



Αρχές Ψηφιακής Τηλεόρασης ***Ενότητα 5 – Συρμοί μεταφοράς***

Καθηγητής Δρ. Ευάγγελος Πάλλης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Περιεχόμενα

- Σύνοψη και μαθησιακά αποτελέσματα/στόχοι
- Εισαγωγή στην Ενότητα 5
- Στοιχειώδεις ροές και πολυπλεξία
 - Στοιχειώδεις ροές και τεμαχισμός σε πακέτα
 - Πακέτα PES
- Πολυπλεξία
- Δομή Πακέτων Συρμού Μεταφοράς και Πίνακες Πληροφοριών
 - Πακέτα Συρμού Μεταφοράς
 - Πίνακες Πληροφοριών
 - Κρυπτογραφημένα Προγράμματα
- Συγχρονισμός και Εντοπισμός Σφαλμάτων
 - Συγχρονισμός Κωδικοποιητή – Αποκωδικοποιητή
 - Εντοπισμός Σφαλμάτων
- Παραδείγματα
 - Εντοπισμός Συρμού Μεταφοράς
 - Ανάλυση Πακέτων Συρμού Μεταφοράς

Περιγραφή Ενότητας 5

Σύνοψη

Στην Ενότητα 5 εξετάζουμε τον τρόπο με τον οποίο το πρότυπο MPEG-2 προτυποποιεί τον μηχανισμό δημιουργίας πακέτων τα οποία σχηματίζουν τους Συρμούς Μεταφοράς (Transport Streams), μέσω των οποίων μεταφέρονται τα δεδομένα video και ήχου, καθώς και άλλες πληροφορίες από τον πομπό στον δέκτη. Η δημιουργία των Συρμών Μεταφοράς λαμβάνει χώρα μεταξύ των βαθμίδων συμπίεσης του περιεχομένου (βλ. Ενότητα 3 και Ενότητα 4) και των βαθμίδων που είναι υπεύθυνες για την κωδικοποίηση καναλιού (βλ. Ενότητα 6), οι οποίες έχουν ως είσοδο τα πακέτα του Συρμού Μεταφοράς. Τα πακέτα τα οποία σχηματίζουν τον Συρμό Μεταφοράς έχουν συγκεκριμένη δομή και αποτελούνται από 188 Bytes. Ο ίδιος ο συρμός έχει δομή η οποία καθορίζεται από τα προγράμματα και τις αντίστοιχες στοιχειώδεις ροές. Ο δέκτης πρέπει, χωρίς να έχει στη διάθεση του κάποια προηγούμενη πληροφορία αναφορικά με το πλήθος και τη δομή των προγραμμάτων, να ξεχωρίζει τα πακέτα που τον αφορούν κάθε χρονική στιγμή, έχοντας στη διάθεσή του κάποιους γενικούς κανόνες τους οποίους εφαρμόζει κατά τη λήψη των πακέτων του Συρμού Μεταφοράς. Σε αυτή την ενότητα θα εστιάσουμε στα τα βασικά θέματα της πολυπλεξίας ροών και προγραμμάτων, στη δομή ενός καναλιού καθώς και στον μηχανισμό αποπολυπλεξίας των πακέτων κατά τη λήψη.

Προαπαιτούμενη γνώση

Η Ενότητα 5 είναι σε μεγάλο βαθμό αυτόνομη, αφού η μεθοδολογία δημιουργίας των Συρμών Μεταφοράς, καθώς και οι μηχανισμοί εισαγωγής των πινάκων που τον ορίζουν δεν απαιτούν κατανόηση των δεδομένων που τους αποτελούν. Ενδείκνυται, όμως, γνώση της γενικής εικόνας του συστήματος και των επιμέρους βαθμίδων που το αποτελούν τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη, ώστε να γίνει αντιληπτή η σημασία της λειτουργικότητας που περιγράφουμε σε αυτή την Ενότητα.

Μαθησιακά αποτελέσματα

Με την επιτυχή ολοκλήρωση της Ενότητας 5 ο φοιτητής / τρια θα είναι σε θέση να:

- Κατανοεί τον τρόπο λειτουργίας και οργάνωσης των ροών/συρμών μεταφοράς στα τηλεοπτικά συστήματα και τη χρήση τους στην εκπομπή και λήψη πληροφοριών εικόνας και ήχου.
- Γνωρίζει τις βασικές αρχές πολυπλεξίας των δεδομένων video και ήχου, τη δημιουργία στοιχειωδών ροών και συρμών μεταφοράς με βάση το πρότυπο MPEG-2, καθώς και τους μηχανισμούς συγχρονισμού πομπού και δέκτη για τη λήψη αυτών των δεδομένων.
- Εφαρμόζει μεθόδους και εργαλεία ανάλυσης των στοιχειωδών ροών μεταφοράς, εντοπισμού του συρμού μεταφοράς, καθώς και τεχνικές αξιολόγησης των δεδομένων που αυτές μεταφέρουν.
- Αναλύει και υπολογίζει τα βασικά χαρακτηριστικά πολυπλεξίας των σημάτων video και ήχου σε στοιχειώδεις ροές μεταφοράς, και των μηχανισμών πολύπλεξης τους σε τηλεοπτικά συστήματα μετάδοσης με βάση τα πρότυπα MPEG.
- Προτείνει λύσεις σε θέματα λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων πολυπλεξίας του σήματος video και των δεδομένων ήχου, και τεχνικές εντοπισμού σφαλμάτων.

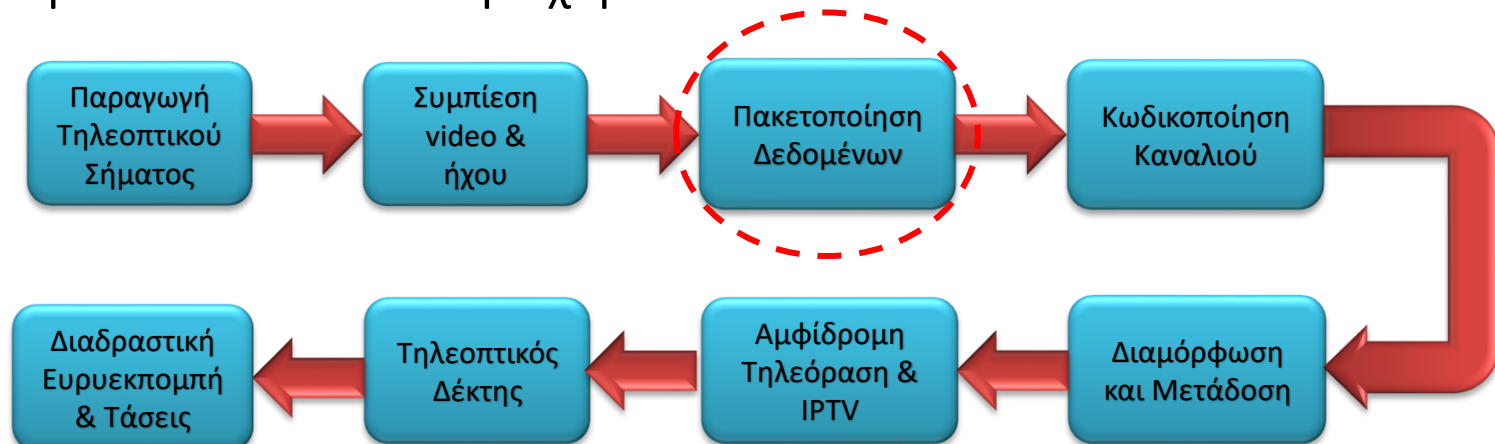
Εισαγωγή

Εισαγωγή στην Ενότητα 5

Αφού πραγματοποιηθεί η κωδικοποίηση του περιεχομένου, απαιτείται ένα πρότυπο και ο αντίστοιχος μηχανισμός για την πακετοποίησή του κωδικοποιημένου περιεχομένου, ώστε αυτό να αποσταλεί ή να αποθηκευτεί. Το MPEG παρέχει δύο τέτοιους μηχανισμούς:

- το **Program Stream (PS)**
- το **Transport Stream (TS)**.

Οι δύο μηχανισμοί ενθυλακώνουν τις επιμέρους στοιχειώδεις ροές (Elementary Stream, ES) μαζί με τα δεδομένα προληπτικής διόρθωσης σφαλμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση τυχόν σφαλμάτων που προκαλούνται στο περιεχόμενο.



Εισαγωγή στην Ενότητα 5

Ο **Συρμός Προγράμματος (Program Stream)**, χρησιμοποιείται κυρίως στην περίπτωση που έχουμε μειωμένο αριθμό σφαλμάτων όπως π.χ. κατά την τοπική αποθήκευση δεδομένων με την εγγραφή ενός CD ή DVD. Η περιορισμένη εμφάνιση σφαλμάτων οφείλεται στο ότι δεν εμπλέκεται κάποια μετάδοση δεδομένων. Οι Συρμοί Προγράμματος είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που αξιοποιούν – επεξεργάζονται την πληροφορία συστήματος τοπικά. Ένας Συρμός Προγράμματος περιέχει ένα μόνο τηλεοπτικό πρόγραμμα, δηλαδή συνδυασμό video, ήχου και άλλων ενδεχομένως πληροφοριών συστήματος σε μια ενιαία ροή, η οποία έχει κοινή βάση χρονισμού. Ο Συρμός Προγράμματος χρησιμοποιεί πακέτα μεταβλητού μήκους.

Ο **Συρμός Μεταφοράς (MPEG Transport Stream)** συνδυάζει ένα ή περισσότερα τηλεοπτικά προγράμματα, με ενδεχομένως διαφορετικές βάσεις χρονισμού, σε μία κοινή ακολουθία πακέτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση του περιεχομένου (για παράδειγμα στην επίγεια και τη δορυφορική τηλεόραση) αλλά και για την αποθήκευση αυτού. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται για τα συστήματα ευρυεκπομπής συμπεριλαμβανομένων του Ευρωπαϊκού Digital Video Broadcasting (DVB), του Αμερικανικού ATSC αλλά και σε συστήματα IPTV. Ο Συρμός Μεταφοράς χρησιμοποιεί πακέτα σταθερού μήκους, και συγκεκριμένα των 188 Bytes.

