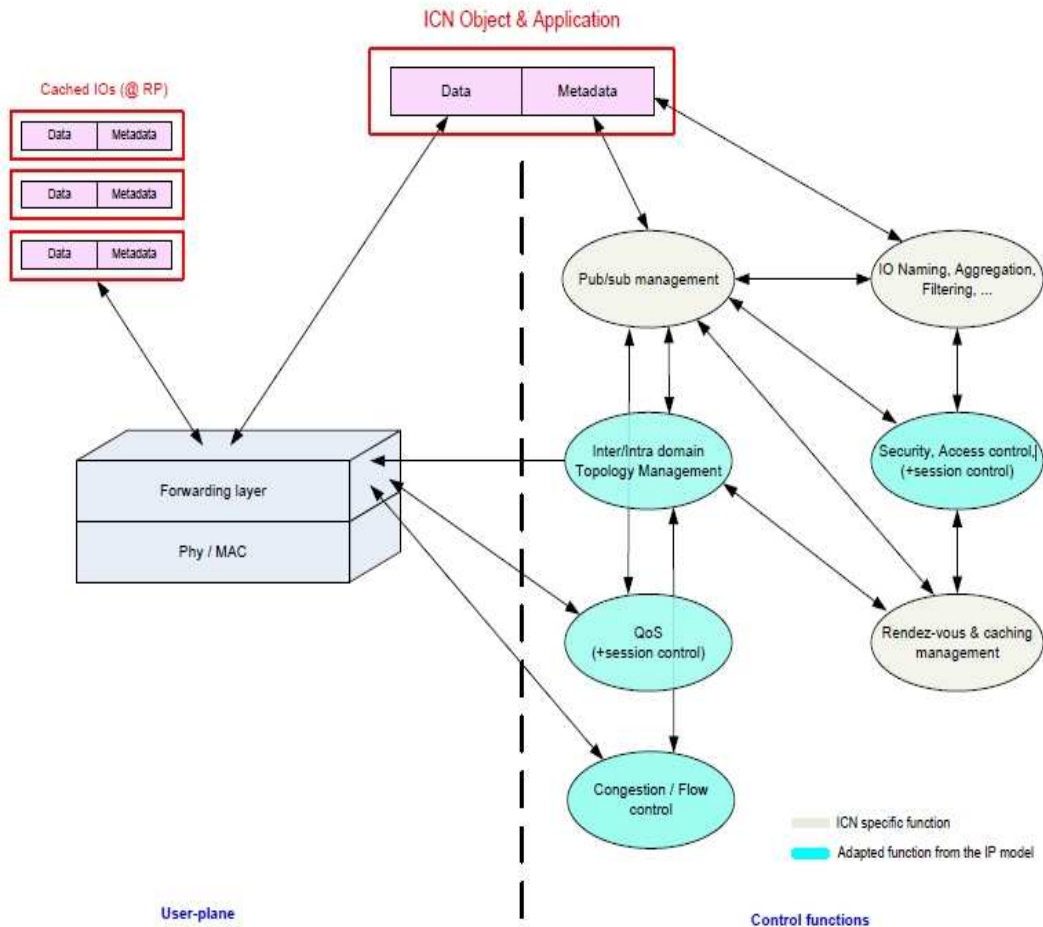
Τα τελευταία χρόνια υπάρχει πίεση για την τρέχουσα αρχιτεκτονική του Internet να ανταποκριθεί σε νέες και αναδυόμενες ανάγκες των χρηστών του. Υπάρχουν ανεπάρκειες στη σημερινή αρχιτεκτονική του Διαδικτύου όσον αφορά στην υποστήριξη της κινητικότητας, τη διαχείριση της κυκλοφορίας ή την παροχή περιεχομένου κ.α. Η βάση αυτών των ελλείψεων εντοπίζεται σε συνδυασμό μεταξύ της hostcentric αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου και της πρωταρχικής του χρήσης, όπου τώρα ενσωματώνει την ανάγκη των τελικών χρηστών να έχουν διαθέσιμες τις πληροφορίες και τις υπηρεσίες τους ανεξάρτητα από τη συσκευή ή την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται. Υπο αυτή την πίεση, διεξάγονται πολλές ερευνητικές πρωτοβουλίες για τη Διερεύνηση Πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης (Information Centric Networking (ICN)) και χρησιμοποιούνται ως ένα νέο πρότυπο για το μέλλον του διαδικτύου σε παγκόσμιο επίπεδο, τόσο στις Η.Π.Α όσο και στην Ε.Ε. Οι αρχιτεκτονικές Πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης ανεξαρτητοποιούν τα δεδομένα/υπηρεσίες από τις συσκευές αποθήκευσης/παροχής μέσω της ονομασίας ανεξαρτήτου θέσης (location independent naming). Αυτή η αποσύνδεση βοηθά πολύ αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από την κίνηση, χωρίς να στηρίζεται στην επικοινωνία μεταξύ των τελικών χρηστών (το οποίο μπορεί να μεταβληθεί), όπως γίνεται τώρα στο πρότυπο μοντέλο IP. Η ταυτοποίηση του περιεχομένου στο στρώμα δικτύου θα διευκολύνει επιπλέον την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων σε στοιχεία του δικτύου και θα κάνει πιο αποτελεσματική την παροχή περιεχομένου. Η ανεξαρτήτου τοποθεσίας ονοματοδοσία διευκολύνει επίσης τη συλλογή πληροφοριών από πολλαπλές πηγές, δίχως να το ζητά ατομικά από κάθε πηγή. Επιπλέον οι Πληροφορίες κεντρικής δικτύωσης προωθούν ένα δημόσιο/συνδρομητικό μοντέλο πληροφοριών, όπου οι δέκτες δε θα λαμβάνουν

