

Συστήματα DVB-S/S2, DVB-RCS και DVB-SH

Σύνοψη

Το DVB-S είναι μία οικογένεια πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στις δορυφορικές επικοινωνίες. Με αυτό το πρωτόκολλο, καθώς και με παραλλαγές του, ασχολείται το παρόν κεφάλαιο. Τα πρότυπα αυτά αναλύονται συνοπτικά σε φυσικό επίπεδο (physical layer), σε επίπεδο ζεύξης δεδομένων (MAC layer) και σε επίπεδο δικτύου (network/IP layer). Δίνονται αναλυτικά παραδείγματα μετάδοσης υπηρεσιών μέσω αυτών των πρωτοκόλλων και μελετώνται οι επιδόσεις για διαφορετικά είδη υπηρεσιών.

Το DVB (Digital Video Broadcasting) αποτελεί μια πλατφόρμα που έχει ως στόχο την υπηρεσία ευρυεκπομπής (broadcasting) πολυμεσικών εφαρμογών (multimedia applications). Η πλατφόρμα αυτή δημιουργήθηκε το 1993 και εξελίχθηκε μέχρι σήμερα από εταιρείες (περίπου 300) από όλο τον κόσμο, που επιθυμούσαν την εξάπλωση της ψηφιακής τηλεόρασης στο ευρύ κοινό. Τα μέλη του DVB project αναπτύσσουν τεχνικά χαρακτηριστικά και πρότυπα, τα οποία στη συνέχεια λαμβάνουν την έγκριση του JTC (Joint Technical Committee), για να αποτελέσουν διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα. Η JTC απαρτίζεται από τρεις διεθνείς οργανισμούς, το Ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute) και τις Επιτροπές EBU (European Broadcasting Union) και CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization).

Οι στόχοι του DVB είναι:

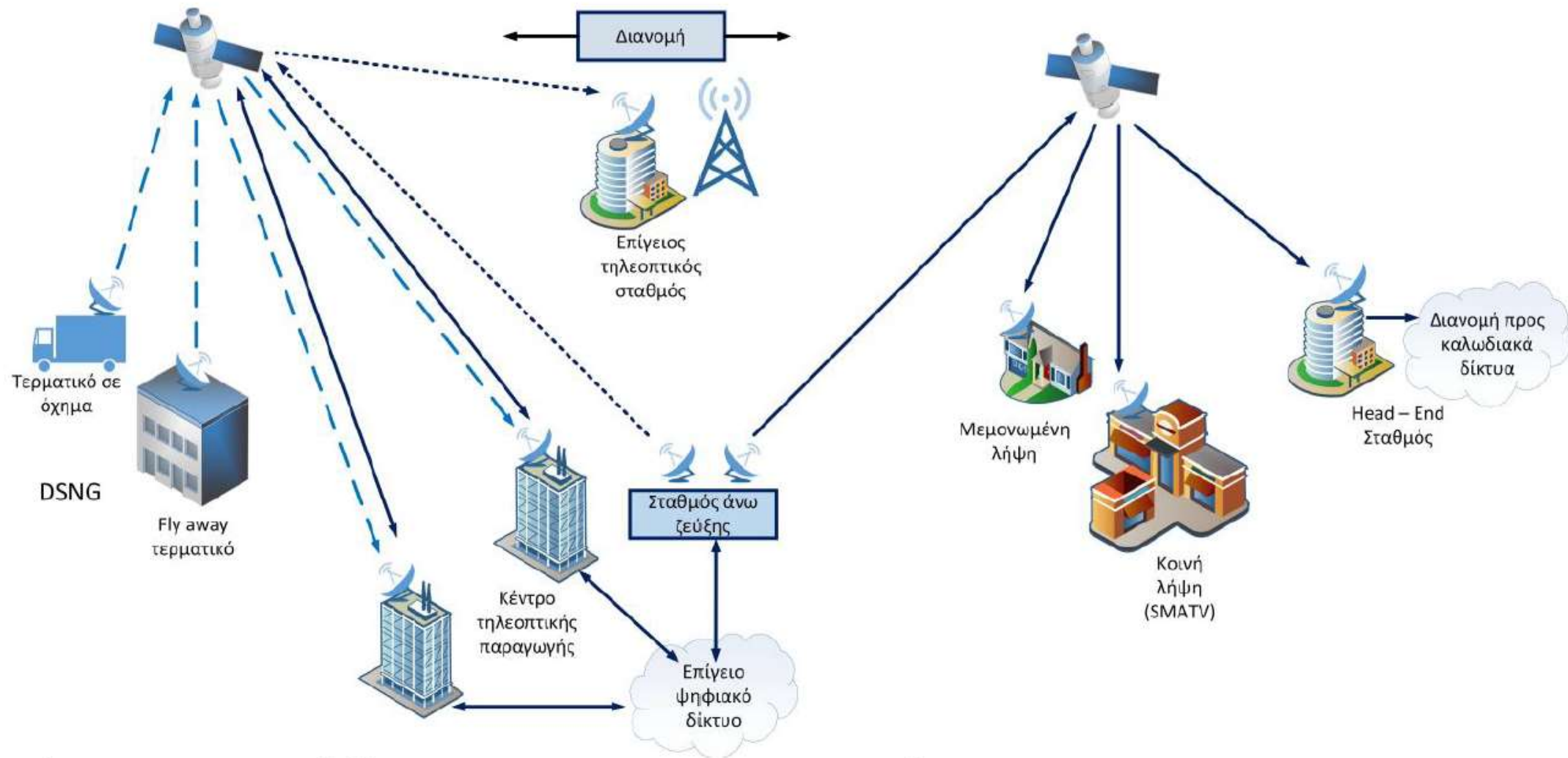
- Η δυνατότητα να μεταδοθούν περισσότερα του ενός τηλεοπτικά προγράμματα μέσα από τον ίδιο δίαυλο, ανεξαρτήτως του μέσου μετάδοσης.
- Η υποστήριξη την ευρυεκπομπής ραδιοφωνικών προγραμμάτων και δεδομένων για διασκέδαση και επιχειρηματικούς σκοπούς.
- Η δυνατότητα του χρήστη να επιλέξει ποιότητα εικόνας και ήχου, συμπεριλαμβανομένης και της τηλεόρασης υψηλής ευκρινείας HDTV (High Definition TV).
- Η διαδραστικότητα μεταξύ του χρήστη και του παρόχου της υπηρεσίας.

Πρότυπο DVB-S

Το DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) αναπτύχθηκε το 1993 με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την ψηφιακή ευρυεκπομπή μέσω δορυφόρου. Είναι το παλαιότερο και πιο διαδεδομένο από την οικογένεια προτύπων DVB και τυγχάνει παγκόσμιας αποδοχής, εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν απαιτεί καλώδιο, όπως το DVB-C, και επίγειες κεραίες, όπως το DVB-T. Το DVB-S σχεδιάστηκε, ώστε να εκμεταλλεύεται πλήρως το εύρος ζώνης των δορυφορικών τηλεοπτικών αναμεταδοτών. Χρησιμοποιεί ρυθμό μεταφοράς 54Mbps με διαμόρφωση QPSK, σε συνδυασμό με ένα σχήμα διπλής κωδικοποίησης και διεμπλοκής (coding/interleaving).

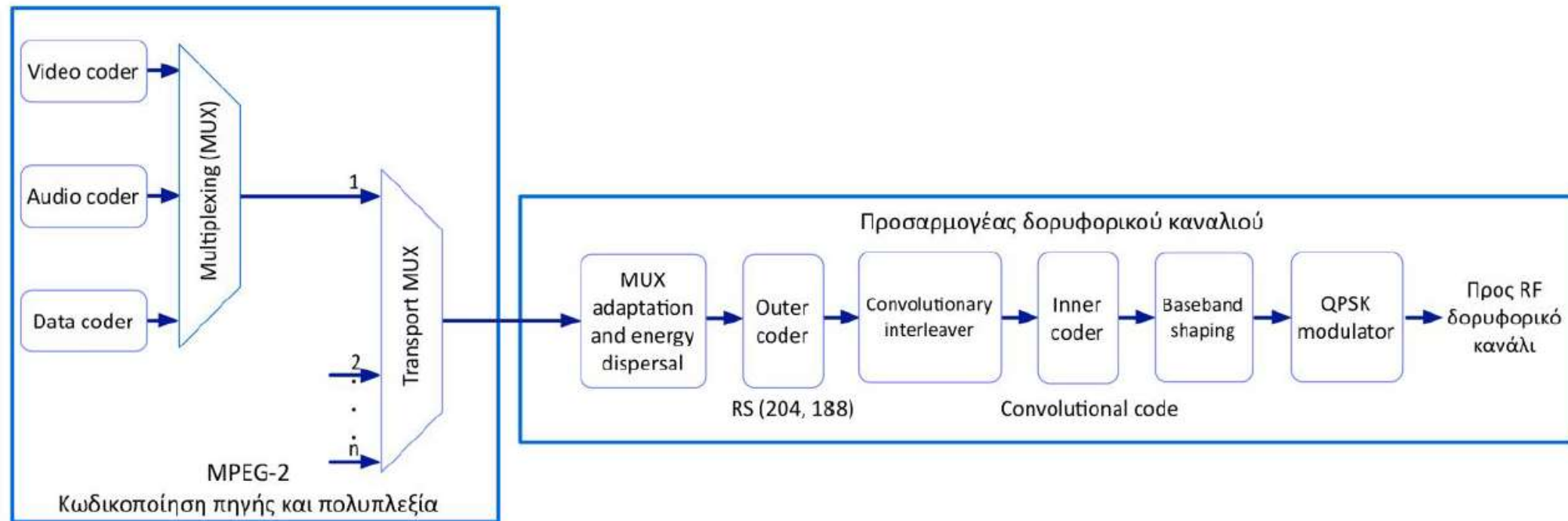
Το DVB-S περιγράφει (τυποποιεί) το σύστημα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης για τις δορυφορικές ψηφιακές υπηρεσίες τηλεοπτικού (SDTV και HDTV) σήματος, που χρησιμοποιούνται για την αρχική και δευτεροβάθμια διανομή στις ζώνες σταθερών δορυφορικών υπηρεσιών (FSS) και δορυφορικών υπηρεσιών ευρυεκπομπής (BSS). Προορίζεται να παρέχει υπηρεσίες Direct-To-Home (DTH) στους οικιακούς τερματικούς χρήστες που διαθέτουν αποκωδικοποιητές (Integrated Receiver/Decoder, IRD). Το DVB-S παρέχει μηχανισμό για χρήση στα διαφορετικά εύρη ζώνης των δορυφορικών αναμεταδοτών και είναι συμβατό με το MPEG-2. Η ευελιξία, η οποία καθορίζεται στο πρότυπο, επιτρέπει την ικανότητα μετάδοσης σε διάφορες τηλεοπτικές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών ήχου και δεδομένων.