Κριτήριο	Συρμός Προγράμματος	Συρμός Μεταφοράς
Κύρια εφαρμογή	Αποθήκευση	Μετάδοση, ευρυεκπομπή
Πλήθος προγραμμάτων που περιέχονται	Ένα	Ένα ή περισσότερα
Ευρωστία στα σφάλματα που αφορούν τη μετάδοση ή την αποθήκευση	Περιορισμένη	Ικανοποιητική
Χρήση πακέτων συγκεκριμένου μήκους	Όχι	Ναι
Χρήση πολυπλεξίας	Ναι	Ναι
Συμβατότητα με τους μηχανισμούς αποκωδικοποίησης των SetTopboxes	Όχι	Ναι

Σύγκριση χαρακτηριστικών Συρμού Προγράμματος και Συρμού Μεταφοράς

Στοιχειώδεις ροές και πολυπλεξία

Στοιχειώδεις ροές και τεμαχισμός σε πακέτα

Αφού πραγματοποιηθεί η κωδικοποίηση του video και του ήχου προκύπτουν ροές δεδομένων, οι οποίες ονομάζονται **στοιχειώδεις ροές (Elementary Streams, ES)**. Οι ροές αυτές (ES) αποτελούν ουσιαστικά την έξοδο των κωδικοποιητών, είναι μια συνεχής ροή bits (bitstream), και αποτελούνται από μονάδες πρόσβασης.

- Ως μονάδα πρόσβασης θεωρούμε την κωδικοποιημένη αναπαράσταση είτε ενός πλαισίου ήχου στην περίπτωση του ήχου, είτε μιας εικόνας και των δεδομένων που τη συνοδεύουν, στην περίπτωση της εικόνας και του video.

Ο ρυθμός των στοιχειωδών ροών (ES) μπορεί να είναι σταθερός ή μεταβλητός, πράγμα που εξαρτάται από τις ιδιότητες και τη λειτουργία του κωδικοποιητή.

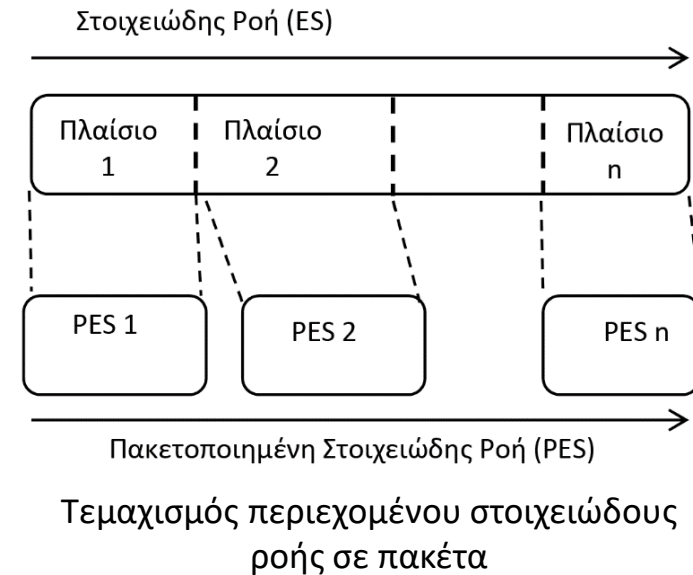
Η στοιχειώδης ροή δεν είναι κατάλληλη για μετάδοση αφού δεν είναι χωρισμένη σε πακέτα, δεν περιέχει πληροφορίες του προγράμματος και δεν μπορεί να πολυπλεχθεί με άλλες ροές (στην τρέχουσα μορφή της).

Στοιχειώδεις ροές και τεμαχισμός σε πακέτα

Ένα πρόγραμμα αποτελείται από στοιχειώδεις ροές οι οποίες έχουν κοινή βάση χρονισμού. Ο συγχρονισμός καθορίζεται από ειδικά πεδία χρονισμού, τα πεδία αναφοράς ρολογιού προγράμματος (Program Clock Reference, PCR).

Τα συνεχή δεδομένα των στοιχειωδών ροών τεμαχίζονται σε πακέτα ώστε να δώσουν τις **Πακετοποιημένες Στοιχειώδεις Ροές (Packetized Elementary Streams, PES)**. Συνήθως η τομή γίνεται στα όρια των πλαισίων και κάθε πλαίσιο αντιστοιχεί σε ένα PES packet, πράγμα που συνεπάγεται ότι τα πακέτα PES δεν έχουν σταθερό μήκος.

Η διαδικασία αυτή αναπαρίσταται στο διπλανό σχήμα.



Πακετοποιημένες στοιχειώδεις ροές (*Packetized Elementary Streams, PES*)

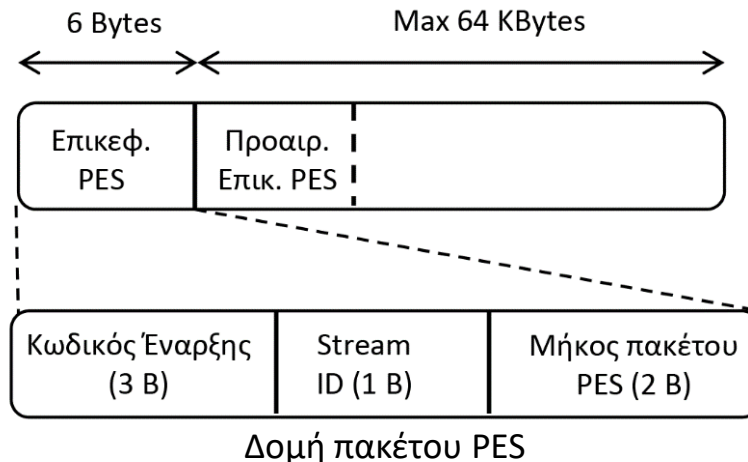
Ένα πακέτο PES αποτελείται από την επικεφαλίδα (header) και τα δεδομένα που το αποτελούν. Τα πακέτα PES είναι μεταβλητού μεγέθους και εν γένει έχουν μήκος μέχρι 64 KBytes.

Η επικεφαλίδα ενός πακέτου PES ξεκινά με έναν **κωδικό έναρξης μήκους 24 bits**, ο οποίος έχει την τιμή «0x00 00 01» και **δείχνει την έναρξη του πακέτου PES**.

Το Byte το οποίο ακολουθεί τον κωδικό έναρξης είναι ο **κωδικός της ροής (streamID)** και δείχνει

- τη ροή από την οποία προέρχεται το PES πακέτο ή
- τον τύπο αυτής της ροής (video, ήχο, δεδομένα).

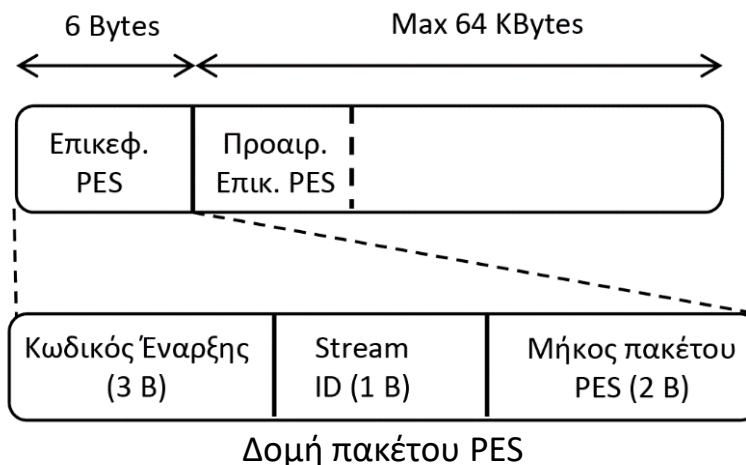
Η επικεφαλίδα συμπληρώνεται με ένα πεδίο μήκους 2 Bytes, το οποίο δίνει **το μήκος του τμήματος πληροφοριών του πακέτου**. Στην περίπτωση που το πεδίο αυτό έχει μηδενική τιμή (και τα δύο Bytes, δηλαδή, είναι μηδέν), τότε δύναται το μήκος του φορτίου να είναι μεγαλύτερο από τα 64 Kbytes, οπότε ο αποκωδικοποιητής πρέπει να χρησιμοποιήσει άλλα μέσα για το διαχωρισμό των πακέτων (π.χ. τον κωδικό έναρξης).



Πακετοποιημένες στοιχειώδεις ροές (*Packetized Elementary Streams, PES*)

Η υποχρεωτική επικεφαλίδα του πακέτου PES ακολουθείται από μια **προαιρετική επικεφαλίδα** η οποία περιέχει πεδία και ανήκει στο πεδίο δεδομένων.

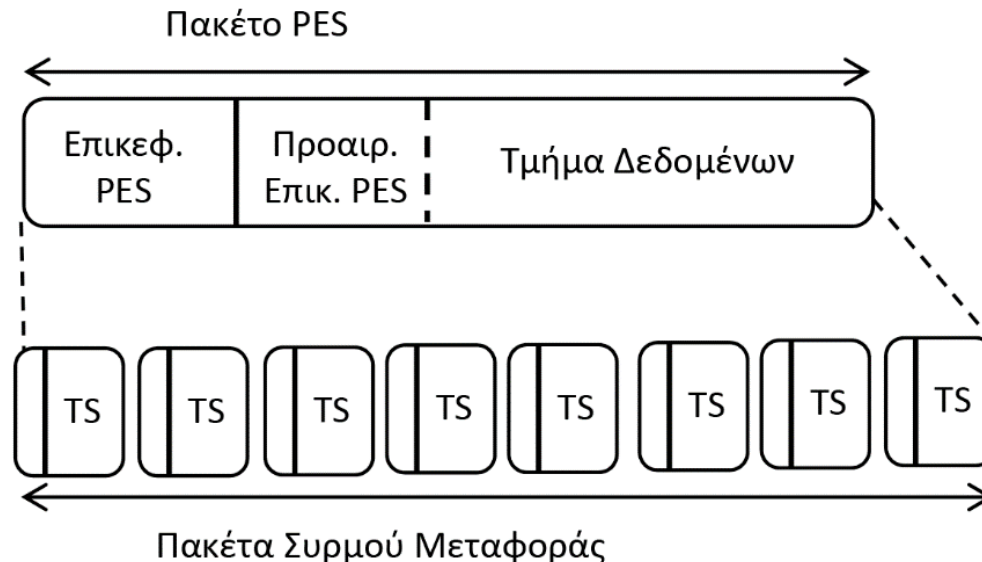
Η προαιρετική αυτή επικεφαλίδα του πακέτου PES δύναται να περιέχει πληροφορίες χρονισμού για την αποκωδικοποίηση και την παρουσίαση (Decoding Time Stamps, DTS και Presentation Time Stamps, PTS), καθώς και μια σειρά από προαιρετικά πεδία.