πληροφορίες εκτός εάν το έχουν ζητήσει ρητά ή έχουν πραγματοποιήσει κάποιου είδους εγγραφή, καθιστώντας έτσι την αρχιτεκτονική φυσικά πιο ισχυρή εναντίον spamming και επιθέσεων DoS στα τερματικά συστήματα. Η υπηρεσία ανάλυσης Πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης είναι υπεύθυνη για τον εντοπισμό του επιθυμητού περιεχομένου. Με τις λειτουργίες ανάλυσης, δρομολόγησης και προώθησης μεταφέρονται οι πληροφορίες από τους εκδότες προς τους συνδρομητές (δέκτες). Οι πληροφορίες κεντρικής δικτύωσης του μελλοντικού διαδικτύου που σχετίζονται με ερευνητικές προσπάθειες, μέχρι τώρα έχουν επικεντρωθεί αποκλειστικά στα επίγεια δίκτυα, παραμελώντας την ευκαιρία ολοκληρωμένων δορυφορικών και επίγειων δικτύων με τη χρήση μίας κοινής αρχιτεκτονικής που συνδυάζει και αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα και των δυο δικτύων. Για το καλύτερο της γνώσης μας, η φSAT είναι η πρώτη ερευνητική προσπάθεια που χρηματοδοτήθηκε σε όλο τον κόσμο προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι πληροφορίες κεντρικής δικτύωσης προσδιορίζουν μεμονωμένα αντικείμενα πληροφοριών (περιεχόμενο) και όχι την ανάθεση μοναδικών διευθύνσεων στους τελικούς hosts που συνδέονται με δεσμούς επικοινωνίας. Με βάση τη λειτουργία δημοσίευσης/εγγραφής (Publish/Subscribe), το δίκτυο αναλαμβάνει το ρόλο της αντιστοίχισης συνδρομών με δημοσιεύσεις. Αυτό αναφέρεται συνήθως ως λειτουργία RendezVous (RV). Εκτός της λειτουργίας ανάλυσης ονομάτων, οι άλλες δυο βασικές λειτουργίες των πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης περιλαμβάνουν δρομολόγηση (ή διαχείριση τοπολογίας (Topology Management (TM))) και προώθηση. Τα αναγνωριστικά κόμβου ή συνδέσμου δεν έχουν εξαλειφθεί, καθώς μπορεί να χρειαστούν για το χαμηλότερο επίπεδο των μηχανισμών διαχείρισης τοπολογίας και για τη σύνδεση των κόμβων με το περιεχόμενο που παρέχουν. Στο σχήμα το οποίο ακολουθεί παρουσιάζεται μια λειτουργική προβολή μιας δυναμικά στοχευμένης σε ICN-PSI αρχιτεκτονικής που αντιστοιχίζει τις μελλοντικές απαιτήσεις των δορυφορικών επικοινωνιών. Αυτή η αρχιτεκτονική δεν παρέχει κανένα μοντέλο αναφοράς διαστρωμάτωσης. Στην πραγματικότητα, η διαστρωμάτωση δεν έχει αφαιρεθεί εντελώς, αλλά απλοποιείται σε σημαντικό βαθμό. Εκτός από την εφαρμογή η οποία χειρίζεται τα δεδομένα και τις συνδρομές/εκδόσεις με τα σχετικά μεταδεδομένα, το σύστημα μετάδοσης (προώθηση των κόμβων) χωρίζεται μόνο σε δύο στρώματα:

- Το στρώμα προώθησης, το οποίο αντικαθιστά κατά κάποιον τρόπο την τρέχουσα IP και ενσωματώνει τον έλεγχο μεταφορών (π.χ. διαχείριση αξιοπιστίας, ροή/έλεγχος συμφόρησης) με ένα τρόπο κόμβο ανά κόμβο ή βήμα ανά βήμα, όπως στο Διαδίκτυο.
- Το στρώμα PHY/MAC, το οποίο είναι αμετάβλητο.





Εικόνα 6.1 Διάγραμμα πληροφοριών κεντρικής δικτύωσης

Στην φSAT, η συγκεκριμένη ICN-PSI αρχιτεκτονική επιλέχθηκε ως τιμή αναφοράς, αναφερόμενη στην PSIRP/PURSUIT αρχιτεκτονική. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι, από εννοιολογικής άποψης, η PSIRP/PURSUIT εφαρμόζει όλους τους βασικούς μηχανισμούς ICN. Επιπλέον τρεις βασικές λειτουργίες της (RV Network, TM, Forwarding) είναι εννοιολογικά χωριστές και τις καθιστά μια γενική προσέγγιση. Εάν απαιτείται, δεν αποκλείει ότι κάποια από αυτές τις λειτουργίες μπορεί να συνεγκατασταθεί στους ίδιους κόμβους. Επιπλέον, παρέχει ανοικτό πλαίσιο που διευκολύνει την εφαρμογή των προσαρμοσμένων πολιτικών, όπως οι βασικές λειτουργίες του ICN καθώς και για παρακείμενες λειτουργίες ICN (για παράδειγμα υποστήριξη QoS). Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του ICN-PSI πάνω στις Δορυφορικές Επικοινωνίες από την άποψη της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) και τη χρησιμοποίηση των πόρων, υπάρχει ένας αριθμός βοηθητικών λειτουργιών. Αυτές αναμένεται να λειτουργήσουν είτε αυτόνομα, είτε ενσωματωμένα με μια ή περισσότερες από τις βασικές λειτουργίες του ICN-PSI. Σε αυτή την περίπτωση θα εισαχθούν πρόσθετες διασυνδέσεις προκειμένου να εκθέσουν τα χαρακτηριστικά για τον καθορισμό των πολιτικών που πρέπει να εκτελεστούν σε κάθε περίπτωση. Αυτή η προσέγγιση είναι επιθυμητή