Με την εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας στην παραγωγή και την εκπομπή ραδιοτηλεοπτικού περιεχομένου, καθώς και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τηλεθεατών και των παραγωγών των προγραμμάτων, οι δορυφορικές ζεύξεις έχουν τη δυνατότητα να διανέμουν και να εκπέμπουν υπηρεσίες, όπως φαίνεται στο παρακάτω τυπικό Σχήμα 12.1.



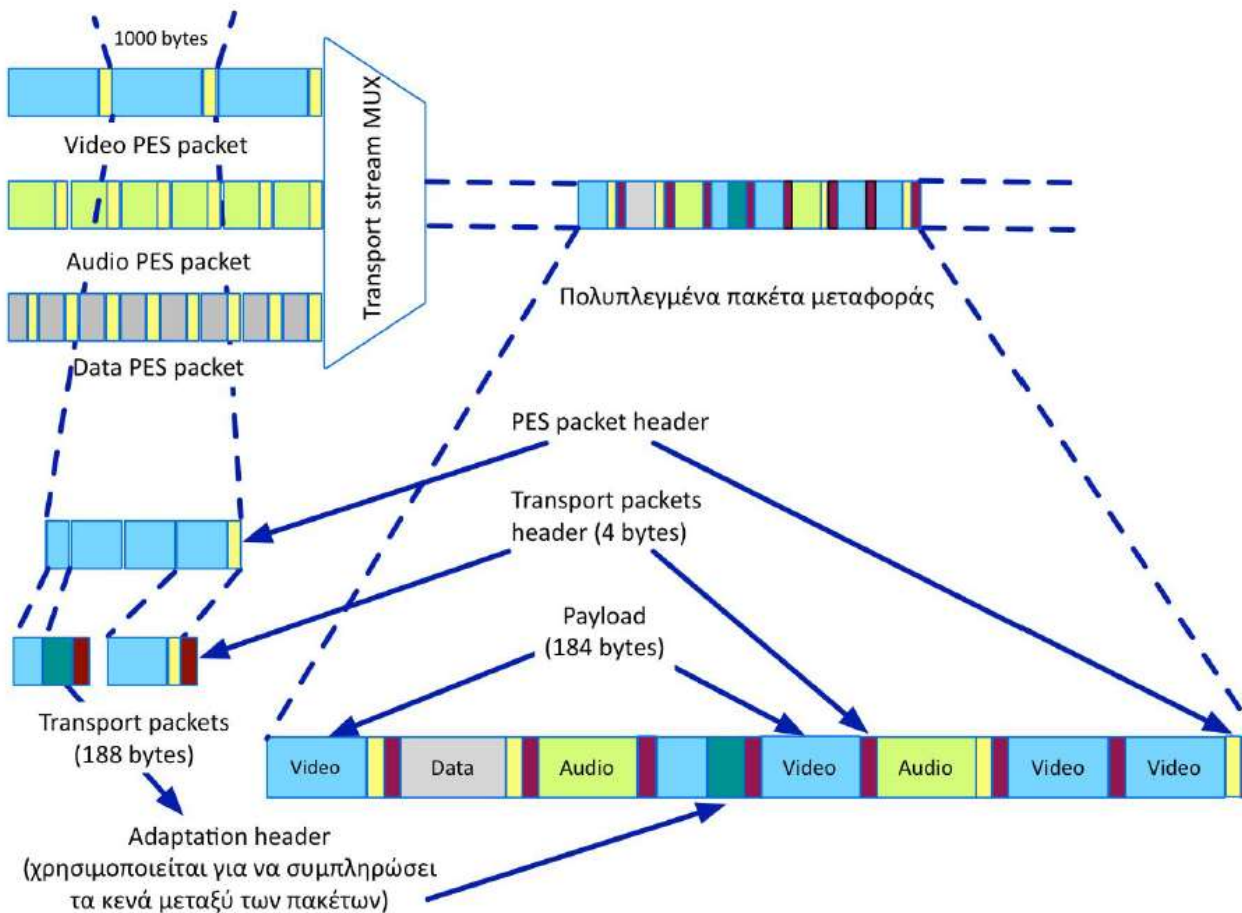
Σχήμα 12.1 Τυπικό περιβάλλον παραγωγής και εκπομπής ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος

Για τη μείωση των λαθών, η τεχνική DVB-S αξιοποίησε τα πλεονεκτήματα ψηφιακών διαδικασιών, όπως την εμπροσθόδοτη (χωρίς επαλήθευση) διόρθωση λαθών (Forward Error Correction, FEC) και τη διεμπλοκή ψηφίων (interleaving). Το DVB-S χρησιμοποιεί διαμόρφωση QPSK, 8PSK ή 16QAM και ακολουθεί φίλτράρισμα βασικής ζώνης. Το φάσμα του σήματος που προκύπτει είναι εξαπλωμένο κατά έναν συντελεστή roll-off $\alpha=0.35$. Το διάγραμμα αρχιτεκτονικής του συστήματος μετάδοσης DVB-S παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.2 (ETSI, 1997).