Πακετοποιημένες στοιχειώδεις ροές (*Packetized Elementary Streams, PES*)

Το τμήμα των δεδομένων του πακέτου PES αποτελείται από συνεχόμενα δεδομένα που προέρχονται από τη στοιχειώδη ροή. Λόγω της ευελιξίας που παρέχει ο μηχανισμός δημιουργίας πακέτων PES, τα πακέτα που δημιουργούνται **δεν είναι κατάλληλα για απευθείας αποστολή και μετάδοση δεδομένων**.

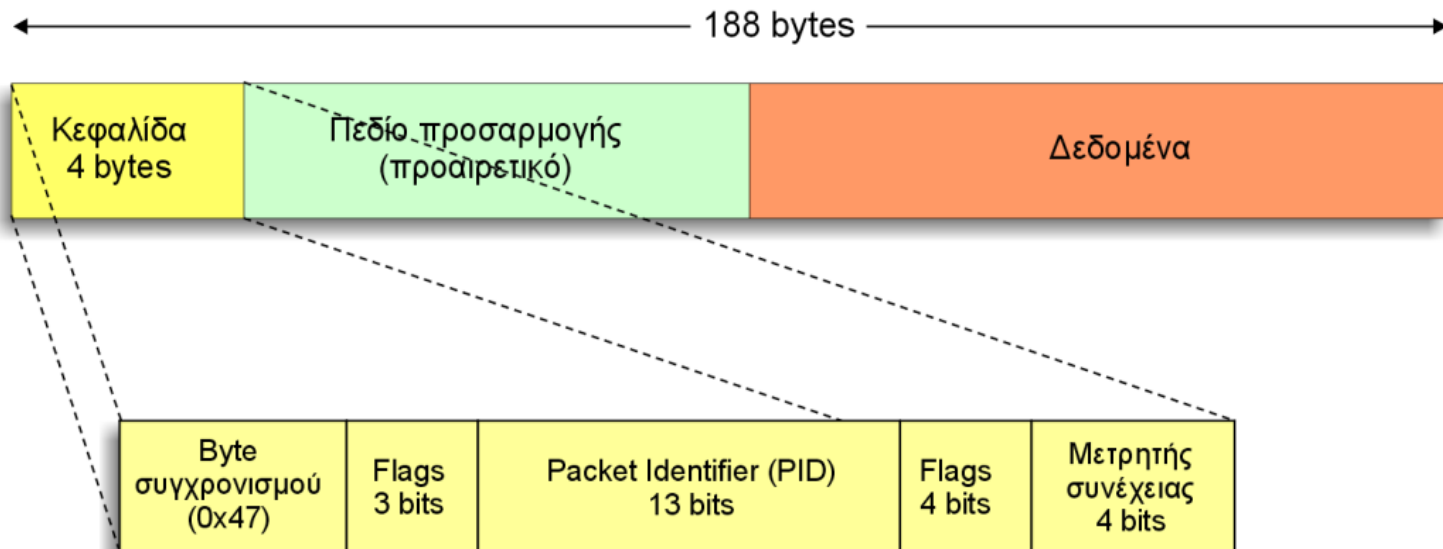
- Για τον σκοπό αυτό τα πακέτα χωρίζονται σε άλλα **μικρότερα πακέτα τα οποία έχουν αυστηρά σταθερό μήκος**. Το πακέτο PES εισάγεται εντός του πακέτου του Συρμού Μεταφοράς (Transport Stream - TS), όπως φαίνεται στο σχήμα.



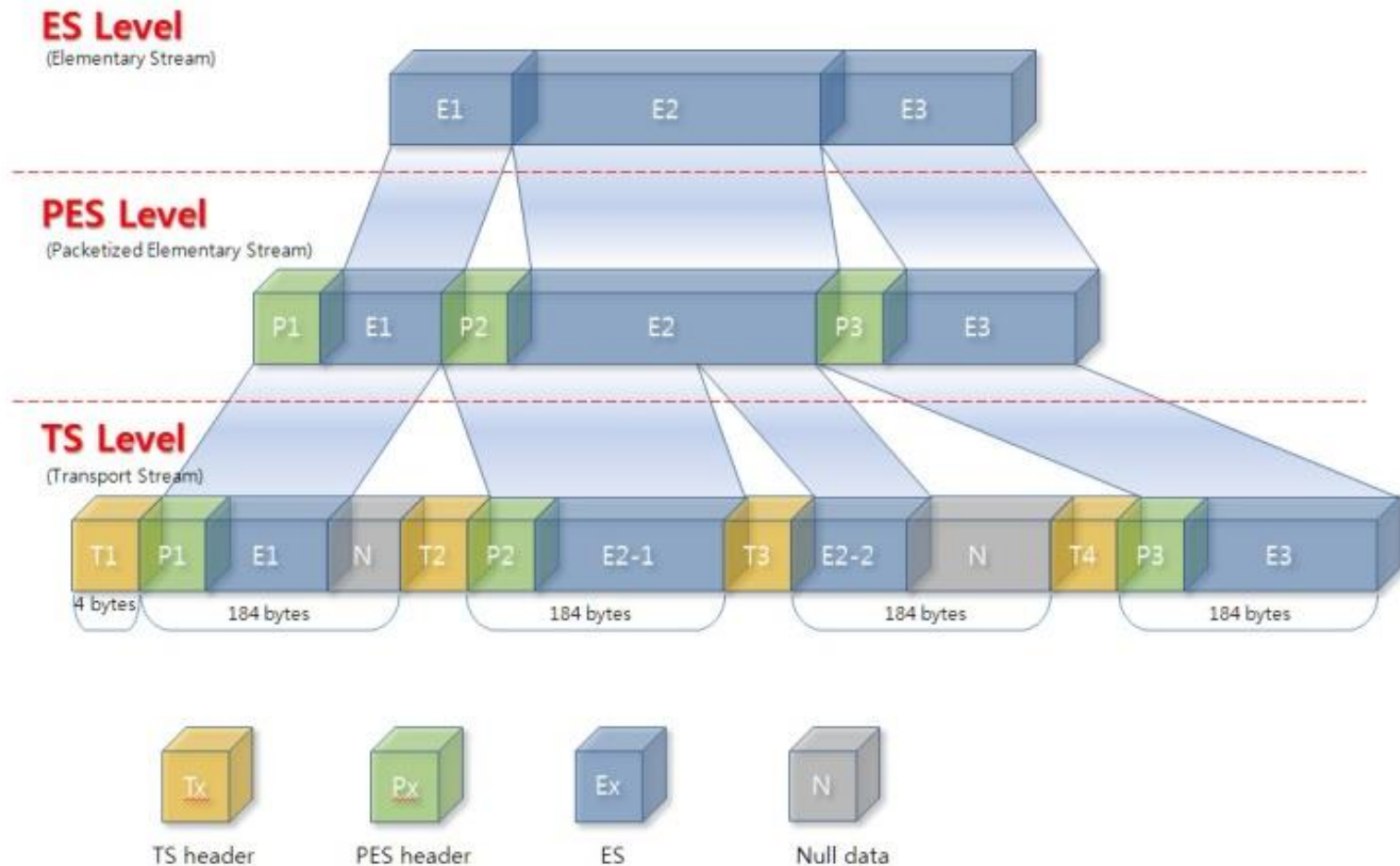
Δημιουργία πολλαπλών πακέτων TS από ένα πακέτο PES

Πακετοποιημένες ροές μεταφοράς (*Transport Stream, TS*)

- Το **πακέτο TS** αποτελείται από επικεφαλίδα και το τμήμα των δεδομένων.
- Η επικεφαλίδα του PES τοποθετείται στην αρχή του τμήματος δεδομένου του πακέτου TS.



Πακετοποιημένες ροές μεταφοράς (*Transport Stream, TS*)



Πολυπλεξία

Πολυπλεξία στοιχειωδών ροών

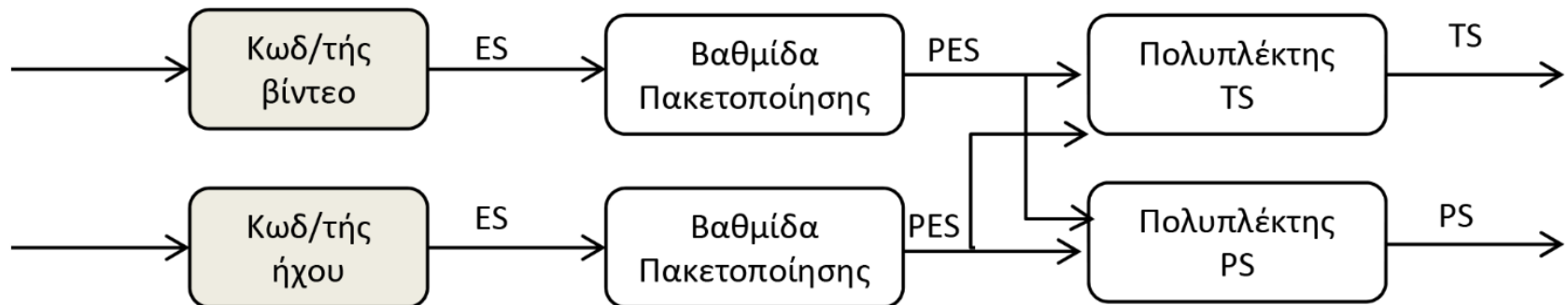
Οι πακετοποιημένες στοιχειώδεις ροές (Packetized Elementary Streams, PES), πολυπλέκονται μεταξύ τους καθώς και με πληροφορία που αφορά το σύστημα ώστε να δώσουν

- ένα **Transport Stream (TS)** ή
- ένα **Program Stream (PS)**.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα, κάθε PES προέρχεται από ένα και μόνο Elementary Stream (ES). Οι δύο πολυπλέκτες δημιουργούν τα πακέτα, Transport Stream packets και Program Stream packets, αντίστοιχα. Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις αναφορικά με το πλήθος των προγραμμάτων που περιέχονται σε έναν συρμό μεταφοράς:

- Όταν το TS περιέχει ένα μόνο πρόγραμμα λέγεται **Single Program Transport Stream (SPTS)**.
- Ένα TS με περισσότερα από ένα προγράμματα λέγεται **Multi Program Transport Stream (MPTS)**.