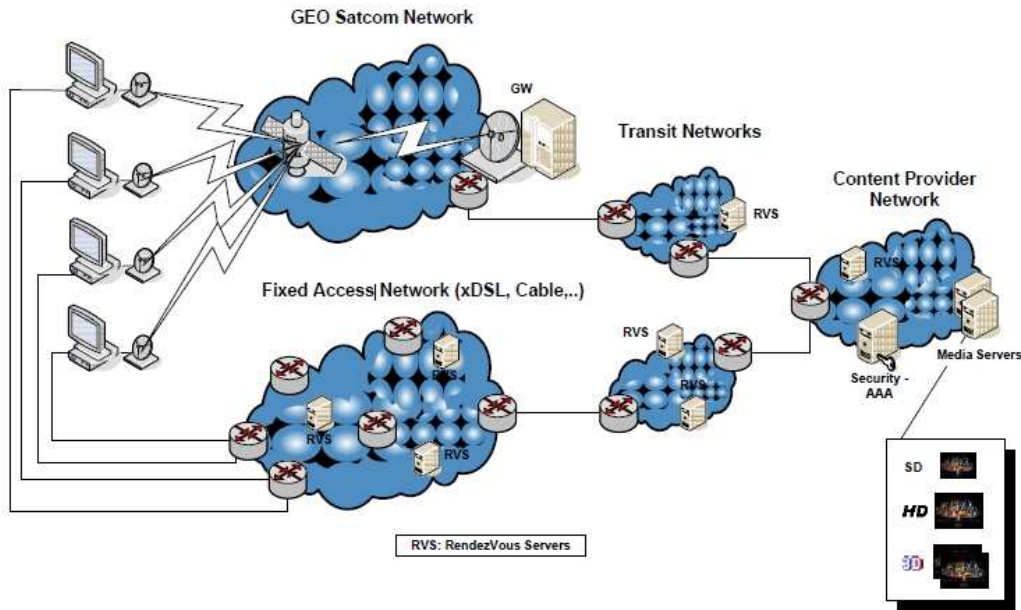
μακροπρόθεσμα ως πιο αποτελεσματική από την άποψη της δρομολόγησης και της διαχείρισης της κυκλοφορίας. Επιπλέον, ένα μοντέλο μεταφοράς προσανατολισμένο στην αναμετάδοση μπορεί να ακολουθηθεί προκειμένου να συγχρονιστούν οι διαδικασίες μηχανικής κίνησης μεταξύ συμφόρησης και ελέγχου ροής, ποιότητας υπηρεσιών και διαχείρισης πόρων για το δορυφορικό τμήμα. Το σύστημα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε GEO ή και μη GEO συστήματα. Τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής του ICN-PSI είναι η υποστήριξη της κινητικότητας, η προσωρινή αποθήκευση δικτύου, η διαχείριση κυκλοφορίας περιεχομένου, η αποσύνδεση μεταξύ ανάλυσης και μεταφοράς δεδομένων, η αποσύνδεση μεταξύ δρομολόγησης δεδομένων (διαχείριση τοπολογίας) και προώθησης, και ο hop-by-hop έλεγχος συμφόρησης.

## 6.2 Ενσωματωμένα σενάρια φSAT

Στα πλαίσια του φSAT, ορίστηκαν και αναλύθηκαν λεπτομερώς δέκα σενάρια. Τα σενάρια αυτά κατατάσσονται με δύο τεχνικά κριτήρια, όπως η μεγιστοποίηση των ωφελειών από την υιοθέτηση του ICN-PSI και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη, και η μεγιστοποίηση των κινήτρων για διαλειτουργικά και ολοκληρωμένα δορυφορικά/επίγεια μελλοντικά δίκτυα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής του ICN-PSI είναι επιθυμητά από κοινωνικοοικονομική άποψη, δεδομένου ότι υποστηρίζει σαφή όρια μεταξύ των ενοτήτων και των φορέων για την εφαρμογή διαφορετικών λειτουργιών. Τα τρία σενάρια που θα αναφέρουμε στη συνέχεια είναι (α) η υβριδική μετάδοση IPTV (β) μεταφορά Smart M2M και (γ) επέκταση τέταρτης γενιάς (4G) υποστήριξης δικτύων.

### **(α) Σενάριο υβριδικής μετάδοσης IPTV**

Το σενάριο αυτό ανοίγει το δρόμο για την ενσωμάτωση των Δορυφορικών Επικοινωνιών με το Future Media Internet. Χαρακτηριστική περίπτωση χρήσης είναι ένα δορυφορικό σύστημα GEO με κλασική τοπολογία αστέρα που ενσωματώνεται με επίγειο δίκτυο. Δυο ή τρεις ξεχωριστοί φορείς εμπλέκονται στην παροχή υπηρεσιών, δηλαδή ο πάροχος περιεχομένου (Content Provider (CP)), η Εταιρίες παροχής πρόσβασης (Access Providers (AP)) – δορυφορικά ή επίγεια και προαιρετικά πάροχοι διέλευσης (Transit Providers (TP)) προκειμένου να γίνει η διασύνδεση περιεχομένου και των παρόχων πρόσβασης.