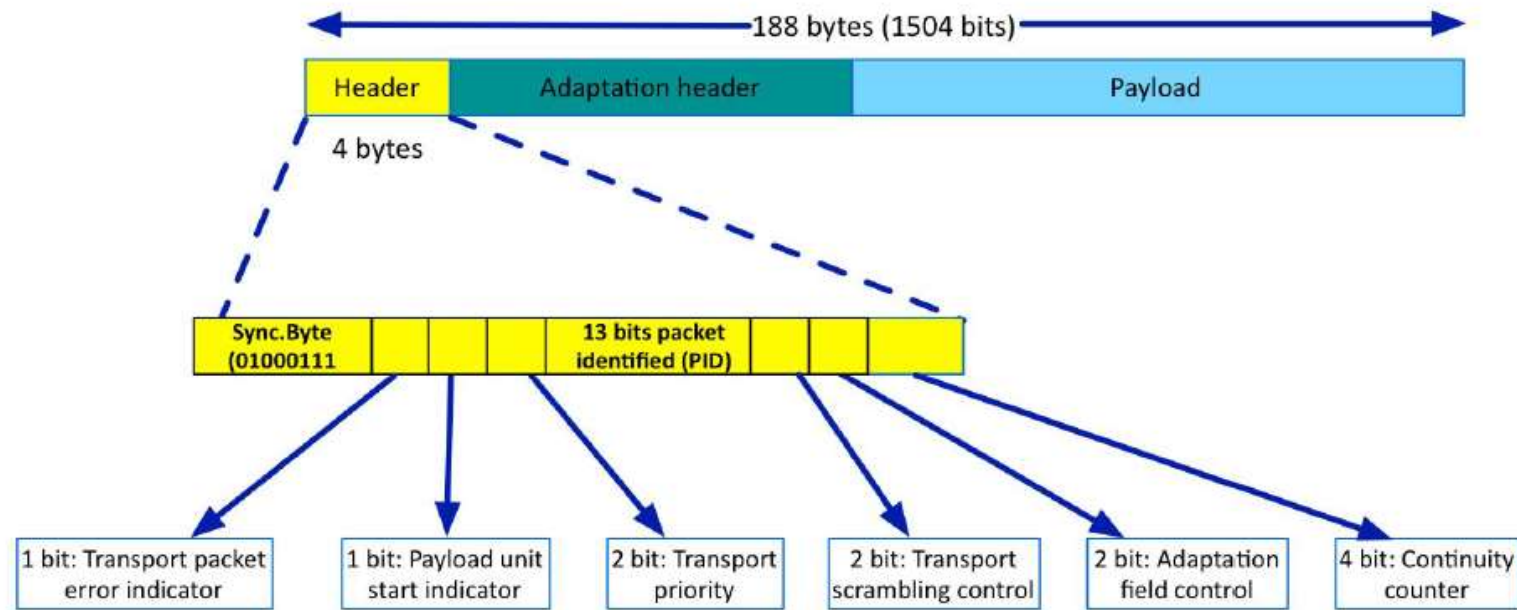


Σχήμα 12.2 Το σύστημα DVB-S για δορυφορική ψηφιακή τηλεόραση

Η δομή του πλαισίου του συστήματος DVB-S, όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.3, βασίζεται στην πολυπλεξία MPEG-2. Η πολυπλεξία επιτρέπει τη συγχώνευση ενός μεγάλου αριθμού υπηρεσιών βίντεο, ήχου και δεδομένων σε ένα απλό ρεύμα μεταφοράς (single transport stream). Τα πακέτα μεταφοράς έχουν σταθερό μέγεθος, ίσο με 188 bytes, στο οποίο περιλαμβάνεται 1 byte συγχρονισμού (sync), 3 bytes επικεφαλίδας που περιέχουν τα αναγνωριστικά πακέτου (Packet Identifiers, PID) και 184 χρήσιμα bytes (βλ. Σχήμα 12.4). Στις επικεφαλίδες των πακέτων δεν έχει συμπεριληφθεί κάποιο πεδίο για προστασία από σφάλματα. Επομένως, απαιτείται ένα ανθεκτικό στρώμα προσαρμογής καναλιού (channel adaptation layer), ικανό να παρέχει στον αποπολυπλέκτη μια ροή δεδομένων χωρίς σφάλματα.



Σχήμα 12.3 Δομή πολυπλεξίας και μετάδοσης



Σχήμα 12.4 Επικεφαλίδες των πακέτων

. Πρότυπο DVB-S2

Το πρότυπο DVB-S2 (Digital Video Broadcasting via Satellite – Second Generation) είναι η δεύτερη γενιά του ευρυζωνικού δορυφορικού προτύπου DVB-S και η ανάπτυξή του ξεκίνησε το 2003. Στη συνέχεια, εγκρίθηκε από το Ινστιτούτο ETSI τον Μάρτιο του 2005 (ETSI, 2014). Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε με σκοπό να επιτρέψει την επέκταση πολλαπλών ευρυζωνικών δορυφορικών εφαρμογών, όπως υπηρεσίες ευρυεκπομπής για SDTV (Standard-definition television) και HDTV (High-definition television), διαδραστικές υπηρεσίες, όπως πρόσβαση στο Internet για εφαρμογές των χρηστών (τερματικών), επαγγελματικές εφαρμογές, όπως διανομή ψηφιακής τηλεόρασης και συλλογή ειδήσεων (Digital Satellite News Gathering, DSNG), διανομή τηλεοπτικού σήματος σε επίγειους VHF/UHF πομπούς, διανομή ψηφιακών δεδομένων και Internet Trunking. Το πρότυπο DVB-S2 έχει αναπτυχθεί, έτσι ώστε να προσφέρει μέγιστη απόδοση μετάδοσης, απόλυτη ευελιξία και όσο το δυνατό μικρότερη πολυπλοκότητα δέκτη. Σήμερα η κύρια χρήση γι' αυτά τα νέα πρότυπα είναι η διανομή High-Definition Television (HDTV ή απλά HD), ενώ τα αρχικά πρότυπα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για Standard-Definition Television (or SDTV) υπηρεσίες. Η ανάπτυξη DVB-S2 συνέπεσε με την εισαγωγή της HDTV και των H.264 (MPEG-4) κωδικοποιήσεων.

Το DVB-S2, που βασίζεται στα πρότυπα DVB-S και DVB-DSNG, αποτελεί μερική συμπλήρωση, επέκταση και ενίσχυση των δύο αυτών προτύπων, που χρησιμοποιούνται για τη δορυφορική μετάδοση. Δύο νέα κύρια χαρακτηριστικά που προστέθηκαν στο DVB-S2, σε σχέση με το DVB-S, είναι:

- Μεταβαλλόμενες παράμετροι κωδικοποίησης σε πραγματικό χρόνο.
- Προσαρμοστική κωδικοποίηση και διαμόρφωση (Adaptive Coding and Modulation, ACM), η οποία βελτιστοποιεί τις παραμέτρους μετάδοσης για τους διάφορους χρήστες.

Οι βασικοί άξονες της ανάπτυξής του ήταν:

- Η βέλτιστη δυνατή ψηφιακή απόδοση του διαύλου, ώστε να προσεγγίζει το όριο του Shannon.
- Απόλυτη ευελιξία στην επιλογή κατάλληλης ψηφιακής διαμόρφωσης.
- Η ελάχιστη δυνατή πολυπλοκότητα στον δέκτη και στις λειτουργίες που αυτός επιτελεί.

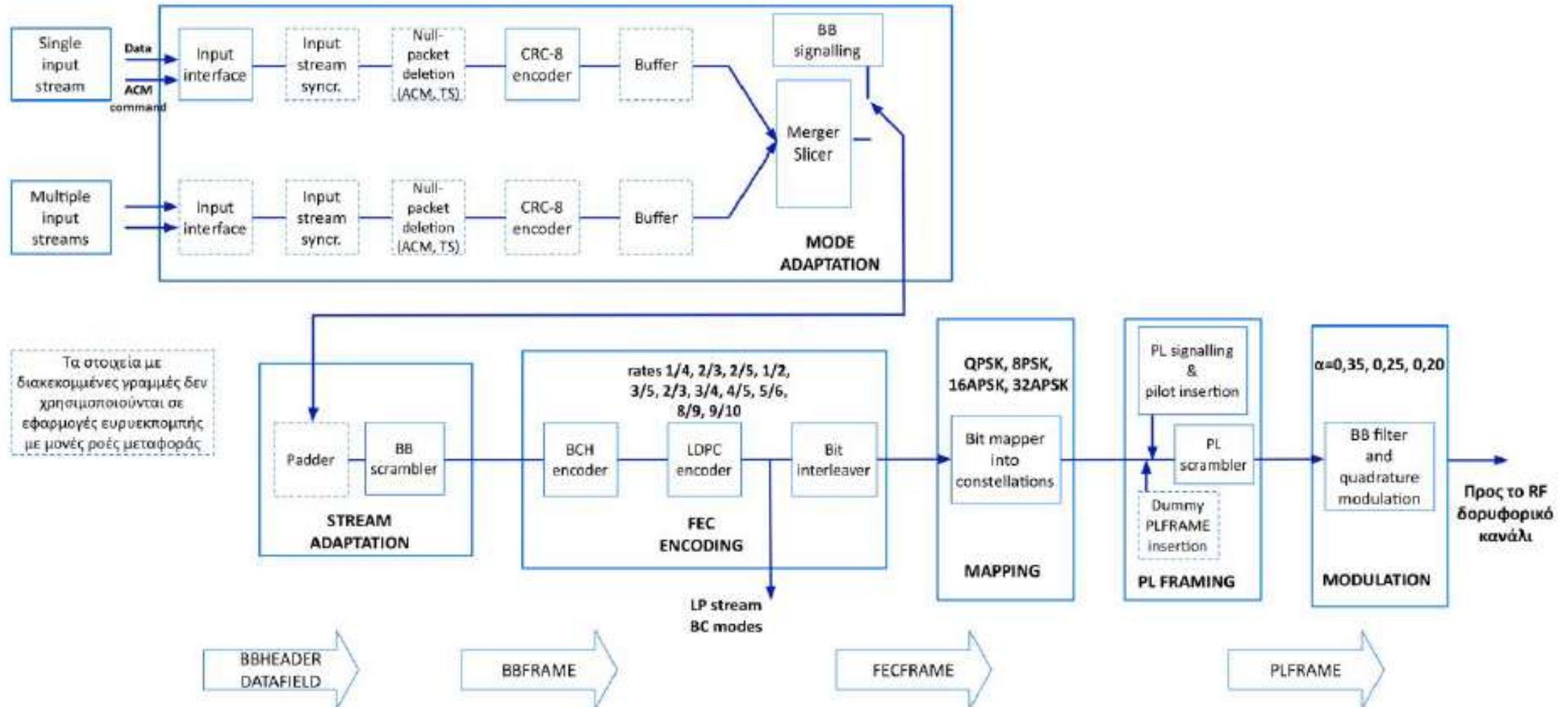
Το πρότυπο DVB-S2 επιτυγχάνει έως 30% αύξηση της χωρητικότητας μετάδοσης σε σχέση με το DVB-S, εκμεταλλευόμενο τις πλέον πρόσφατες εξελίξεις στην κωδικοποίηση του καναλιού (χρήση κωδίκων LDPC, Low-density parity-check code) και στη διαμόρφωση (χρήση QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK). Όταν χρησιμοποιείται για διαδραστικές εφαρμογές point-to-point, όπως IP unicasting, το κέρδος του DVB-S2 έναντι του DVB είναι ακόμη μεγαλύτερο. Η χρήση μεταβλητής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (Variable Coding and Modulation, VCM) επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών διαμορφώσεων και επιπέδων προστασίας από σφάλματα από πλαίσιο σε πλαίσιο. Σε συνδυασμό με τη χρήση ενός καναλιού επιστροφής (return channel) και την επίτευξη προσαρμοστικής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (ACM) είναι δυνατόν οι παράμετροι μετάδοσης να βελτιστοποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και τις συνθήκες του καναλιού. Το γεγονός ότι το DVB-S2 εφαρμόζεται και σε υπάρχοντες δορυφορικούς αναμεταδότες με πληθώρα χαρακτηριστικών μετάδοσης και για διάφορους συνδυασμούς φασματικής απόδοσης και απαιτήσεων λόγου φέροντος προς θόρυβο (CNR), επιβεβαιώνει τη σημαντική του ευελιξία και πρακτικότητα.