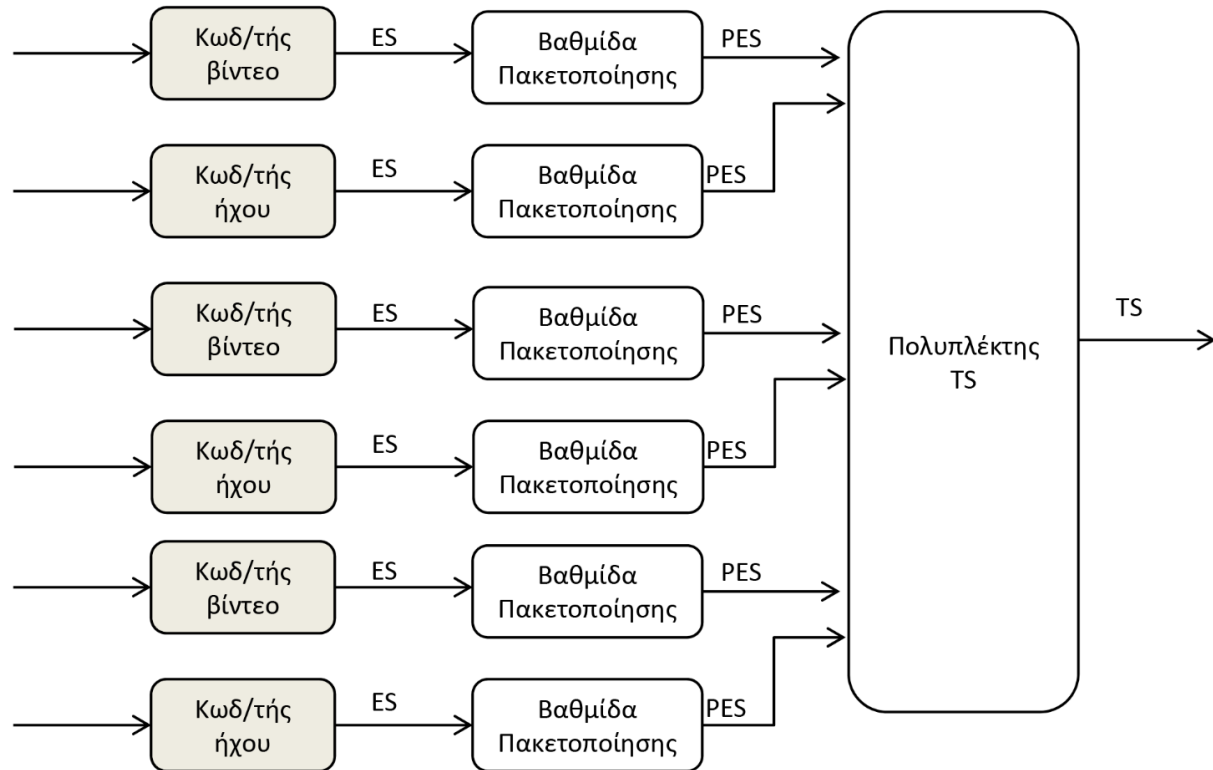
Για παράδειγμα, ένα TS μπορεί να περιέχει τρία προγράμματα, δηλαδή τρία τηλεοπτικά προγράμματα, καθώς και ένα ραδιοφωνικό.



Πολυπλεξία στοιχειωδών ροών

Πολυπλεξία στοιχειωδών ροών

Η πλέον τυπική περίπτωση είναι ο συρμός μεταφοράς (TS) να περιλαμβάνει περισσότερα από ένα προγράμματα, οπότε η διαδικασία της πολυπλεξίας καθίσταται πιο πολύπλοκη, όπως απεικονίζεται στο διπλανό σχήμα.



Πολυπλεξία πολλαπλών προγραμμάτων για τη δημιουργία του TS

Πακέτα TS για ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα

Στο σχήμα παρουσιάζεται η αλληλουχία πακέτων, στην απλή περίπτωση όπου περιλαμβάνεται ένα μόνο τηλεοπτικό πρόγραμμα, το οποίο αποτελείται από μία ροή **video** και δύο ροές **ήχου**.

Επίσης κάποια πακέτα αφορούν τις **πληροφορίες του προγράμματος**. Κάθε ένα από τα είδη πακέτων αντιστοιχούν σε ένα **PID** (στο αντίστοιχο πεδίο στην επικεφαλίδα της ροής) και στο σχήμα παρίσταται με διαφορετικό χρωματισμό.



Αλληλουχία πακέτων TS στην περίπτωση ροής μεταφοράς η οποία περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα

Πακέτα TS για ένα 4 (πολυπλεγμένα) τηλεοπτικά προγράμματα

Στην περίπτωση που η ροή μεταφοράς περιλαμβάνει περισσότερα από ένα προγράμματα, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από μία ή περισσότερες ροές, η κατάσταση γίνεται περισσότερο σύνθετη (λόγω του αυξημένου πλήθους των περιεχόμενων ροών).

Μια τέτοια πιο περίπλοκη αλληλουχία πακέτων, όπου η ροή μεταφοράς περιέχει τέσσερα προγράμματα (βλ. σχήμα), τα οποία αποτελούνται από διακριτές ροές και επιπλέον έχουμε και τις πληροφορίες που αφορούν τα δεδομένα καναλιού και προγραμμάτων. Συγκεκριμένα:

- Πρόγραμμα 1: μία ροή video, μία ήχου και μία ροή δεδομένων.
- Πρόγραμμα 2: μία ροή video, μία ήχου και μία ροή δεδομένων.
- Πρόγραμμα 3: μία ροή video και δύο ροές ήχου.
- Πρόγραμμα 4: μία ροή video και μία ροή δεδομένων.
- Ροή δεδομένων καναλιού και προγραμμάτων.



Αλληλουχία πακέτων TS στην περίπτωση ροής μεταφοράς η οποία περιλαμβάνει τέσσερα προγράμματα

Απαιτήσεις για τη δημιουργία των συρμών μεταφοράς

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις απαιτήσεις για τη δημιουργία των συρμών μεταφοράς από την πλευρά του πομπού (και συγκεκριμένα του πολυπλέκτη).

A/A	Όνομα	Περιγραφή
1	Πλήθος προγραμμάτων	Εύρεση του πλήθους των προγραμμάτων που περιέχονται εντός ενός TS
2	Λήψη πακέτων προγράμματος	Εντοπισμός και λήψη των πακέτων που αντιστοιχούν σε ένα πρόγραμμα
3	Στοιχειώδεις ροές προγράμματος	Εύρεση του πλήθους και των χαρακτηριστικών των στοιχειωδών ροών που ανήκουν σε ένα πρόγραμμα
4	Λήψη πακέτων στοιχειώδους ροής	Εντοπισμός και λήψη των πακέτων που αντιστοιχούν στη στοιχειώδη ροή ενός προγράμματος με στόχο την ανασύνθεση του περιεχομένου της στοιχειώδους ροής και στη συνέχεια της αποκωδικοποίησης αυτής
5	Ορισμός χρονικού σημείου	Ορισμός του χρονικού σημείου κατά το οποίο πρέπει να λάβουν χώρα διάφορες ενέργειες.
6	Συγχρονισμός Πακέτων	Χρήση πληροφορίας συγχρονισμού, ώστε να είναι δυνατή η συγχρονισμένη παρουσίαση του περιεχομένου μιας στοιχειώδους ροής στο πλαίσιο ενός προγράμματος
7	Διαχείριση προσωρινής μνήμης (buffering)	Διαχείριση της προσωρινής μνήμης και αρχικοποίηση αυτής κατά την έναρξη της διαδικασίας αποκωδικοποίησης
8	Αντιμετώπιση Σφαλμάτων	Αντιμετώπιση σφαλμάτων που συμβαίνουν στα περιεχόμενα ενός προγράμματος

Απαιτήσεις για τη διαχείριση του περιεχομένου ενός Συρμού Μεταφοράς εκ μέρους του πομπού

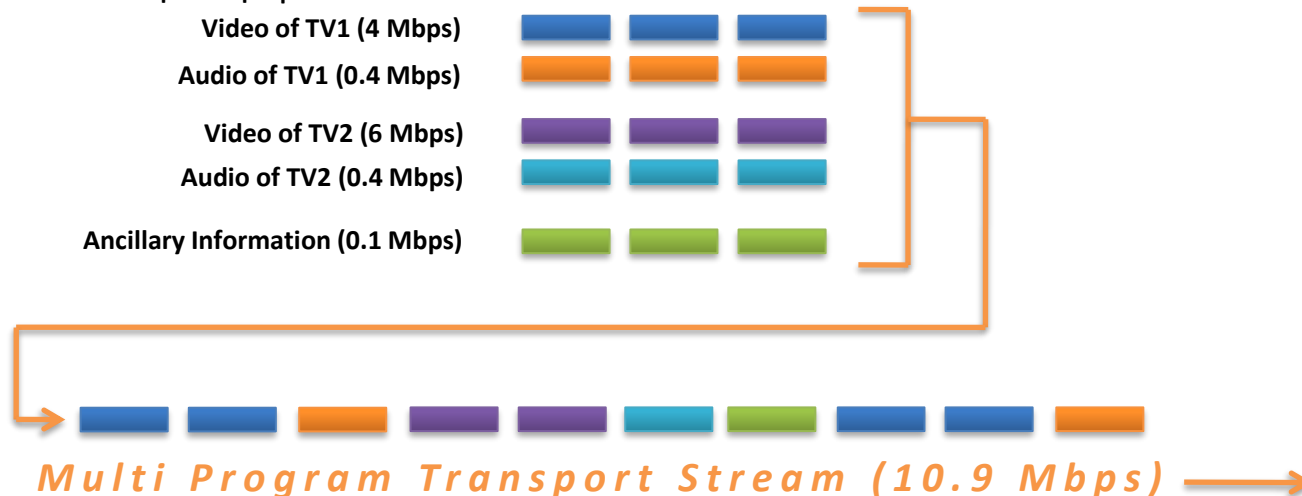
Πολυπλεξία MPEG-2

Η πολυπλεξία MPEG-2 είναι Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (**Time Division Multiplexing, TDM**).