Εικόνα 6.2 Σενάριο υβριδικής μετάδοσης IPTV

Η αρχιτεκτονική ICN-PSI ευνοεί τη συνεργατική παροχή υπηρεσιών όπου οι πάροχοι περιεχομένου (CP) επιλέγουν το δίκτυο πρόσβασης προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη πορεία, χρησιμοποιώντας την ιεραρχική οργάνωση των λειτουργιών ICN-PSI με την υπηρεσία παροχής περιεχομένου στο ανώτερο επίπεδο. Ο πάροχος περιεχομένου καθορίζει το κυρίως RV δίκτυο και τους εξυπηρετητές (servers). Ένας τοπικός διακομιστής RV εφαρμόζεται κοντά στο δορυφόρο πύλη για σκοπούς εξισορρόπησης φορτίου. Αυτή η σχεδιαστική επιλογή επιτρέπει στους παρόχους περιεχομένου τη διαχείριση της διάδοσης των πληροφοριών εντός των δικτύων τους και βοηθά την πρόσβαση δικτύου στον εντοπισμό του δημοσιευμένου περιεχομένου όσο το δυνατόν πλησιέστερα από τους κόμβους προώθησης. Τα επίπεδα της συνεργασίας στην παροχή υπηρεσιών εξαρτώνται τόσο από οικονομικούς παράγοντες (ελαχιστοποίηση κόστους) , καθώς και από τεχνικά κριτήρια (εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών, απαιτούμενο εύρος ζώνης, ημερομηνία και ώρα προγραμματισμένης μετάδοσης, αριθμός και γεωγραφική κατανομή των συνδρομητών στο συγκεκριμένο περιεχόμενο, δημοτικότητα του περιεχομένου κ.λ.π) και μπορεί να οδηγήσει σε:

- Αξιοποίηση απόφασης δρομολόγησης (για παράδειγμα επιλογή δικτύου που θα χρησιμοποιηθεί)
- Υποστήριξη της εφαρμογής μετάβασης από ένα τρόπο σύνδεσης σε ένα άλλο , σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης.
- Υποστήριξη της εξισορρόπησης φορτίου μεταξύ των δικτύων

- Η υπηρεσία διαχωρισμού εφαρμόζεται σε διάφορα στοιχεία που αποστέλλονται ξεχωριστά για τα δυο δίκτυα (ο ορισμός της στρατηγικής είναι σε αυτή την περίπτωση ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός).
- Η αποστολή του όγκου της κίνησης από ένα δίκτυο και η παραλαβή από ένα άλλο, σε μονόδρομα δορυφορικά συστήματα είναι ιδιαίτερα ελκυστική
- Διαμοιραζόμενοι RV servers μεταξύ διαφορετικών δικτύων
- Διαμοιραζόμενες ICN κρυφές μνήμες (για την αύξηση της εικονικής χωρητικότητας αποθήκευσης) του κάθε δικτύου.

Η ποιότητα των υπηρεσιών με βάση τα πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το Multi-Protocol Label Switching (MPLS) ή την εξέλιξη τους στο Future Internet, ή απλούστεροι μηχανισμοί όπως οι Policy-Based Routing (PBR) κανόνες (κανόνες δρομολόγησης που υποστηρίζονται από τη διαχείριση, καθώς υποστηρίζεται από δρομολογητές που βασίζονται σε Cisco IOS) είναι εφικτό παράδειγμα των εφαρμογών για την ποιότητα υπηρεσιών που σχετίζεται με την επιλογή δικτύου/διαδρομής. Άλλες σημαντικές τεχνικές πτυχές για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του ICN στις δορυφορικές επικοινωνίες στο πλαίσιο των κατά παραγγελία υπηρεσιών είναι η διαχείριση μνήμης cache και η πολιτική χρονισμού που κανονίζει την ενημέρωση και αντικαθιστά τα δεδομένα. Απόφαση σχετικά με την επιλογή της μνήμης cache μπορεί να γίνει από κοινού με την επιλογή του δικτύου πρόσβασης. Σε περίπτωση που είναι δυνατή η ταυτόχρονη πρόσβαση, κάθε δίκτυο πρόσβασης έχει τις δικές του κρυφές μνήμες.

### **(β) Μεταφορά Smart M2M**

Το σενάριο ανοίγει το δρόμο της ολοκλήρωσης δορυφορικών επικοινωνιών στο πλαίσιο του «future Internet of Things». Οι δορυφορικές επικοινωνίες μπορούν να παρέχουν ένα αποτελεσματικό πλαίσιο για Machine-to-Machine (M2M) έξυπνες υπηρεσίες μεταφορών, σε θαλάσσια, αεροναυπηγικά και σιδηροδρομικά περιβάλλοντα σε περιπτώσεις όπου:

- Η επίγεια υποδομή είναι ανύπαρκτη ή ανεπαρκής
- Η συνεργασία με την επίγεια υποδομή παρέχει μια επέκταση κάλυψης
- Η ενίσχυση των προσφερόμενων υπηρεσιών, δηλαδή μονάδες GPS βασιζόμενες σε δορυφόρους και υπηρεσίες τοπικής πρόσβασης, όπου οι τελικοί χρήστες επωφελούνται από τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.

Το ίδιο το δορυφορικό δίκτυο θα μπορούσε να περιλαμβάνει μια GEO, MEO ή LEO τοπολογία και μπορεί συνήθως να καλύψει V2I (Vehicle-to-Infrastructure) επικοινωνίες και δυνητικά Vehicle-to-Vehicle (V2V) επικοινωνίες υιοθετώντας μια τοπολογία αστέρα και υποστηρίζοντας μη υπαρκτές συνδέσεις Vehicular Ad-hoc