Επιπλέον, είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι δεν περιορίζεται σε κωδικοποίηση βίντεο και ήχου MPEG-2, αλλά είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε να χειρίζεται μια ποικιλία πρωτοκόλλων ήχου, βίντεο και δεδομένων. Το DVB-S2 προσαρμόζεται σε οποιοδήποτε τύπο ροής εισόδου δεδομένων, όπως είναι η συνεχής ροή bit, απλά ή πολλαπλά ρεύματα μεταφοράς MPEG (MPEG Transport Streams, MPEG TS), πακέτα IP (IP datagrams), καθώς και πακέτα του πρωτοκόλλου ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode, ATM).

Τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου DVB-S2 είναι τα εξής:

- Χρησιμοποιούνται τέσσερα δυνατά σχήματα ψηφιακής διαμόρφωσης. Τα QPSK και 8PSK για εφαρμογές ευρυεκπομπής μέσω μη γραμμικών αναμεταδοτών κοντά στην περιοχή κορεσμού. Τα 16APSK και 32APSK για επαγγελματικές εφαρμογές, απαιτώντας, όμως, σχεδόν γραμμικούς (semi-linear) αναμεταδότες. Οι δυο τελευταίες τεχνικές απαιτούν μεγαλύτερο SNR για να επιτύχουν το ίδιο BER.
- Για τον φασματικό περιορισμό του RF εύρους ζώνης, το DVB-S2 επιβάλλει παράγοντα κύλισης (roll-off factor) με τιμές $a=0.25$, $a=0.20$, σε αντίθεση με το DVB-S, το οποίο είχε $a=0.35$.
- Το DVB-S2 χρησιμοποιεί ένα πολύ ισχυρό σχήμα διόρθωσης λαθών, που βασίζεται στην αλληλουχία του εξωτερικού κυκλικού κώδικα BCH (Bose Chaundhuri Hocqunghem) και του εσωτερικού κώδικα LDPC. Το αποτέλεσμα είναι η φασματική απόδοση να απέχει μόλις 0.7dB από το θεωρητικό όριο του Shannon. Η επιλογή των παραμέτρων του FEC εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στον δίαυλο.
- Το DVB-S2 υποστηρίζει τη μετάδοση πολυμεσικών εφαρμογών, που χρησιμοποιούν τις νέες τεχνικές κωδικοποίησης (όπως MPEG-4 Part10/AVC, Microsoft Windows Media 9).
- Οι υπηρεσίες διαδραστικότητας IS (Interactive Services) επιτυγχάνονται με τη χρήση του διαύλου επιστροφής μέσω δορυφόρου DVB-RCS (Return Channel via Satellite).
- Το DVB-S2 λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων Ku (12.5/19GHz) και Ka (26.5/30GHz), οπότε επηρεάζεται από τα προβλήματα της διάδοσης των ραδιοκυμάτων στην τροπόσφαιρα.

Το σύστημα DVB-S2 ακολουθεί μια διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική μετάδοσης, η οποία μπορεί να αναλυθεί σε μια ακολουθία λειτουργικών υποσυστημάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12.6 (ETSI, 2014).



Σχήμα 12.6 Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα του συστήματος DVB-S2

Το πρώτο στη σειρά υποσύστημα, το οποίο προσδιορίζεται ως προσαρμογή ροής εισόδου (Mode And Stream Adaptation), εξαρτάται από την εξυπηρετούμενη εφαρμογή και αποτελεί τη διεπαφή προς κάθε ρεύμα εισόδου. Οι ακολουθίες εισόδου μπορεί να είναι απλά ή πολλαπλά ρεύματα μεταφοράς, με χρήση πακέτων ή σε συνεχή ροή. Παράλληλα, το υποσύστημα Mode And Stream Adaptation διαθέτει διάφορα προαιρετικά εργαλεία για τη λειτουργία της ACM, όπως είναι ο συγχρονισμός και η διαγραφή μηδενικών πακέτων σε MPEG-TS, καθώς και κωδικοποίηση CRC (cyclic redundancy check) για ανίχνευση σφαλμάτων στον δέκτη. Επιπλέον, στην περίπτωση πολλαπλών εισόδων, παρέχει συγχώνευση (merging) όλων των ρευμάτων εισόδου σε ένα απλό ρεύμα μεταφοράς (single transport stream).

Στη συνέχεια, γίνεται τεμαχισμός (slicing) του ρεύματος μεταφοράς σε πλαίσια κωδικοποιημένα κατά FEC (FECFRAMEs). Τα τελευταία αποτελούνται από ψηφία, τα οποία έχουν συγκεντρωθεί από μια θύρα εισόδου, προκειμένου να μεταδοθούν με κοινό τρόπο, όσον αφορά την κωδικοποίηση FEC και τη διαμόρφωση. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα πλαίσιο βασικής ζώνης (Base Band Frame, BBFRAME). Όμως, είναι πιθανό τα προς μετάδοση δεδομένα να μην επαρκούν για τη συμπλήρωση του BBFRAME. Στην περίπτωση αυτή, ακολουθείται μια διαδικασία προσθήκης bit (padding), ώστε να συμπληρωθεί πλήρως το BBFRAME.

Ακολουθεί η διαδικασία κωδικοποίησης FEC, η οποία συνίσταται στην εισαγωγή εξωτερικής κωδικοποίησης με χρήση κώδικα BCH (Bose-Chaundhuri-Hocquenghem) και στη συνέχεια εσωτερικής κωδικοποίησης με χρήση κώδικα LDPC. Ο κώδικας BCH είναι ένας κυκλικός κώδικας πολλαπλών επιπέδων και μεταβλητού μήκους, ενώ οι κώδικες LDPC χρησιμοποιούν αραιούς πίνακες ελέγχου ισοτιμίας.

Επόμενο βήμα είναι η επιλογή της κατάλληλης διαμόρφωσης (mapping), μεταξύ των QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, ανάλογα με την εφαρμογή. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται από τον σχηματισμό του πλαισίου φυσικού στρώματος (Physical Layer Frame, PLFRAME). Μέσω αυτής παρέχεται η εισαγωγή επικεφαλίδας PL (Physical Layer Header) και προαιρετικών πιλοτικών συμβόλων (pilot symbols) με απώλεια χωρητικότητας 2.4%, ενώ τα ψηφία τίθενται σε τυχαία σειρά (scrambling) για διασπορά ενέργειας. Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση, εφαρμόζεται προαιρετικά η εισαγωγή PLFRAMEs χωρίς πληροφορία (dummy).

Τελευταίο στάδιο πριν από τη μετάδοση του σήματος στον δορυφορικό δίαυλο είναι το φιλτράρισμα βασικής ζώνης (base band filtering) και η ορθογώνια διαμόρφωση (quadrature modulation). Αυτές παράγουν το τελικό RF (Radio frequency) σήμα που εκπέμπεται. Στη συνέχεια, αναλύονται περαιτέρω οι σημαντικότερες από τις λειτουργίες που επιτελούνται κατά τη μετάδοση σήματος σε DVB-S2 σύστημα.

Συμβατότητα με συστήματα DVB-S

Ο μεγάλος αριθμός των δεκτών DVB-S, που είναι ήδη εγκατεστημένοι, καθιστά πολύ δύσκολη τη σκέψη της πλήρους αντικατάστασης των τερματικών πρώτης γενιάς από εκείνα του DVB-S2. Για τον λόγο αυτό απαιτείται συμβατότητα με τα συστήματα της προηγούμενης γενιάς, ώστε να επιτραπεί στους DVB-S δέκτες να συνεχίσουν να λειτουργούν. Ταυτόχρονα, οι νέοι προηγμένοι δέκτες θα απολαμβάνουν επιπλέον χωρητικότητα και νέες υπηρεσίες. Στο τέλος της μεταβατικής περιόδου, και όταν όλοι οι δέκτες θα έχουν αναβαθμιστεί σύμφωνα με το πρότυπο DVB-S2, δεν θα είναι πλέον απαραίτητη η συμβατότητα με παλαιά τερματικά, αφού το σύνολο των χρηστών θα μπορεί να αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητες του DVB-S2.

Στο DVB-S2 έχει προβλεφθεί η συνύπαρξη δεκτών πρώτης και δεύτερης γενιάς, έχοντας καθορίσει προαιρετικές λειτουργίες αντίστροφης συμβατότητας (Backwards Compatible Modes, BC Modes). Οι BC Modes συνίστανται στην αποστολή δύο ρευμάτων μεταφοράς από ένα απλό δορυφορικό κανάλι. Το πρώτο ρεύμα ονομάζεται υψηλής προτεραιότητας (High Priority, HP) και είναι συμβατό τόσο με το DVB-S όσο και με το DVB-S2. Το δεύτερο καλείται χαμηλής προτεραιότητας (Low Priority, LP) και είναι συμβατό αποκλειστικά με δέκτες DVB-S2.