- Αυτό σημαίνει ότι δεν εκπέμπεται κάθε πρόγραμμα σε διαφορετική συχνότητα (όπως στην πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας Frequency Division Multiplexing, FDM) αλλά τα πακέτα των διαφόρων ροών συνδυάζονται και μεταδίδονται διαδοχικά.

Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνθετο MPEG-2 Transport Stream (**Multi Program Transport Stream, MPTS**) το οποίο αποτελεί και το σήμα βασικής ζώνης στην τελική του μορφή για την ψηφιακή τηλεόραση.

- Ο συνολικός ρυθμός της πολυπλεξίας ισούται με το άθροισμα των ρυθμών (bitrate) των ροών εισόδου. Το συνηθέστερο όμως είναι ο πολυπλέκτης να λειτουργεί σε έναν σταθερό ρυθμό εξόδου (μεγαλύτερο ή ίσο του αθροίσματος), ακόμη και αν οι ροές εισόδου έχουν μεταβλητό ρυθμό. Στην περίπτωση αυτή προστίθενται από τον πολυπλέκτη κενά πακέτα για να αναπληρώσουν τη διαφορά.



Δομή πακέτων συρμού μεταφοράς και πίνακες πληροφοριών

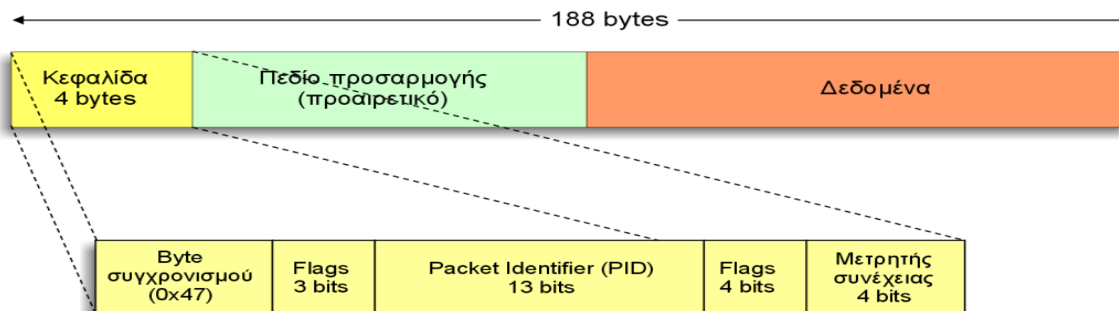
Πακέτα συρμού μεταφοράς

Στις προηγούμενες υποενότητες είδαμε ότι ένας Συρμός Μεταφοράς αποτελείται από ένα ή περισσότερα προγράμματα και κάθε ένα από αυτά αποτελείται από πακετοποιημένες στοιχειώδεις ροές (PES).

Πιο συγκεκριμένα, σχολιάσαμε ότι:

- Ένα πακέτο TS αποτελείται από το τμήμα επικεφαλίδας και το τμήμα των δεδομένων.
- Το συνολικό μήκος είναι αυστηρά 188 Bytes.
 - Εξ αυτών η επικεφαλίδα έχει μήκος 4 Bytes.
 - Τα υπόλοιπα 184 Bytes αποτελούν το φορτίο και προέρχονται από το πακέτο PES.

Κάποια πακέτα TS είναι δυνατόν να είναι κενά περιεχομένου. Τα πακέτα αυτά χρησιμοποιούνται για να συμπληρώσουν μια ροή μεταφοράς (padding 0x0000). Τέτοιου είδους πακέτα γίνονται αντιληπτά από την πλευρά του δέκτη, χωρίς βέβαια να λαμβάνεται υπόψη το περιεχόμενό τους.



Πακέτα συρμού μεταφοράς

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται τα πεδία που αποτελούν την επικεφαλίδα ενός πακέτου Transport Stream, καθώς και το πλήθος των bits από τα οποία αυτά αποτελούνται.

A/A	Όνομα	Πλήθος bits	Περιγραφή
1	Sync_byte(Byte συγχρονισμού)	8	Πεδίο συγχρονισμού με σταθερή τιμή '0100 0111' (0x47): Απέχει 188 Bytes, στην έναρξη δηλαδή κάθε πακέτου του Transport Stream. Η σταθερή τιμή και απόσταση του πεδίου συγχρονισμού βοηθούν στο συγχρονισμό, ο οποίος λαμβάνει χώρα κάθε 5 πακέτα TS. Ας σημειωθεί ότι ενδέχεται να υπάρχουν ένα ή περισσότερα Bytes εντός του πακέτου, τα οποία να έχουν την ίδια τιμή. Για την επιβεβαίωση ότι αυτό είναι το Byte συγχρονισμού ο δέκτης ελέγχει για 5 πακέτα τα Bytes τα οποία απέχουν κατά $n \cdot 188$ (όπου n από 1 έως 5). Εάν και αυτά έχουν την τιμή 0x47 τότε θεωρεί ότι πρόκειται περί Byte συγχρονισμού. Θεωρούμε ότι έχουμε απώλεια του συγχρονισμού μετά την απώλεια 3 πακέτων.
2	Transport_error_indicator (Σημαία ένδειξης σφάλματος)	1	Σημαία ένδειξης σφάλματος ενός bit: Στην περίπτωση που έχει την τιμή 1, δείχνει ότι υπάρχει κατ' ελάχιστον ένα εσφαλμένο bit το οποίο δεν μπορεί να διορθωθεί στο πακέτο TS. Η τιμή του πεδίου δύναται να αλλάξει από οντότητες εκτός του επιπέδου μεταφοράς. Η επαναφορά από το 1 στο 0 γίνεται μόνο στην περίπτωση που έχει διορθωθεί το σφάλμα. Εάν το σφάλμα δεν έχει διορθωθεί ο αποκωδικοποιητής πρέπει να αγνοήσει όλο το πακέτο.
3	Payload_unit_start_indicator (Ένδειξη έναρξης πακέτου)	1	Πεδίο το οποίο έχει διαφορετική σημασία ανάλογα με το είδος των δεδομένων που μεταφέρει το πακέτο TS και συγκεκριμένα εάν είναι τύπου PES ή PSI. Στην πρώτη περίπτωση, η τιμή 1 δείχνει ότι εκκινεί ένα PES πακέτο. Ομοίως στη δεύτερη περίπτωση (όπου έχουμε δεδομένα τύπου PSI), εάν το πεδίο έχει την τιμή 1 δείχνει ότι το πακέτο TS περιέχει τα αρχικά δεδομένα του PSI.

Πακέτα συρμού μεταφοράς

4	Transport_priority (Προτεραιότητα πακέτου)	1	Πεδίο το οποίο αφορά την προτεραιότητα του πακέτου σε σχέση με άλλα πακέτα τα οποία έχουν το ίδιο PID, στην περίπτωση που το συγκεκριμένο πεδίο έχει την τιμή 1. Η τιμή του πεδίου αυτού μπορεί να αλλάξει από κωδικοποιητή ή αποκωδικοποιητή (στα άκρα δηλαδή της αλυσίδας και όχι ενδιάμεσα).
5	PID (Κωδικός στοιχειώδους ροής)	13	Το πεδίο PID έχει μεγάλη σημασία και δείχνει τον τύπο των δεδομένων που περιέχονται εντός του πακέτου. Υπάρχουν δεσμευμένες τιμές του PID αλλά και διαθέσιμες για να αντιστοιχιστούν στις στοιχειώδεις ροές.
6	Transport_scrambling_control (Πεδίο ελέγχου κρυπτογράφησης)	2	Πεδίο το οποίο δείχνει κατά πόσο το περιεχόμενο είναι κρυπτογραφημένο (scrambled). Στην περίπτωση της τιμής 00, το περιεχόμενο δεν είναι κρυπτογραφημένο.
7	Adaptation_field_control (Πεδίο προσαρμογής)	2	Πεδίο το οποίο δείχνει κατά πόσο η επικεφαλίδα του πακέτου TS ακολουθείται από πεδίο προσαρμογής (adaptation field) μαζί με το τμήμα δεδομένων. Το πεδίο προσαρμογής αποτελεί προέκταση του πεδίου της επικεφαλίδας και συμπεριλαμβάνεται μόνο αν απαιτείται.
8	Continuity_counter (Μετρητής)	4	Μετρητής του οποίου η τιμή αυξάνει για κάθε πακέτο με το ίδιο PID. Ο μετρητής επιστρέφει στο 0 μετά τη μέγιστη τιμή. Ο μετρητής παραμένει ο ίδιος μόνο στην περίπτωση πανομοιότυπων πακέτων.

Πακέτα συρμού μεταφοράς

Καταλαβαίνουμε ότι τα πακέτα TS είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, δεν υπάρχει δηλαδή τρόπος να μπορέσει ο δέκτης να προβλέψει τι είδους δεδομένα θα αποσταλούν στο επόμενο πακέτο.

Η σύνδεση του περιεχομένου των πακέτων καθορίζεται μόνο με τη βοήθεια του πεδίου **PID**. Το γεγονός αυτό:

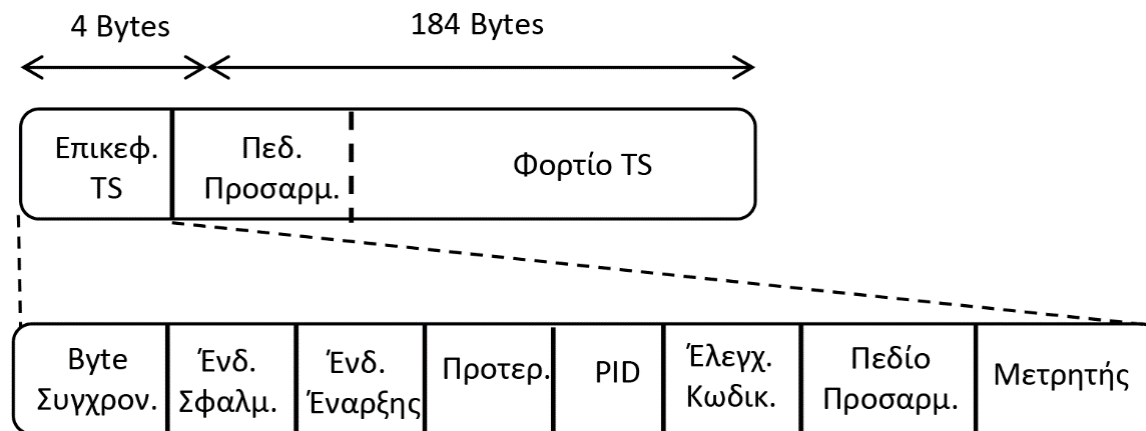
- από την μία προσδίδει ευελιξία και επεκτασιμότητα (όσον αφορά τους τύπους των δεδομένων που θα περιέχονται εντός του πακέτου).
- από την άλλη, όμως, εξαναγκάζει τον δέκτη να πρέπει να ελέγχει το σύνολο των πακέτων, ώστε να επιλέγει αυτά που τον ενδιαφέρουν. Επιπλέον, δεν είναι δυνατόν κάποιο σχήμα προτεραιοποίησης των πακέτων όσον αφορά τον έλεγχο λαθών.