NETwork (VANET) μεταξύ των κινητών τερματικών. Από τη φύση του, ένα σύστημα που βασίζεται σε LEO μπορεί να αφομοιωθεί ως «εναέριο δίκτυο» λόγω των πολλαπλών ενδοδορυφορικών συνδέσεων που αποτελούν ένα πλήρες πλέγμα δικτύου. Η επικοινωνία πλέγματος δικτύου LEO θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια βέλτιστη διαδρομή με ένα μόνο άλμα (hop) δορυφόρου. Σε αυτή την περίπτωση είναι εφικτές στατικές στρατηγικές εντός του δικτύου αστέρα, δεδομένου ότι η δυναμική της τοπολογίας είναι καθαρά ντετερμινιστική, αλλά μπορεί επίσης να αναμένεται ότι η πραγματική δυναμική δρομολόγηση που βασίζεται σε επεξεργασία επί του δορυφόρου και λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα υπηρεσιών καθώς και τη φόρτωση συνδέσμων θα πρέπει να αναπτυχθεί στο άμεσο μέλλον. Με τον τρόπο αυτό, μια καλή επιλογή βασίζεται σε μια αμιγή δρομολόγηση IP, όπως αποδεικνύεται από την πρόσφατη πρωτοβουλία Cisco IRIS. Σε ένα ενδιάμεσο ορίζοντα, οι δυνατότητες αποθήκευσης τους αναμένεται να αυξηθούν και αυτό θα μπορούσε να είναι γόνιμο για ένα μεγάλο αριθμό υπηρεσιών. Γενικότερα, οι δυνατότητες επί του LEO δορυφόρου αποτελούν καλή ευκαιρία για επεξεργασία ή/και αποθήκευση των δεδομένων χρήστη, όπως υπαγορεύονται από τα χαρακτηριστικά του ICN-PSI. Τα δίκτυα LEO μπορούν να λειτουργούν όχι μόνο ως δίκτυα πρόσβασης αλλά και να παρέχουν λειτουργίες ICN, ιδίως, κάποια ανάλυση ονόματος (name resolution (RV)) και λειτουργίες δρομολόγησης (routing functions (TM)) θα μπορούσαν να εφαρμοστούν άμεσα σε δορυφόρους LEO. Ένα πρώτο βήμα προς το σενάριο είναι ότι όλα τα μεταδεδομένα ICN αποθηκεύονται επί του σκάφους, όπου απαιτούν μόνο περιορισμένη αποθήκευση και επεξεργασία πόρων για τους δορυφόρους. Αυτό οδηγεί σε πιθανή εξισορρόπηση μεταξύ της ICN απόδοσης και του φορτίου επεξεργασίας στους κόμβους LEO (κατά συνέπεια αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει την εφαρμογή από τεχνοοικονομική άποψη). Σε περίπτωση που περισσότεροι πόροι αποθήκευσης ήταν διαθέσιμοι, αλλά και με μεγάλες δυνατότητες διασύνδεσης, η κρυφή μνήμη επί του σκάφους θα προσδώσει μεγαλύτερη ποιότητα υπηρεσιών σε μείωση της καθυστέρησης και ενδεχομένως την ενίσχυση διακίνησης. Άλλα στοιχεία λειτουργίας, προσανατολισμένα στο περιεχόμενο, θα μπορούσαν επίσης να ενσωματωθούν επωφελώς επί του σκάφους. Τελευταία, οι τοπολογίες αστέρα LEO μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση στην καθυστέρηση διάδοσης, η οποία επίσης επηρεάζει άμεσα την παγκόσμια ποιότητα πείρας (global Quality of Experience (QoE)). Σημαντικές τεχνικές πτυχές για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του ICN για τις δορυφορικές επικοινωνίες στο πλαίσιο της έξυπνης μεταφοράς υπηρεσιών M2M είναι (α) η ιεραρχική ονομασία, (β) οι ευκαιριακές προωθήσεις περιεχομένου και προσωρινής αποθήκευσης, (γ) η κινητικότητα των εκδοτών. Τα δεδομένα M2M συλλέγονται από πολλά κινητά τερματικά, που υπάγονται σε διαφορετικά και ποικίλα πεδία με ετερογενή μεταδεδομένα. Τα μεταδεδομένα είναι χωρικά και χρονικά με κάποια περίοδο χρονοσήμανσης / ισχύος. Η αποτελεσματική ιεραρχία ονομασίας πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να διευκολυνθούν τα εξής: η ταξινόμηση IO, η Ιεράρχηση

περιεχομένου (παραδείγματος χάριν ειδοποιήσεις όπως οι συνθήκες ασφάλειας , οι συνθήκες του σκάφους σε σχέση με τις τυπικές μετρήσεις), η οριοθέτηση κ.λ.π. Δεδομένου ότι πολλές εφαρμογές M2M περιλαμβάνουν τη μεταφορά πολλαπλών δεδομένων από απομακρυσμένες πηγές στους διακομιστές των υπηρεσιών, ο χειρισμός όλων αυτών των δεδομένων ως ξεχωριστή έκδοση θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα κλιμάκωσης. Οι τεχνικές ονομασίας διερευνώνται σε σχέση με την ικανότητά τους να υποστηρίξουν ομαδοποίηση IO. Τυπικά, αυτό θα περιλαμβάνει , επίσης, τη συσσωμάτωση σε υψηλότερα στρώματα (για παράδειγμα η λειτουργία ανάλυσης, η λειτουργία TM κ.λ.π). Για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ευκαιριακές τεχνικές διαχείρισης περιεχομένου push-cache. Υπάρχουν τρεις κύριες πτυχές της αποθήκευσης περιεχομένου που πρέπει να αντιμετωπιστούν ανάλογα με την περίπτωση :