. Τεχνικές διαφορές των συστημάτων DVB-S και DVB-S2

Συμπερασματικά, το DVB-S2 επιτυγχάνει γενικά:

- Φασματική απόδοση 30% υψηλότερη, σε σχέση με το DVB-S.
- Πληθώρα υπηρεσιών και εφαρμογών, συνδυάζοντας την αποτελεσματικότητα και τη λειτουργικότητα του DVB-S για εφαρμογές απευθείας-στην-οικία DTH (Direct To Home) και του DVB-DSNG για επαγγελματικές εφαρμογές.
- Προσαρμοστικές τεχνικές μετάδοσης, ώστε να βελτιστοποιηθεί η χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.
- Προσιτότητα από οικονομική άποψη και ανταγωνιστικότητα ως προς τις υπόλοιπες ευρυζωνικές τεχνολογίες.
- Συμβατότητα με το πρότυπο DVB-S.

Πρότυπο DVB-RCS

Το πρότυπο DVB-RCS (Digital Video Broadcasting-Return Channel via Satellite) αναφέρεται στη διαδραστική ψηφιακή ευρυεκπομπή με δίαυλο επιστροφής μέσω δορυφόρου. Τα συστήματα RCS παρέχουν ευρυζωνική πρόσβαση παγκοσμίως, ανεξάρτητα από την τοπική υποδομή κάθε περιοχής. Το πρότυπο δημιουργήθηκε το 1999 και εισήχθει στην αγορά το 2003.

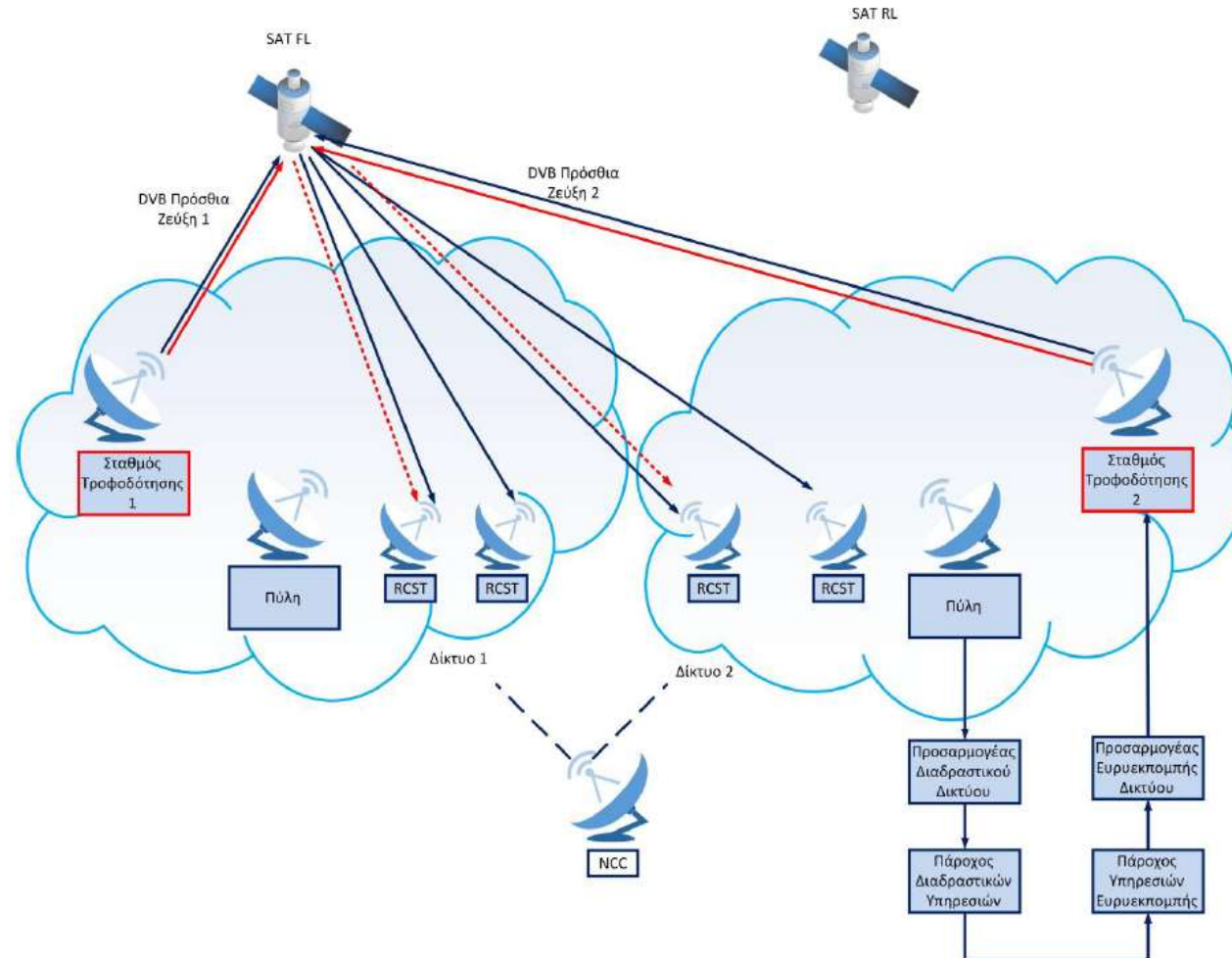
Το σύστημα DVB-RCS είναι ένα δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιεί δορυφορικά μέσα πρόσβασης, για να επιτύχει διαδραστική (interactive) επικοινωνία ανάμεσα σε διαδραστικά δορυφορικά τερματικά (Satellite Interactive Terminal, SIT), τα οποία ονομάζονται και RCSTs (Return Channel Satellite Terminals), και τον κεντρικό σταθμό Hub του δικτύου, ο οποίος ονομάζεται και Gateway. Η τεχνολογία επιτρέπει την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, βασιζόμενη σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, ενώ έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα διαδραστικών υπηρεσιών πολυμέσων. Είναι ένα ασύμμετρο δίκτυο με τη χωρητικότητα της πρόσθιας ζεύξης (Forward Link), δηλαδή της επικοινωνίας του σταθμού DVB-RCS Hub με τα δορυφορικά τερματικά, να είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα της ζεύξης επιστροφής (Return Link), δηλαδή της επικοινωνίας των δορυφορικών τερματικών με τον σταθμό DVB-RCS Hub. Κατά συνέπεια, στο δίκτυο τεχνολογίας DVB-RCS υπάρχουν δύο κανάλια μετάδοσης:

- Το κανάλι πρόσθιας μετάδοσης από τον κεντρικό Σταθμό (Hub) στο τερματικό του χρήστη (SIT).
- Το κανάλι επιστροφής από το τερματικό του χρήστη (SIT) προς τον κεντρικό σταθμό (Hub).

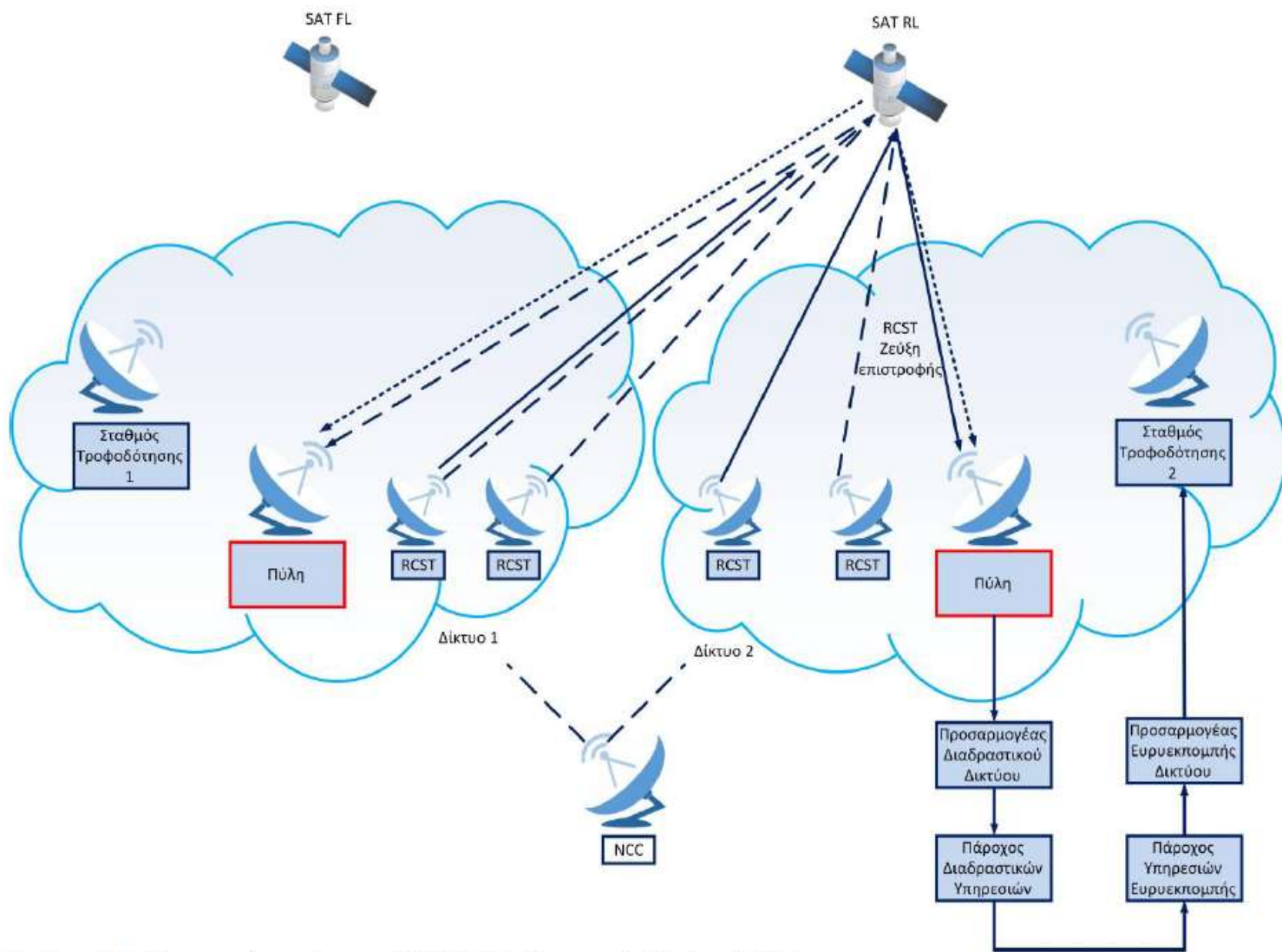
Οι λειτουργικές ενότητες στο δίκτυο τεχνολογίας DVB-RCS, όπως φαίνονται και στα Σχήματα 12.7 και 12.8, είναι:

- **Κέντρο ελέγχου δικτύων (Network Control Center, NCC):** είναι η σημαντικότερη ενότητα του δικτύου DVB-RCS, καθώς παρέχει υπηρεσίες ελέγχου και επιτήρησης, παράγει σήματα ελέγχου και συγχρονισμού, έτσι ώστε η λειτουργία του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου να διαβιβάζεται από έναν ή περισσότερους feeder σταθμούς. Λαμβάνει και αντιδρά σε μηνύματα του υποεπιπέδου ελέγχου προσπέλασης μέσω (MAC messages) που αποστέλλονται από τα τερματικά και παραχωρεί ή αρνείται την πρόσβαση στο σύστημα, σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων. Η διαχείριση της χωρητικότητας του return link και ο καθορισμός των χρονικών διαστημάτων και συχνοτήτων, που θα εκπέμψει κάθε τερματικό, γίνεται από τον scheduler.
- **Πύλη Κίνησης (Traffic Gateway):** λαμβάνει τα σήματα επιστροφής των δορυφορικών τερματικών και τα προωθεί στο επίγειο δίκτυο. Παρέχει υπολογιστικές υπηρεσίες, διαδραστικές υπηρεσίες και / ή συνδέσεις με δημόσιους, κοινούς και απόρρητους φορείς παροχής υπηρεσιών και δίκτυα (internet, ISDN, PSTN κ.λπ.).
- **Πύλη Τροφοδότησης (Feeder Gateway):** εκπέμπει το σήμα της πρόσθιας σύνδεσης (Forward Link Signal) από το επίγειο δίκτυο προς τα τερματικά. Είναι μία τυποποιημένη δορυφορική μετάδοση άνω ζεύξης ψηφιακού βίντεο (DVB-S uplink), στο οποίο πολυπλέκονται τα δεδομένα των χρηστών ή / και τα σήματα ελέγχου και συγχρονισμού που απαιτούνται για τη λειτουργία του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου.
- **Δορυφορικά τερματικά (Return Channel Satellite Terminal, RCST):** βρίσκονται σε κτίρια κατοικιών, επιχειρήσεων ή πανεπιστημίων και επιτρέπουν στους χρήστες του συστήματος BSA να έχουν πρόσβαση -μέσω της δορυφορικής σύνδεσης- σε υπηρεσίες παρόχων του επίγειου δικτύου. Στα τερματικά μπορούν να συνδεθούν πολλά PC μέσω ενός δικτύου LAN και ενός Point-of-Presence (PoP) router. Τα τερματικά λαμβάνουν τη DVB-S κίνηση που στέλνει η πύλη Feeder και προωθούν στο return link την κίνηση που λαμβάνουν από τον εξοπλισμό, στον οποίο είναι συνδεδεμένα. Τα τερματικά, πριν στείλουν κίνηση στη ζεύξη επιστροφής, αιτούνται χωρητικότητα (Bandwidth on Demand, BoD) στο NCC.

Η τοπολογία ενός δικτύου που στηρίζεται σε τεχνολογία DVB-RCS, είναι τοπολογία αστέρα (star), με τον κεντρικό σταθμό του δικτύου (Hub) στο κέντρο του και τα διαδραστικά δορυφορικά τερματικά (SITs) στις ακτίνες του. Όπως φαίνεται στα Σχήματα 12.7 & 12.8, η πρόσθια ζεύξη (Forward Link) υλοποιείται μέσω του feeder, που στέλνει το σήμα στον δορυφόρο, και ο δορυφόρος αναμεταδίδει στο τερματικό SIT. Ενώ στη ζεύξη επιστροφής (Return Link), το σήμα ξεκινάει από το τερματικό και στέλνεται μέσω του δορυφόρου στο gateway και από εκεί στον τελικό προορισμό του, που μπορεί να είναι και κάποιο άλλο τερματικό. Οι σταθμοί gateway και feeder μπορεί να περιλαμβάνονται στο ίδιο Hub.



Σχήμα 12.7 Περιγραφή συστήματος RCS: Πρόσθια Ζεύξη (Forward Link)



Σχήμα 12.8 Περιγραφή συστήματος RCS: Ζεύξη Επιστροφής (Return Link)

Η πρόσθια ζεύξη φέρει σηματοδοσία από το NCC και την κυκλοφορία χρηστών στα RCSTs. Η σηματοδοσία από το NCC στα RCSTs, που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του συστήματος στη ζεύξη επιστροφής, ονομάζεται σηματοδοσία πρόσθιας ζεύξης. Τόσο η κίνηση από τους χρήστες όσο και η σηματοδοσία της ζεύξης προώθησης είναι δυνατόν να φέρονται από διαφορετικά σήματα προώθησης. Τέλος, είναι δυνατόν να γίνουν διάφορες ρυθμίσεις των τερματικών RCSTs, ανάλογα με τον αριθμό των δεκτών που υπάρχουν τη δεδομένη χρονική στιγμή στο σύστημα.

Η ζεύξη επιστροφής προσφέρει διαδραστικές υπηρεσίες και εγκαθίσταται από τον χρήστη προς τον φορέα παροχής υπηρεσιών ή και προς άλλο χρήστη.

Όλη η ροή δεδομένων διέρχεται από τον σταθμό Hub (feeder/gateway), με την πλειοψηφία αυτής να κατευθύνεται προς τον παγκόσμιο ιστό (Internet backbone), αφού προαιρετικά δύναται να γίνει σύνδεση του Hub με δίκτυα PSTN και ATM. Επίσης, όσον αφορά τα τερματικά RCSTs, μπορούν να συνδεθούν είτε με μεμονωμένους χρήστες είτε με επίγεια, ασύρματα ή ενσύρματα δίκτυα.

Οι υπηρεσίες που μπορούν να παραδοθούν στον τελικό χρήστη βασίζονται στην επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλου Internet Protocol (IP) και κάθε δορυφορικό τερματικό μπορεί να υποστηρίξει ένα εσωτερικό τοπικό δίκτυο (Local Area Network, LAN), αποτελούμενο από μία έως 254 συσκευές με διεπαφή (interface) IP.

The diagram illustrates the DVB-S2 system architecture. On the left, a **HUB** (satellite) is shown. A large blue arrow labeled **DVB** points from the HUB to the right. Above this arrow, a frequency spectrum diagram is shown. The diagram is divided into two sections: **Pol X** and **Pol Y**. The **Pol X** section contains a large blue triangle labeled **Συνολικό εύρος ζώνης** (Total bandwidth). The **Pol Y** section contains several smaller blue triangles labeled **TDM κάτω φέρον (Πρόσθιο φέρον)** (TDM lower carrier (Front carrier)) and **MF/TDMA Άνω φέροντα (Φέροντα επιστροφής)** (MF/TDMA upper carriers (Return carriers)). On the right, three **Set-top box** units are shown, each connected to a satellite dish and labeled **SIT**.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος DVB-RCS, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 12.1, είναι:

- Ανοικτή σχεδίαση συμβατή με το πρότυπο DVB-RCS EN 301 790 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency, ESA).
- Συνολική ροή δεδομένων μέχρι και 45 Mbps (κατόπιν επιλογής) στην πρόσθια ζεύξη προ τα τερματικά.
- Συνολική ροή δεδομένων από κάθε δορυφορικό τερματικό στη ζεύξη επιστροφής, δηλαδή προς τον κεντρικό κόμβο (Hub) μέχρι και 4 Mbps (κατόπιν επιλογής).