Πακέτα συρμού μεταφοράς

Τα πεδία της επικεφαλίδας σε ένα TS αναπαρίστανται γραφικά παρακάτω. Παρατηρούμε ότι:

- η επικεφαλίδα περιλαμβάνει το **Packet ID (PID)**, το οποίο αποτελείται από **13 bits**. Το πεδίο PID καθορίζει, με τη βοήθεια ενός **πίνακα** που παρέχει πληροφορία ειδικά για το εκάστοτε πρόγραμμα (Program Specific Information, **PSI**), το είδος του **περιεχομένου** του πακέτου **TS**.
- Πακέτα TS, των οποίων η επικεφαλίδα περιέχει το ίδιο PID, περιέχουν δεδομένα τα οποία **προέρχονται από την ίδια στοιχειώδη ροή**.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις δεσμευμένες τιμές, αφού, όπως θα δούμε και παρακάτω, αυτές μας καθοδηγούν στο να εντοπίσουμε τα πακέτα που μας ενδιαφέρουν.



Δομή πακέτου TS

Πίνακες πληροφοριών

Οι **πληροφορίες προγράμματος** χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του μηχανισμού πολυπλεξίας (στον πομπό) και αποπολυπλεξίας (στον δέκτη).

Απαιτούνται επειδή οι συρμοί μεταφοράς αποτελούνται, δυνητικά, από πολλαπλά προγράμματα και κάθε ένα από αυτά αποτελείται από πολλαπλές στοιχειώδεις ροές.

Τα πακέτα που ανήκουν σε καθεμία εξ αυτών χαρακτηρίζονται από διαφορετικό PID.

- Ερώτημα: Αφού κάθε στοιχειώδης ροή χαρακτηρίζεται από ένα PID, πώς θα καταλάβει ο αποκωδικοποιητής **ποια PID πρέπει να συνδυαστούν** μαζί ώστε να δώσουν ένα πρόγραμμα.
- Απάντηση: **Γίνεται χρήση πινάκων** οι οποίοι περιέχουν τη σχετική πληροφορία.

Πίνακες πληροφοριών

Εκτός από τις ροές ήχου και video, **υπάρχουν** και **ροές** οι οποίες περιέχουν **μεταδεδομένα (metadata)**, πληροφορίες δηλαδή για τις υπόλοιπες ροές.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη μεταδεδομένων, τα οποία στοιχειοθετούν σχετικούς πίνακες:

- Πίνακες πληροφορίας προγράμματος (**Program Specific Information, PSI**) οι οποίοι ορίζονται από το MPEG.
- Πίνακες πληροφορίας πρωτοκόλλου προγράμματος και συστήματος (**Program System Information Protocol, PSIP**) οι οποίοι αφορούν το περιβάλλον της ψηφιακής τηλεόρασης.

Πίνακες πληροφορίας προγράμματος - PSI

Οι πίνακες PSI περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τα προγράμματα (Program Specific Information). Οι πιο βασικοί πίνακες PSI είναι:

- ο **Πίνακας Συσχέτισης Προγραμμάτων (Program Association Table, PAT)**: συσχετίζει το εκάστοτε πρόγραμμα με τον αντίστοιχο πίνακα PMT (και συγκεκριμένα το PID των πακέτων που περιέχουν το PMT του προγράμματος). Ο πίνακας PAT μεταδίδεται ανά 0.5 sec και δείχνει ανά πάσα στιγμή την τρέχουσα δομή της ροής. Ο Πίνακας Συσχέτισης Προγραμμάτων (PAT) έχει ένα σταθερό PID το οποίο είναι το **0x0000**. Ο σκοπός του είναι να δίνει πληροφορίες για τα προγράμματα που περιέχονται στον συρμό μεταφοράς και παρέχει το PID για τους πίνακες που δίνουν πληροφορίες για αυτά τα προγράμματα. Ενδέχεται να αποτελείται από ένα πακέτο με PID=0x0000 ή περισσότερα (ήτοι αυτά πρέπει να συνδυαστούν). Κάθε πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό (program_number) ο οποίος είναι ένας ακέραιος των 16bits.

Όνομα	Περιγραφή
Section length	Μήκος πίνακα (δεν είναι σταθερό, αφού το πλήθος των προγραμμάτων δεν είναι σταθερό).
Transport stream id	ID του Συρμού Μεταφοράς.
Version number	Αριθμός έκδοσης (αυξάνεται κατά 1 κάθε φορά που τροποποιείται το αντίστοιχο PAT).
Program number	Πεδίο 16 bits που καθορίζει το πρόγραμμα στο οποίο αφορά το program map PID. Μόνο στην περίπτωση που έχει την τιμή 0x0000 το PID αφορά το network PID.
Program map PID	Πεδίο 13 bits που καθορίζει το PID του πίνακα που αντιστοιχεί στο πρόγραμμα (κάθε πρόγραμμα έχει ένα μόνο program map PID).

Πεδία πίνακα PAT

Πίνακες πληροφορίας προγράμματος - *PSI*

- ο Πίνακας Αντιστοίχισης Προγραμμάτων (**Program Map Table, PMT**): καθορίζει τα PID για τα στοιχεία (στοιχειώδεις ροές) που αποτελούν ένα πρόγραμμα. Οι πίνακες που περιγράφουν τα προγράμματα είναι οι Πίνακες Αντιστοίχισης Προγραμμάτων (PMT, Program Map Tables). Ο αποκωδικοποιητής ψάχνει για πακέτα με PID ίσο με την τιμή που αναφέρεται στον πίνακα PAT. Οι πίνακες PMT περιγράφουν τις ροές που περιέχονται σε ένα πρόγραμμα, συμπεριλαμβανομένου και του PID τους. Οι αλλαγές στα προγράμματα αποτυπώνονται σε επικαιροποιημένες μορφές των πινάκων PMT.

Πίνακες πληροφορίας προγράμματος - PSI

- **Network Information Table:** καθορίζει παραμέτρους του δικτύου όπως οι συχνότητες FDM.
- **Conditional Access Table:** συσχετίζει μία ή περισσότερες ροές EMM με αντίστοιχα PID.
- **Transport Stream Description Table:** συσχετίζει μία ή περισσότερες περιγραφές τύπου TSDT με τον συρμό Μεταφοράς, είναι προαιρετικός και αφορά το σύνολο του Συρμού Μεταφοράς.

Όνομα	PID	Περιγραφή
Program Association Table	0x00	Συσχετίζει το εκάστοτε πρόγραμμα με τον αντίστοιχο πίνακα PMT (και συγκεκριμένα το PID των πακέτων που περιέχουν το PMT του προγράμματος). Ο πίνακας PAT μεταδίδεται ανά 0,5 sec και δείχνει ανά πάσα στιγμή την τρέχουσα δομή της ροής.
Program Map Table	Το PID του πίνακα αυτού περιγράφεται στον πίνακα PAT	Καθορίζει τα PID για τα στοιχεία (στοιχειώδεις ροές) που αποτελούν ένα πρόγραμμα.
Network Information Table	Το PID του πίνακα αυτού περιγράφεται στον πίνακα PAT	Καθορίζει παραμέτρους του δικτύου όπως οι συχνότητες FDM.
Conditional Access Table	0x01	Συσχετίζει μία ή περισσότερες ροές EMM με αντίστοιχα PID.
Transport Stream Description Table	0x02	Συσχετίζει μία ή περισσότερες περιγραφές τύπου TSDT με τον συρμό Μεταφοράς.

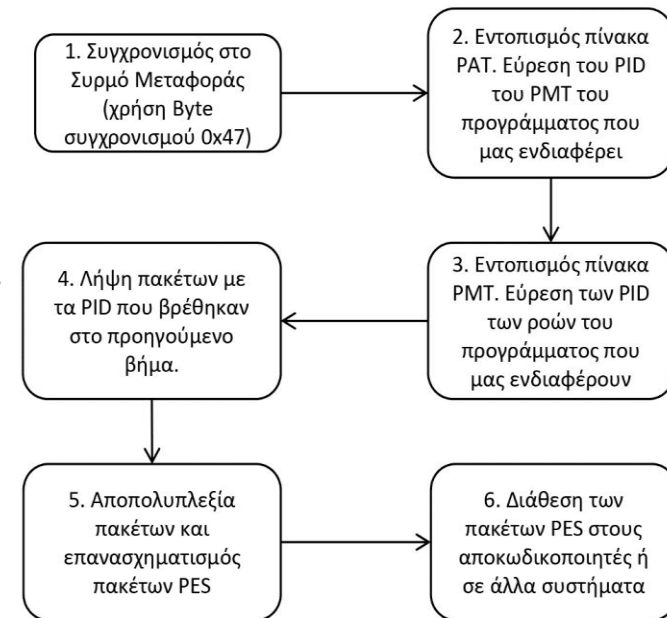
Πίνακες πληροφοριών (PID και περιγραφή)

Μηχανισμός εντοπισμού στοιχειωδών ροών

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η αλληλουχία των βημάτων που προβλέπονται από τον αποκωδικοποιητή, ώστε να εντοπίσει τα πακέτα που τον ενδιαφέρουν.