(α) προσωρινή αποθήκευση των κόμβων του δικτύου δορυφορικών επικοινωνιών  
(β) ευκαιριακή προώθηση περιεχομένου σε επίγειες πύλες σε περιπτώσεις συνύπαρξης δορυφορικού και επίγειου δικτύου και (γ) προσωρινή αποθήκευση σε κινητά τερματικά. Η τελευταία θεωρείται ως ενίσχυση για τις προτεινόμενες αρχιτεκτονικές VANET. Συγκεκριμένα ένα όχημα στο πλαίσιο του VANET θα αποθηκεύει το περιεχόμενό του ώστε να το αναμεταδώσει σε άλλο όχημα. Ωστόσο, αυτή η λειτουργία μπορεί να επεκταθεί προκειμένου να γίνουν αποτελεσματικοί οι κόμβοι οχήματα ICN-PSI, για παράδειγμα κόμβοι που μπορούν να ικανοποιήσουν τα αντίγραφα για το περιεχόμενο μέσω αποθηκευμένων αντιγράφων. Σε σενάρια M2M και οι δυο συνδρομητές και εκδότες είναι κινητοί. Για να μειωθεί ο χρόνος σύγκλισης που αναμένεται για το δίκτυο RV σε περίπτωση εκδότη, λαμβάνονται υπόψη κεντρικές λειτουργίες RV. Επιπτώσεις μπορεί να προκύψουν λόγω της κινητικότητας εκδότη μεταξύ δορυφορικών και επίγειων δικτύων. Τελικώς, στην κορυφή των γενικών οφελών ICN-PSI, σημαντικά πρόσθετα οφέλη προκύπτουν από την εγγενή υποστήριξη του Delay Tolerant Networking (DTN), περιεχομένου που προέρχεται από ή κατευθύνεται σε οχήματα που μπορούν να υποβάλλονται σε απρόβλεπτες καθυστερήσεις που προκαλούνται από διάφορες παραμέτρους, όπως η προσωρινή απώλεια του LOS λόγω του αποκλεισμού σε ένα αστικό περιβάλλον ή από τυχαία συστήματα πρόσβασης που απασχολούνται στο δορυφορικό κανάλι επιστροφής, ειδικά σε περιπτώσεις αυξημένης κινητικότητας.

#### **(γ)Σενάριο επέκτασης τέταρτης γενιάς (4G) υποστήριξης δικτύων**

Το σενάριο αυτό παρέχει τα πλεονεκτήματα της ολοκλήρωσης των δορυφορικών επικοινωνιών εντός του πλαισίου 4G/mobile του Διαδικτύου, δεδομένου του τεράστιου επιπέδου ανάπτυξης της κυκλοφορίας βίντεο σε επίγεια δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Η ενσωμάτωση δορυφόρου σε επίγεια 4G υποδομή επιτρέπει

στους παρόχους υπηρεσιών να επεκτείνουν τις υπηρεσίες τους προς την κατεύθυνση απομονωμένων περιοχών και να ενισχύσουν τις δυνατότητες του δικτύου για την πλέον αποτελεσματική παροχή περιεχομένου βίντεο, όπως Evolved Multimedia Broadcast Multicast (eMBMS). Το ίδιο το δορυφορικό δίκτυο θα μπορούσε να περιλαμβάνει συνήθως μια τοπολογία GEO ή MEO. Σε ορισμένους τομείς επίγειων αναμεταδοτών (όπως σε συστήματα που βασίζονται σε DVB-SH και -NGH), θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει το σήμα του δορυφόρου, π.χ. για λήψη σε αστικές περιοχές (Υβριδικό Δορυφορικό Σύστημα - LTE). Σημαντικά οφέλη ένταξης ICN-PSI προκύπτουν από την ποιότητα υπηρεσιών των συνιστωσών διαχείρισης. Συνήθως, η λειτουργία ICN-PSI TM, η οποία θα χειριστεί μια περίπτωση συνιστωσών παράδοσης, μπορεί να περιλαμβάνει μηχανισμούς QoS για την επιλογή διαδρομής και διαβίβασης των δεδομένων. Επιπλέον η ενεργητική/ευκαιριακή προώθηση και το περιεχόμενο υποστήριξης προσωρινής αποθήκευσης θα μπορούσαν να βοηθήσουν περαιτέρω την απρόσκοπτη μεταπομπή διαβιβάζοντας το περιεχόμενο των σταθμών βάσης με τη δορυφορική οπισθοζεύξη προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν αξιοσημείωτες αλλαγές όσον αφορά την καθυστέρηση στο κινητό του χρήστη. Συναφείς συνεχείς υπηρεσίες μπορούν να εξυπηρετηθούν από τις μεταδόσεις του αποθηκευμένου περιεχομένου κατά την αρχική περίοδο μετά την παράδοση. Από την άλλη πλευρά, οι καθυστερήσεις συμβαίνουν επίσης λόγω των καθυστερήσεων μεταπομπής πάνω από το δορυφορικό κανάλι. Αυτό μπορεί επίσης να μετριαστεί από την άποψη των ενεργών εφαρμογών (δηλαδή για συνεχή παροχή δεδομένων στο κινητό του χρήστη) μέσω αποθηκευμένου περιεχομένου. Παρόμοια οφέλη του ICN-PSI μπορεί να γίνουν αντιληπτά στην περίπτωση των μεταπομπών από ένα σταθμό βάσης δορυφόρου σε άλλο σταθμό βάσης και πάλι μέσω της χρήσης προσωρινής αποθήκευσης. Στην περίπτωση αυτή, η παράδοση του περιεχομένου δεν επηρεάζεται από την αλλαγή RTT (μείωση) που θα μπορούσε να προκαλέσει στο περιεχόμενο να παραδοθεί εκτός σειράς, όπως η αρχική φάση μετά την παράδοση μπορεί να αντιμετωπιστεί με τις μεταδόσεις του αποθηκευμένου περιεχομένου από το σταθμό βάσης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η από κοινού αξιοποίηση των βασικών λειτουργιών ICN-PSI με λειτουργίες υποστήριξης QoS και η δορυφορική εκμετάλλευση των πόρων καθώς και οι Bandwidth-on-Demand μηχανισμοί θα βελτιστοποιήσουν περαιτέρω την ολοκληρωμένη απόδοση των δικτύων. Για παράδειγμα, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές υπηρεσίες υποστήριξης δικτύων, ο διαχειριστής του δικτύου έχει τη δυνατότητα λεπτομερούς ελέγχου της παράδοσης, προσωρινής αποθήκευσης και τις διαχείρισης περιεχομένου IO όπως επιθυμεί, αντί να βασίζεται στη στατική ικανότητα, όπου ορισμένοι πόροι αναπόφευκτα χάνονται όταν το ποσό της κυκλοφορίας για μεταφορά μειώνεται. Ατομικός έλεγχος πρόσβασης μπορεί να εφαρμοστεί, δηλαδή ανά αντικείμενο, ανά χρήστη ή ανά χρήστη και τον τερματικό σταθμό. Τέλος, χρησιμοποιώντας το δορυφορικό μέσο ως μια σύνδεση οπισθοζεύξης αποκλίνει από αποδεκτές πολιτικές ασφαλείας σχετικές με τον