	Forward Channel (Από το Hub)	Return Channel (Από το SIT)
Ραδιοεπαφή	MPEG2/DVB-S	DVB-RCS
Σχήμα πολλαπλής πρόσβασης	TDM	MF-TDMA
Ρυθμός μετάδοσης	Έως 45Mb/s	144Kb/s-4Mb/s
Διαμόρφωση	QPSK	QPSK
Κωδικοποίηση	Concatenated convolution και Reed-Solomon	Turbo codes 32x256kp/s ή 16x512kb/s
		Concatenated convolution και Reed-Solomon 32x144kb/s ή 16x384kb/s or 8x1024kb/s
Δομή δεδομένων	IP πάνω από MPEG	IP πάνω από ATM

Πίνακας 12.1 Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος DVB-RCS

Πρότυπο DVB-SH

Το DVB-SH (Satellite services to Handhelds) ορίζεται ως ένα σύστημα, που μπορεί να παρέχει πολυμεσικές εφαρμογές και δεδομένα, βασισμένο στη δομή IP σε κινητούς δέκτες (όπως τα κινητά τηλέφωνα και τα smartphones), χρησιμοποιώντας δορυφορική ή επίγεια μετάδοση. Το πρότυπο Broadcasting DVB-SH εγκρίθηκε τον Φεβρουάριο του 2007. Σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε συχνότητες κάτω των 3 GHz, τυπικά στις ζώνες συχνοτήτων L και S. Συμπληρώνει το φυσικό στρώμα του προτύπου DVB-H και χρησιμοποιεί τις εφαρμογές του προτύπου IP DVB Datacast (DVB-IPDC).

Με την τεχνολογία αυτή υπάρχει δυνατότητα να λαμβάνονται τα σήματα μέσω επίγειων αναμεταδοτών, καθώς και άμεσα μέσω του δορυφόρου. Παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται για τη μετάδοση σε μορφή S-DMB. Στον πυρήνα του, το σύστημα αποτελείται από έναν ή περισσότερους γεωστατικούς δορυφόρους. Δεδομένου ότι τέλεια λήψη του σήματος από τον δορυφόρο είναι δύσκολη, εξαιτίας μη οπτικής επαφής κάτω από τη σκίαση που δημιουργείται από τα μεγάλα κτίρια, για να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες, η δορυφορική μετάδοση στα πυκνοκατοικημένα κέντρα υποστηρίζεται από τους σταθμούς αναμετάδοσης (χαμηλής ισχύος gap-filler) για την εσωτερική κάλυψη στις αστικές περιοχές. Επιπλέον, το πρότυπο αυτό υποστηρίζει μια υβριδική πλατφόρμα, που συνδυάζει δορυφορική αλλά και επίγεια εκπομπή σε φορητούς συνδρομητές (τερματικά) σε ένα ενιαίο διαιρέτη πολυπλεξίας (multiplex).

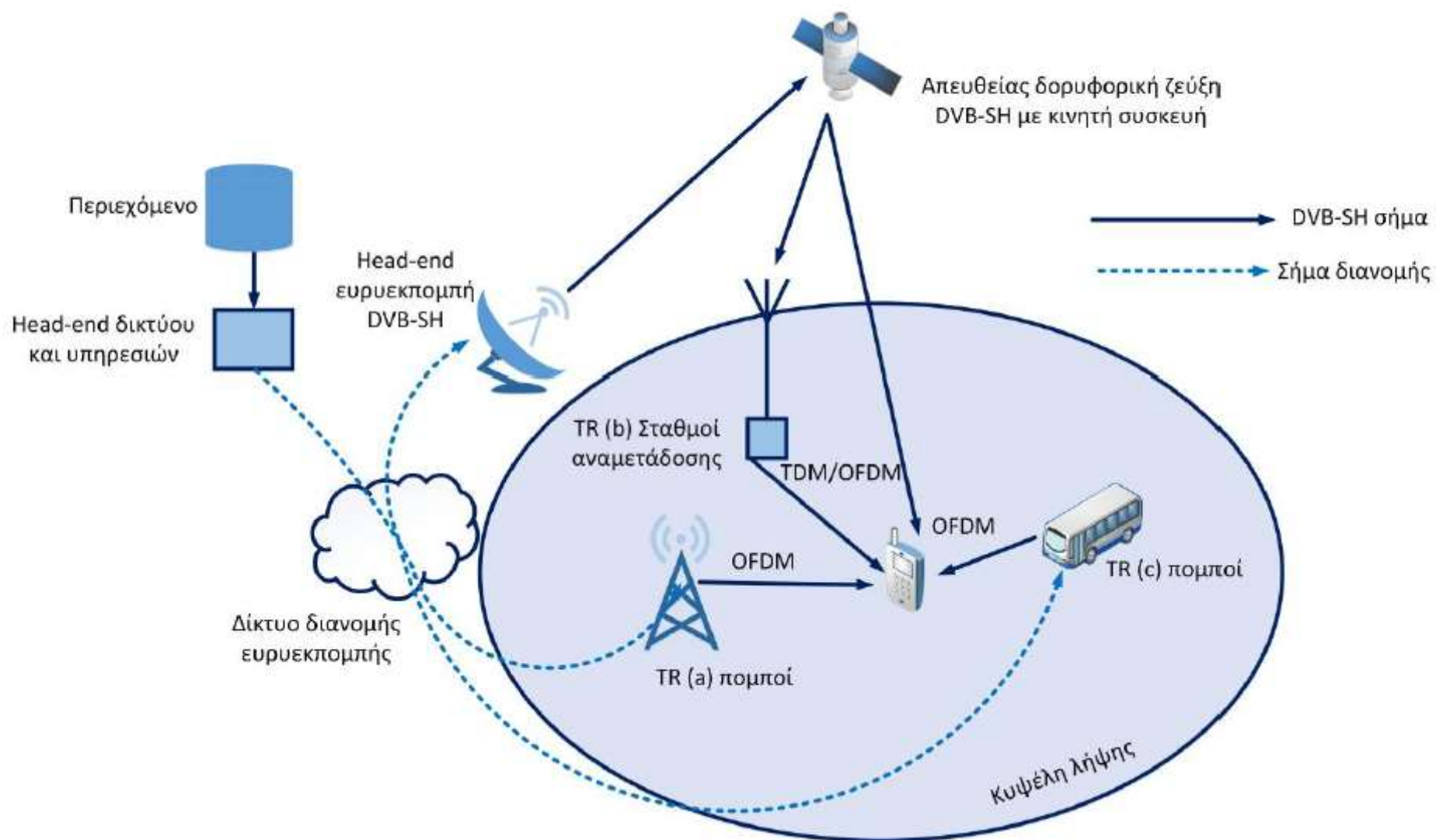
Όπως αναφέρθηκε, το σύστημα λειτουργεί σε μία υβριδική δορυφορική και επίγεια δομή. Το σήμα μεταδίδεται στα τερματικά μέσω δύο μονοπατιών

- Άμεσο κανάλι ευρείας εκπομπής μέσω δορυφόρου.
- Έμμεσο κανάλι ευρείας εκπομπής από επίγειους επαναλήπτες.

Το σύστημα διαθέτει δύο λειτουργίες:

- OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) λειτουργία: Βασίζεται στο πρότυπο DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) με τροποποιήσεις. Αυτή η λειτουργία υποστηρίζεται και για μετάδοση και στα δύο μονοπάτια. Τα δύο σήματα συνδυάζονται στον δέκτη με βέλτιστη λήψη σε ένα δίκτυο μονής συχνότητας.
- TDM (Time-division multiplexing) λειτουργία: Τα χαρακτηριστικά αυτής της λειτουργίας αντλούνται εν μέρει από το πρότυπο DVB-S2 για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης μέσω δορυφόρου. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται μόνο στην απευθείας διαδρομή. Το σύστημα υποστηρίζει ποικιλία συνδυασμού κωδίκων ανάμεσα στο δορυφορικό TDM και την επίγεια OFDM λειτουργία για αύξηση της αντοχής.

Στο Σχήμα 12.15 φαίνονται οι λειτουργίες, καθώς και η διασύνδεση του δορυφόρου απευθείας και έμμεσα μέσω αναμεταδότη με τα τελματικά.



Το πρότυπο DVB-SH (ETSI, 2011) παρέχει ολοκληρωμένη κάλυψη, συνδυάζοντας μια δορυφορική συνιστώσα (Satellite Component, SC) και μια συμπληρωματική επίγεια συνιστώσα (Complementary Ground Component, CGC). Έτσι, η SC διασφαλίζει παγκόσμια γεωγραφική κάλυψη σε περιοχές, όπου η συνιστώσα οπτικής επαφής (Line-Of-Sight, LOS) μεταξύ δορυφόρου και κινητού τερματικού δέκτη είναι ισχυρή. Συμπληρωματικά, ακολουθώντας τις βασικές αρχές του κυψελωτού δικτύου, η CGC καλύπτει τις υπόλοιπες περιοχές όπου η LOS εμποδίζεται, όπως για παράδειγμα σε μεγάλες πόλεις και σε εσωτερικούς χώρους (indoor environment). Εξαιτίας της δομής αυτής, το DVB-SH καλείται υβριδικό πρότυπο δορυφορικής και επίγειας μετάδοσης και παραστατικά φαίνεται στο Σχήμα 12.15.