- Συγχρονισμός στον Συρμό Μεταφοράς.
- Εντοπισμός πίνακα PAT. Εύρεση του PID του PMT του προγράμματος που μας ενδιαφέρει.
- Εντοπισμός πίνακα PMT. Εύρεση των PID των ροών του προγράμματος που μας ενδιαφέρουν (π.χ. PID 0x100 και 0x101).
- Λήψη πακέτων με τα PID που βρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα (δηλαδή με PID 0x100 και 0x101).
- Αποπολυπλεξία πακέτων και επανασχηματισμός πακέτων PES.
- Διάθεση των πακέτων PES στους αποκωδικοποιητές ή σε άλλα συστήματα. Στην περίπτωση του video και του ήχου η αποκωδικοποίηση μπορεί να γίνει απευθείας στα επανασχηματιζόμενα πακέτα PES. Η μόνη περίπτωση όπου χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία είναι όταν έχουμε κρυπτογράφηση.

Η δομή του συρμού μεταφοράς ή ενός προγράμματος ενδέχεται να αλλάξει δυναμικά. Για τον λόγο αυτό ο αποκωδικοποιητής παρακολουθεί τις πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω των πακέτων PAT και PMT, και εντοπίζει τις τυχόν αλλαγές μέσω του αριθμού έκδοσης (versionnumber) ο οποίος περιέχεται στην επικεφαλίδα των πινάκων αυτών.



Διαδικασία εύρεσης πακέτων ροών που ανήκουν σε συγκεκριμένο πρόγραμμα

Ιδιωτικοί πίνακες

Η έννοια των ιδιωτικών ενοτήτων και πινάκων (private sections και tables αντίστοιχα) χρησιμοποιείται από το MPEG ως μηχανισμός επέκτασης για την κάλυψη αναγκών που δεν καλύπτονται από το πρότυπο. Κάποιοι πίνακες, για παράδειγμα, δεν προτυποποιούνται από το MPEG αλλά από το DVB. Ενδεικτικά περιλαμβάνονται οι επόμενοι:

- **NIT – Network Information Table:** Ο πίνακας πληροφοριών δικτύου περιγράφει τα χαρακτηριστικά του φυσικού διαύλου συμπεριλαμβανομένου του τρόπου μετάδοσης (terrestrial, δορυφορική, καλωδιακή), τη διαμόρφωση, τις παραμέτρους των αλγορίθμων προληπτικής διόρθωσης σφαλμάτων.
- **SDT– Service Descriptor Table:** Ο πίνακας περιγραφής υπηρεσίας περιλαμβάνει πληροφορίες για τα προγράμματα που μεταδίδονται, όπως, για παράδειγμα, τα ονόματά τους τα οποία και αντιστοιχούν στον αριθμό προγράμματος.
- **BAT – Bouquet Association Table:** Ο πίνακας συσχετισμού δέσμης περιγράφει τις παραμέτρους ενός μπουκέτου καναλιών.
- **EIT – Event Information Table:** Ο πίνακας πληροφοριών γεγονότων περιλαμβάνει το EPG (Electronic Program Guide), δηλαδή τον προγραμματισμό των εκπομπών μαζί και τις σχετικές πληροφορίες που διατίθενται εκ μέρους των καναλιών.
- **RST – Running Status Table:** Επειδή υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των προγραμματισμένων ωρών έναρξης και λήξης των διάφορων εκπομπών, υπάρχει ο πίνακας κατάστασης εκτέλεσης (Running Status Table) ο οποίος περιλαμβάνει πληροφορίες για την εκπομπή που λαμβάνεται εκείνη τη στιγμή.
- **TDT– Time & Date Table:** Ο πίνακας ώρας και ημερομηνίας μεταδίδει πληροφορίες για την ημερομηνία και την ώρα η οποία αναγνωρίζεται από τον αποκωδικοποιητή.

Ιδιωτικοί πίνακες

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συχνότητα (ελάχιστο και μέγιστο χρονικό διάστημα) με την οποία μεταδίδονται περιοδικά οι πίνακες που είδαμε μέχρι τώρα. Παρατηρούμε ότι ως **ελάχιστο** χρονικό διάστημα τίθεται ομοιόμορφα το διάστημα των **25 ms**, ενώ στην περίπτωση του μέγιστου χρονικού διαστήματος έχουμε διαφοροποιήσεις.

Πίνακας	Ελάχιστο χρονικό διάστημα μετάδοσης (ms)	Μέγιστο χρονικό διάστημα μετάδοσης (s)
PAT	25	0.5
PMT	25	0.5
CAT	25	0.5
NIT	25	10
SDT	25	2
BAT	25	10
EIT	25	2
TDT	25	30

Ελάχιστα και μέγιστα χρονικά διαστήματα μετάδοσης πινάκων

Κρυπτογραφημένα προγράμματα

Στην περίπτωση κρυπτογραφημένων προγραμμάτων (π.χ. στη συνδρομητική τηλεόραση) οι στοιχειώδεις ροές (ή κάποιες εξ αυτών) μεταδίδονται κρυπτογραφημένες.

Η αποκρυπτογράφηση απαιτεί τη χρήση συγκεκριμένων μεθοδολογιών και εξοπλισμού (hardware), καθώς και τη χρήση πληροφοριών οι οποίες μεταδίδονται εντός του Συρμού Μεταφοράς.

- Η προσπέλαση στις πληροφορίες αυτές γίνεται μέσω ενός ειδικού πίνακα, ο οποίος ονομάζεται **Πίνακας Ελεγχόμενης Πρόσβασης (Conditional Access Table, CAT)** ο οποίος παρέχει τα PID των πακέτων τα οποία μεταδίδονται εντός του συρμού. Αυτά τα πακέτα περιέχουν την πληροφορία αποκρυπτογράφησης, η οποία περιλαμβάνεται στα μηνύματα ελέγχου και διαχείρισης δικαιώματος (**Entitlement Control και Management Message, ECM και EMM αντίστοιχα**).
- Κρυπτογράφηση μπορεί να γίνει μόνο στο περιεχόμενο των στοιχειωδών ροών και όχι στις επικεφαλίδες των πακέτων του TS ή στους πίνακες που αυτό περιέχει.
- Η αποκρυπτογράφηση γίνεται μέσω της επεξεργασίας των κωδικοποιημένων ροών από ειδικό υλικό μέσω της **τυποποιημένης διεπαφής (Common Interface, CI)**.

Συγχρονισμός και εντοπισμός σφαλμάτων

Συγχρονισμός κωδικοποιητή – αποκωδικοποιητή

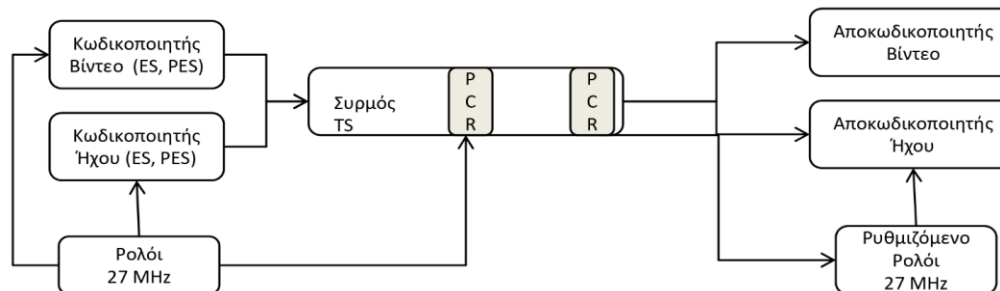
Εφόσον το video και ο ήχος κωδικοποιούνται και αποστέλλονται **ανεξάρτητα**, υπάρχει ανάγκη για τον **συγχρονισμό** τους κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής (στον δέκτη).

Η τιμή συχνότητας του ρολογιού για τον συγχρονισμό κωδικοποιητή και του αποκωδικοποιητή είναι **27 MHz**.

Ερώτημα: Μπορείτε να εξηγήσετε με ποιο κριτήριο έγινε η επιλογή της συχνότητας συγχρονισμού στα 27 MHz;

Ο μηχανισμός συγχρονισμού περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Ένας ταλαντωτής στα 27 MHz δίνει την τιμή σε έναν μετρητή της ώρας του συστήματος (STC, System Time Clock) ο οποίος έχει 42 bits (και αρχικοποιείται στις 26.5 ώρες).
- Ο κωδικοποιητής και ο αποκωδικοποιητής χρησιμοποιούν ένα ρολόι 27 MHz, το οποίο είναι στην ουσία ένας μετρητής ο οποίος έχει βήμα $1/(27 \cdot 10^6)$ second.
- Όταν ο κωδικοποιητής δημιουργεί τα πακέτα, ενσωματώνει την τιμή του ρολογιού στον συρμό. Αυτή η τιμή ονομάζεται αναφορά στο ρολόι του προγράμματος (Program Clock Reference, PCR).
- Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του MPEG υπεισέρχεται μια τιμή ρολογιού το πολύ κάθε 100 ms.
- Οι τιμές PCR μεταφέρονται μέσω του πεδίου προσαρμογής (Adaptation Field) του πακέτου TS.



Μηχανισμός συγχρονισμού

Συγχρονισμός κωδικοποιητή – αποκωδικοποιητή

Οι διαδικασίες κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης ελέγχονται από την τιμή του ρολογιού.

- Ο δέκτης εξάγει την τιμή από τα πακέτα PCR και αντιπαραβάλλει τις ληφθείσες τιμές με αυτές του τοπικού ρολογιού. Στην περίπτωση διαφοροποίησης το τοπικό ρολόι πρέπει να επανασυγχρονιστεί (διαδικασία η οποία γίνεται με τη βοήθεια ενός βρόγχου κλειδώματος φάσης (PLL - Phase-Locked Loop)).

Προβλήματα με τον συγχρονισμό του ρολογιού μπορεί να δημιουργηθούν:

- είτε στον κωδικοποιητή (**εσφαλμένη χρονοσήμανση**)
- είτε στον αποκωδικοποιητή (**εσφαλμένη χρήση της χρονοσήμανσης**)
- είτε και λόγω **απώλειας** των σχετικών **πακέτων** στο δίκτυο.

Σε κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις έχουμε **PCR jitter**. Το jitter είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής του ρολογιού στον αποκωδικοποιητή με την τιμή που αναμένεται από τον κωδικοποιητή σύμφωνα με τη χρονική στιγμή που λαμβάνεται το πακέτο και τις προηγούμενες τιμές του ρολογιού. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές οι ανεκτές τιμές είναι μέχρι τα **500 ns**.

Συγχρονισμός κωδικοποιητή – αποκωδικοποιητή

Για τον συγχρονισμό μεταξύ video και ήχου, πληροφορία χρονισμού εισάγεται στα πακέτα **PES video και ήχου**.