πυρήνα της ασφάλειας δικτύου σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο, στο πλαίσιο της ICN-PSI δικτύωσης, τόσο το περιεχόμενο όσο και ο συνδρομητής / εκδότης έχουν πραγματοποιήσει έλεγχο ταυτότητας.

## **Επίλογος**

Υβριδική μετάδοση IPTV, μεταφορά Smart M2M και επέκταση 4G υποστήριξης δικτύων είναι τα τρία σενάρια των δορυφορικών επικοινωνιών που φημολογούνται για το απώτερο μέλλον. Κατά πόσο θα υλοποιηθούν, εφαρμοστούν ή ανατραπούν στην μελλοντική μας πορεία, είναι κάτι που κανείς δεν το γνωρίζει. Δεν έχουμε παρά να περιμένουμε.



## Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία κάναμε αρχικά μια εκτενή αναφορά στα είδη των δορυφόρων, στον τρόπο λειτουργίας τους σε σχέση με την τροχιά τους, στην αλληλεπίδρασή τους με το επίγειο τμήμα και στην ιστορία τους. Στη συνέχεια έγινε μια αναφορά στο σήμερα, όπου φάνηκε και η κυριαρχία του δορυφόρου KA-SAT, του πρώτου ευρωπαϊκού δορυφόρου της Eutelsat. Είναι ο πρώτος δορυφόρος μεγάλης χωρητικότητας, που χρησιμοποιεί αποκλειστικά συχνότητες της ζώνης Ka. Έδωσε ώθηση στις υπηρεσίες ευρυζωνικότητας χάρη στον τριπλασιασμό της χωρητικότητάς του. Με 82 δέσμες εκπομπής και ταχύτητα μετάδοσης (throughput) που υπερβαίνει τα 70 Gbps, ο KA-SAT θεωρείται σήμερα ως ο πιο ισχυρός δορυφόρος στον κόσμο. Η υπηρεσία επόμενης γενιάς Tooway™, αξιοποιεί την ισχύ της δορυφορικής πλατφόρμας του KA-SAT που υποστηρίζει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (High-Throughput Satellite - HTS). Η υποδομή του KA-SAT είναι σε θέση να προσφέρει σε πάνω από ένα εκατομμύριο νοικοκυριά σε ολόκληρη την Ευρώπη, ταχύτητες λήψης (download) και εκπομπής (upload) δεδομένων που φτάνουν μέχρι τα 10 Mbps και 4 Mbps, αντίστοιχα.

Εξετάζοντας το τι θα επικρατήσει στο άμεσο μέλλον, αξίζει να αναφέρουμε την προσπάθεια της NASA με το Laser Communications Relay Demonstration Project. Η τεχνολογία αυτή μεταδίδει το σήμα με τη βοήθεια υπέρυθρης ακτινοβολίας laser. Το μεγάλο πλεονέκτημα της δέσμης αυτής, είναι ότι δέκα χιλιάδες μήκη κύματός της, «χωράνε» μέσα σε ένα μήκος κύματος της εδώ και χρόνια χρησιμοποιούμενης RF ακτινοβολίας. Το οποίο σημαίνει πολύ μεγαλύτερο όγκο μεταφερόμενη πληροφορία στον ίδιο χρόνο. Βέβαια η ακτινοβολία laser έχει να αντιμετωπίσει κάποια προβλήματα με βασικότερο την εξασθένηση είτε και διακοπή της από τις νεφοκαλύψεις.

Στη συνέχεια, τολμήσαμε να ερευνήσουμε για το τι εφαρμογές βρίσκονται αυτή τη στιγμή προς υλοποίηση οι οποίες θα μπορούσαν στο μέλλον να προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες σε μια πιο compact σχεδίαση. Μεγάλες οι προσδοκίες από την υπό έρευνα επικοινωνία με αισθητήρες ZigBee οι οποίοι ήδη χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα επίγειων εφαρμογών. Σχεδιάστηκε ο δορυφόρος Velox I με όσο το δυνατόν λιγότερο βάρος και με προοπτικές για ακόμη μικρότερο. Παρόλα αυτά η χρήση των ασυρμάτων δικτύων με αισθητήρες ZigBee παραμένει περιορισμένη για εφαρμογές στο διάστημα.