Το περιεχόμενο (content), το οποίο πρόκειται να μεταδοθεί, μπορεί να αποσταλεί με διάφορους τρόπους (π.χ. μέσω οπτικών ινών ή xDSL) στον επίγειο πομπό. Αυτός με τη σειρά του το αποστέλλει στον δορυφόρο, ο οποίος το επανεκπέμπει προς την περιοχή κάλυψής του. Αυτή είναι η συνιστώσα SC. Η συνιστώσα CGC εκπέμπεται από τα εξής τρία είδη επίγειων επαναληπτών (repeaters), τα οποία με βάση το Σχήμα 12.15 είναι:

- TR(a) είναι οι επίγειες κεραίες ευρυεκπομπής, που βοηθούν στη λήψη του σήματος σε περιοχές όπου η δορυφορική λήψη είναι δύσκολη, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. Οι κεραίες αυτές παίρνουν το περιεχόμενο απευθείας από το επίγειο δίκτυο (Service & Network Head-end).
- TR(b) είναι οι προσωπικοί δορυφορικοί δέκτες (gap-fillers), που προσφέρουν περιορισμένη κάλυψη και αναμεταδίδουν το σήμα από τον δορυφόρο. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για εσωτερικούς χώρους περιοχών που έχουν δορυφορική κάλυψη.
- TR(c) είναι κινούμενοι πομποί ευρυεκπομπής, που δημιουργούν μια “κινητή συμπληρωματική υποδομή”, η οποία παίρνει το περιεχόμενο απευθείας από το επίγειο δίκτυο (Service & Network Head-end).

Για το DVB-SH δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικές αρχιτεκτονικές για τη μετάδοση:

- SH-A, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση OFDM τόσο στην επίγεια όσο και στη δορυφορική μετάδοση.
- SH-B, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση OFDM στην επίγεια και πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου TDM (Time Division Multiplexing) στη δορυφορική μετάδοση.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά και οι βελτιώσεις που προσφέρει το DVB-SH, σε σχέση με το υπάρχον DVB-H, στο επίπεδο του φυσικού στρώματος (physical layer) είναι:

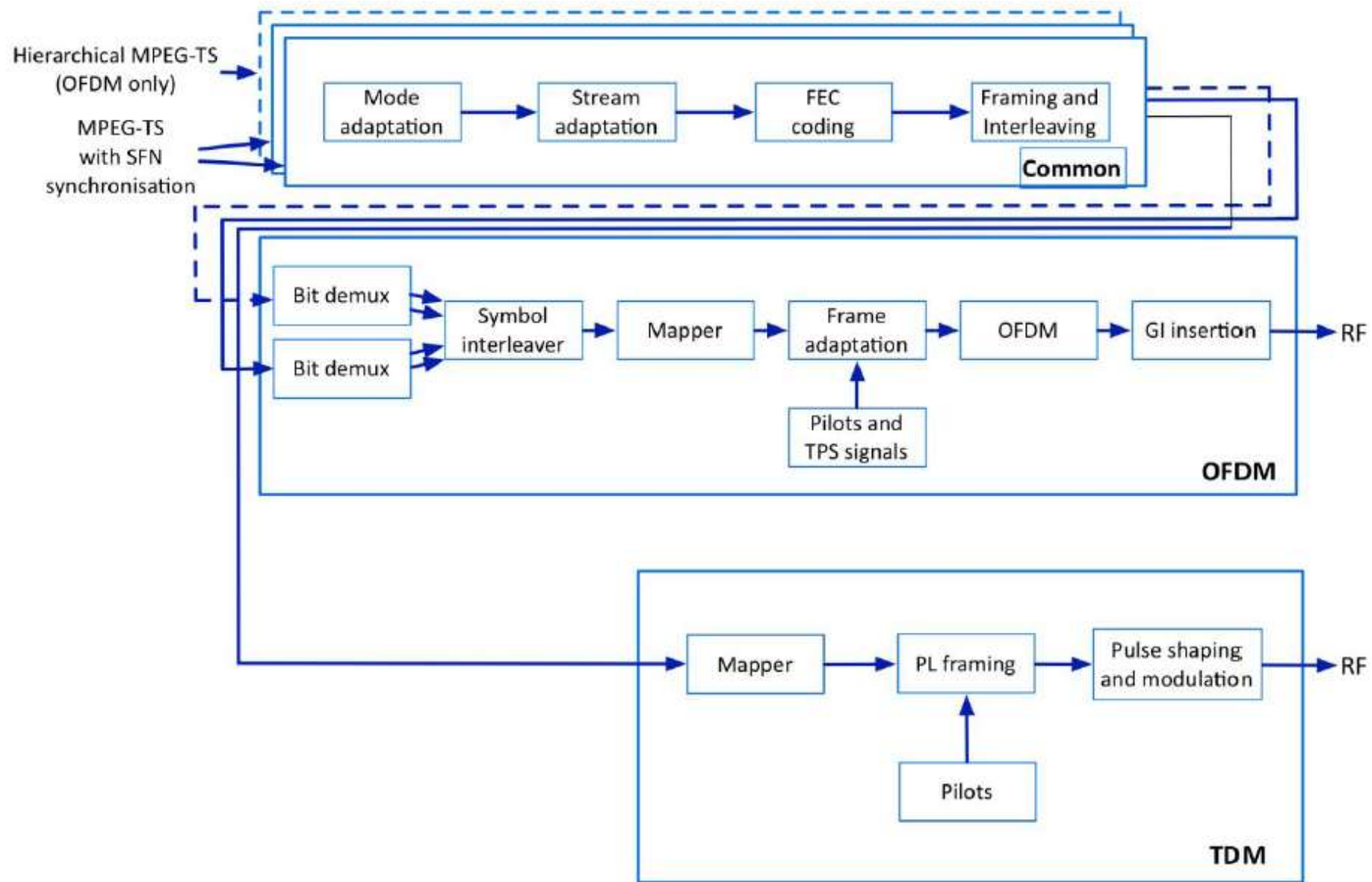
- Δυνατότητα επιλογής, που παρέχεται στους σχεδιαστές του δικτύου ανάμεσα σε διάφορα εύρη ζώνης (8,7,6,5,1.7 MHz) με μήκος FFT 8k, 4k, 2k και το επιπλέον 1k.
- Ανεξάρτητη λήψη του δορυφορικού και του επίγειου σήματος, πραγματοποιώντας έτσι διαφορετική (diversity) λήψη σήματος. Αυτό γίνεται εφικτό είτε μέσω του δικτύου μοναδικής συχνότητας SFN (Single Frequency Network), είτε με μεγιστοποίηση του συνδυασμένου σήματος (maximum ratio combining), είτε με τεχνικές διαφορετικού κώδικα (code diversity).
- Χρησιμοποίηση βελτιωμένου FEC, που υποστηρίζει αρκετούς ρυθμούς κωδικοποίησης.
- Χρήση ευέλικτου διεμπλοκέα ψηφίων (bit interleaver), που προσφέρει διαφορετικότητα στο πεδίο του χρόνου.
- Καλύτερη εκτίμηση της κατάστασης του διαύλου και γρήγορη επανασύνδεση μετά από μεγάλη διάρκεια σκίασης ή παρεμπόδισης του σήματος.

Αρχιτεκτονική συστήματος

Το σύστημα σχεδιάστηκε, κυρίως, για τη μετάδοση υπηρεσιών τηλεόρασης. Ωστόσο, υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος άλλων πολυμεσικών υπηρεσιών, όπως πολυεκπομπή ραδιοφωνικών προγραμμάτων ή μετάδοση πληροφορίας, όπως καταφόρτωση και μεταφόρτωση αρχείων. Αναλαμβάνει την προσαρμογή και μετάδοση ενός ή δύο (στην περίπτωση ιεραρχικής λειτουργίας) σημάτων βασικής ζώνης σε ροές MPEG-TS, με δομή ριπών σύμφωνα με το χαρακτηριστικό "time slicing" της υπηρεσίας DVB-H. Το μέγεθος κάθε ριπής ποικίλει, έτσι ώστε να υποστηρίζεται η λειτουργία μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης.

Στο Σχήμα 12.16 περιγράφονται συνοπτικά οι λειτουργίες, οι οποίες υπόκεινται στο σήμα εκπομπής και κατανέμονται σε δύο διαφορετικές λειτουργίες: (α) την OFDM λειτουργία, που βασίζεται στο πρότυπο DVB-T και (β) στη TDM λειτουργία, που προέρχεται εν μέρη από τη δομή του προτύπου DVB-S2:

- Κοινά στοιχεία για τις δύο λειτουργίες:
 - ο Προσθήκη CRC-16 και προσθήκη κεφαλίδας πλαισίου.
 - ο Συμπλήρωση με μηδενικά (padding) και ανακατανομή (scrambling) στο πλαίσιο.
 - ο Κωδικοποίηση με κώδικα εύρεσης και διόρθωσης λαθών (Forward Error Correction, FEC), σύμφωνα με το 3GPP turbo code.
 - ο Διεμπλοκή ανά bit κατά τμήματα, στα οποία έχει προστεθεί η πλεονάζουσα πληροφορία κωδικοποίησης FEC.
 - ο Συνελικτική χρονική διεμπλοκή και τελική πλαισιοποίηση (framing).
- Στοιχεία λειτουργίας TDM:
 - ο Καθορισμός αντιστοιχίας bit συμβόλων διαγράμματος αστερισμού.
 - ο Διαμόρφωση TDM πλαισίου φυσικού επιπέδου.
 - ο Εισαγωγή πιλότων και πραγματοποίηση διεμπλοκής.
 - ο Διαμόρφωση παλμών QPSK.
- Στοιχεία λειτουργίας OFDM:
 - ο Διεμπλοκή σε επίπεδο συμβόλων.
 - ο Διαγράμματα αστερισμών.
 - ο OFDM πλαισιοποίηση και προσθήκη TPS (Transmission Parameter Signalling) bits.



Σχήμα 12.16 Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα του πομπού DVB-SH (διάρθρωση TDM ή OFDM)