Παρουσιάσαμε επίσης το εγχείρημα της εταιρείας Laser Light™ Communications η οποία σκοπεύει να γίνει ο πρώτος πάροχος οπτικών δορυφορικών υπηρεσιών για τηλεπικοινωνιακές λύσεις σχετικές με δεδομένα υψηλού bandwidth. Οι λύσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν από τον κλάδο των μεταφορών, των επιχειρήσεων και των κυβερνητικών οργανισμών όλου του κόσμου, οι οποίοι βασίζονται εξ ολοκλήρου στην τεχνολογία οπτικών κυμάτων. Προβλέπεται η χρήση MEO

δορυφόρων με συστήματα χωρητικότητας 6Tbps, οι οποίοι θα διασυνδεθούν με το παγκόσμιο υπάρχον δίκτυο οπτικών ινών - επίγεια και υποθαλάσσια - εξασφαλίζοντας παγκόσμια κάλυψη σε επίπεδο υπηρεσιών και επιλογών συνδεσιμότητας πρωτόγνωρο για άλλες δορυφορικές πλατφόρμες.

Τέλος, είδαμε το όραμα CoraSat της γνωσιακής-έξυπνης ακτινοβολίας, η οποία κάνει χρήση των μη επαρκώς χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων αναθέτοντας το έργο αυτό σε δορυφορικές υπηρεσίες ως κύρια ή δευτερεύουσα κατανομή. Η ακτινοβολία αυτή «μαθαίνει» από το περιβάλλον και προσαρμόζεται σε αυτό. Αυτός είναι και ο λόγος που θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα νέο κανονιστικό περιβάλλον που θα επιτρέψει την χρήση των τεχνικών CR στο οικοσύστημα δορυφορικών επικοινωνιών.

Δεν θα ήταν ολοκληρωμένη αυτή η πτυχιακή, αν δεν είχε μελετήσει και τα σενάρια του απώτερου μέλλοντος τα οποία φημολογούνται. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στο παράδειγμα Information-Centric Networking (ICN) επικοινωνιών. Το πρώτο σενάριο αφορά στην υβριδική μετάδοση IPTV, ανοίγοντας το δρόμο για την ολοκλήρωση των δορυφορικών επικοινωνιών στα πλαίσια του Future Media Internet. Το δεύτερο σενάριο αφορά στη μεταφορά Smart M2M, ανοίγοντας το δρόμο για την ολοκλήρωση των δορυφορικών επικοινωνιών μέσα στα πλαίσια ενός μελλοντικού Internet. Τέλος, το τρίτο σενάριο αφορά στην επέκταση τέταρτης γενιάς (4G) υποστήριξης δικτύων, δίνοντας ώθηση και ανοίγοντας το δρόμο στις δορυφορικές επικοινωνίες εντός του κόσμου του mobile Internet.

Με την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας, το απώτερο μέλλον των δορυφορικών επικοινωνιών είναι μάλλον απρόβλεπτο. Οι αυξανόμενες ανάγκες για ολοένα και πιο απαιτητικές υπηρεσίες, μπορούν να οδηγήσουν τις εξελίξεις σε τέτοιο στάδιο, που ίσως να μην έχουμε καν οραματιστεί.

## Ονοματολογία

AP = Access Provider

CDN = Content Delivery Network

CP = Content Provider

DoS = Denial of Service

DTN = Delay Tolerant Networking

FI = Future Internet

eMBMS = Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service

ICN = Information-Centric Networking

IO = Information Object

IPTV = Internet Protocol TeleVision

LTE = Long-Term Evolution

M2M = Machine-to-Machine

MPLS = Multi-Protocol Label Switching

MVC = Multi-View Video Coding

PBR = Policy-Based Routing

PSI = Publish Subscribe Internetworking

QoE = Quality of Experience

QoS = Quality of Service

RV = Rendez-Vous

SVC = Scalable Video Coding

TM = Topology Management

TP = Transit Provider

VANET = Vehicular Ad-hoc NETwork

V2I/V = Vehicle-to-Infrastructure/Vehicle

## Βιβλιογραφία

1. Καψάλη, Χ., Κωπτή, Π., (2003), "Δορυφορικές Επικοινωνίες", εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
2. Caplan, D.O.; Rao, H.; Wang, J.P.; Boroson, D.M.; Carney, J. J.; Fletcher, A.S.; Hamilton, S.A.; Kochhar, R.; Magliocco, R.J.; Murphy, R.; Norvig, M.; Robinson, B.S.; Schulein, R.T.; Spellmeyer, N.W.; , "Ultra-wide-range multi-rate DPSK laser communications," Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), 2010 Conference on , vol.,no., pp.1-2, 16-21 May 2010
3. Shoup, R.; List, N.; Fletcher, A.; Royster, T.; , "Using DVB-S2 over asymmetric heterogeneous optical to radio frequency satellite links," MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2010 - MILCOM 2010 , vol., no., pp.785-790, Oct. 31 2010-Nov. 3 2010
4. K. E. Wilson, J. Wu, N. Page, M. Srinivasan, "The JPL Optical Communications Telescope Laboratory (OCTL), Test Bed For The Future Optical Deep Space Network" JPL, Telecommunications and Data Acquisition Progress Report 142 -153 February 2003.
5. K. Wilson, W.T. Roberts, V. Garkanian, F. Battle, R. Leblanc, H. Hemmati, and P. Robles "Plan For Safe Laser Beam Propagation From The Optical Communications Telescope Laboratory" JPL, Telecommunications and Data Acquisition Progress Report 142 -152, February 2003.
6. Grein, M.E.; Kerman, A.J.; Dauler, E.A.; Shatrovov, O.; Molnar, R.J.; Rosenberg, D.; Yoon, J.; DeVoe, C.E.; Murphy, D.V.; Robinson, B.S.; Boroson, D.M.; , "Design of a ground-based optical receiver for the lunar laser communications demonstration," Space Optical Systems and Applications (ICSOS), 2011 International
7. Wikipedia, the free encyclopedia - Internet