Η πληροφορία αυτή καλείται **Presentation Time Stamp, PTS – Χρονοσήμανση παρουσίας**. Κάθε πλαίσιο μαρκάρεται με ένα PTS, το οποίο είναι ένας θετικός αριθμός και προέρχεται από την τιμή του ρολογιού του κωδικοποιητή, όταν πραγματοποιείται η κωδικοποίηση. Καθώς τα πακέτα προσέρχονται στον αποκωδικοποιητή, υπάρχει μια θέση στη μνήμη για κάθε ροή, όπου αποθηκεύονται προσωρινά τα πακέτα του video και του ήχου. Όταν η τιμή του ρολογιού του αποκωδικοποιητή ταιριάζει με την τιμή του PTS του πλαισίου τότε το πλαίσιο αποστέλλεται στο hardware του αποκωδικοποιητή. Ο δέκτης πρέπει να αποθηκεύει προσωρινά τον ήχο και το video μέχρι τη στιγμή της παρουσίας.

- Εάν τα δεδομένα εμφανίζονται με καθυστέρηση στον συρμό μεταφοράς, δεν προλαβαίνει να γεμίζει η προσωρινή μνήμη (**buffer under flow**),
- Εάν τα δεδομένα έρχονται πολύ σύντομα έχουμε υπερχειλίση (**buffer over flow**).
- Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε σφάλμα συγχρονισμού με αλλοίωση της ποιότητας του video.

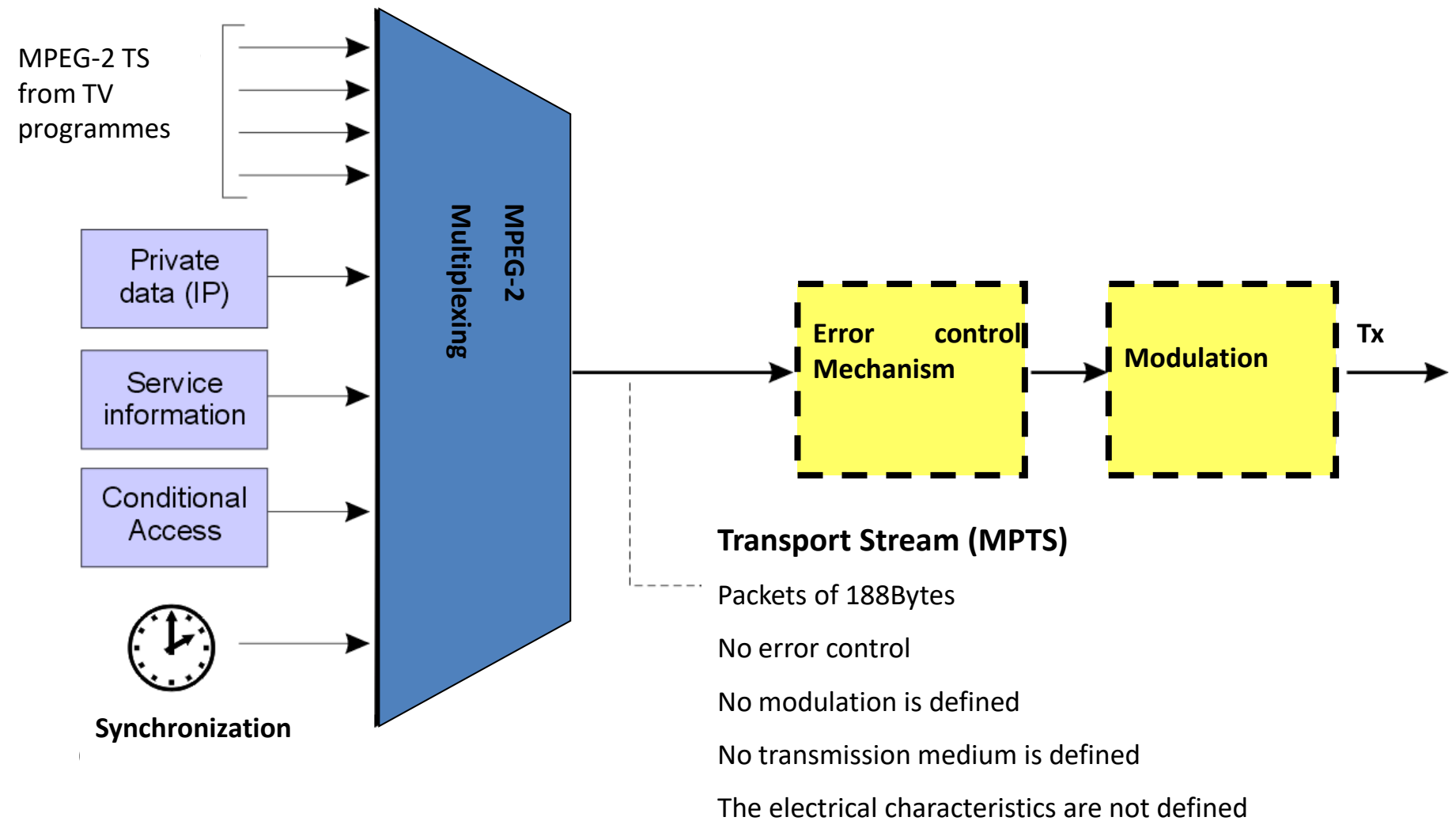
Ύπαρξη **χρονοσήμανσης αποκωδικοποίησης (DTS, Decoding Time Stamps)**. Η πληροφορία αυτή απαιτείται από τον αποκωδικοποιητή ώστε να είναι σε θέση να επαναφέρει τα πακέτα που λαμβάνει στη σειρά με την οποία έγινε η κωδικοποίηση.

Εντοπισμός σφαλμάτων

Ο εντοπισμός σφαλμάτων γίνεται με τη βοήθεια ενός **μετρητή συνέχειας, ο οποίος ονομάζεται Continuity Counter**.

- Κάθε πακέτο του Συρμού Μεταφοράς με το ίδιο PID φέρει έναν μετρητή με μήκος 4 bit. Ο μετρητής αυτός λαμβάνει συνεχόμενες τιμές, συγκεκριμένα από το 0 έως το 15, από πακέτο σε πακέτο (του Συρμού Μεταφοράς). Στη συνέχεια επανεκκινεί από το μηδέν.
- Με τη βοήθεια του μετρητή αυτού μπορεί ο δέκτης να αναγνωρίσει την απώλεια πακέτων αλλά και να αναγνωρίσει μια ροή με σφάλματα (π.χ. οι τιμές του μετρητή μπορεί να έχουν ασυνέχεια).

Σημείωση: υπάρχει περίπτωση ασυνέχειας, όταν έχουμε αιφνίδια αλλαγή προγράμματος, για παράδειγμα, λόγω σχετικής επιλογής του χρήστη. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει σχετικό πεδίο, ένδειξη ασυνέχειας, **Discontinuity Indicator**, στο πεδίο προσαρμογής.



Επαναληπτικές ασκήσεις – Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Άσκηση

Ένα MPEG-2 Elementary Stream (ES) έχει ρυθμός μετάδοσης 6 Mbps. Κατά τη μετατροπή του σε Packetised Elementary Stream (PES) τα headers των πακέτων PES αυξάνουν το συνολικό αριθμό bytes σε ποσοστό 5%.

- Ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης (bitrate) του Packetized Elementary Stream;
- Πόσα Transport Packets (TS) απαιτούνται κάθε δευτερόλεπτο προκειμένου να μεταδώσουμε αυτό το video;
- Ποιο είναι το bitrate (in Mbps) του τελικού Transport Stream;

Σημείωση: Σε κάθε Transport Packet των 188 bytes το ωφέλιμο payload είναι 184 bytes και η επικεφαλίδα (header) είναι 4 bytes.

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Απάντηση / Λύση

- a. Εφόσον το bitrate αυξάνεται σε ποσοστό 5% ο ρυθμός των πακέτων PES θα είναι $6 \text{ Mbps} \times (1 + 0,05) = \mathbf{6.3 \text{ Mbps}}$.
- b. Εφόσον το bitrate των πακέτων PES έχει ανέλθει στα 6.3 Mbps, συνεπάγεται ότι για κάθε δευτερόλεπτο θα έχουμε 6.300.000 bits = 787.500 bytes τα οποία πρέπει να μεταδοθούν. Αυτά τα bytes πρέπει να τοποθετηθούν στο payload των Transport Packets. Δηλαδή, θα χρειαστούμε $787.500 / 184 = \mathbf{4280 \text{ Transport Packets per second}}$.
- c. Το Transport Stream μεταδίδεται με ρυθμό 4280 packets per second. Εφόσον το κάθε πακέτο έχει μήκος/μέγεθος 188 bytes, ο ρυθμός μετάδοσης του τελικού Transport Stream θα είναι $4280 \times 188 = 804640 \text{ bytes/sec} = 6.437.120 \text{ bits/sec} = \mathbf{6.4 \text{ Mbps}}$

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Άσκηση

Οι παρακάτω ροές εισέρχονται σε έναν πολυπλέκτη MPEG-2 (multiplexer):

- Video of TV Programme A: 5 Mbps
 - Audio of TV Programme A: 0.4 Mbps
 - Video of TV Programme B: 4 Mbps
 - Audio of TV Programme B: 0.4 Mbps
-
- a. Υπολογίστε το συνολικό ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης (total useful bit rate) της πολυπλεξίας.
 - b. Θεωρώντας ότι ο πολυπλέκτης έχει σταθερό ρυθμό εξόδου (constant output bitrate) στα 12 Mbps, υπολογίστε πόσα stuffing Transport Packets πρέπει να προστίθενται το δευτερόλεπτο προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο ρυθμός μετάδοσης.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Απάντηση / Λύση

- a. Στην πολυπλεξία TDM, ο συνολικός ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης (total useful bit rate) στην έξοδο του πολυπλέκτη είναι ίσος με το άθροισμα των ρυθμών στις εισόδους του. Αυτό σημαίνει ότι στο παράδειγμα μας το useful bitrate στην έξοδο του πολυπλέκτη θα είναι ίσο με $5 + 0.4 + 4 + 0.4 = \mathbf{9.8\ Mbps}$.
- b. Εφόσον το useful bit rate είναι στα 9.8 Mbps, και προκειμένου να πετύχουμε ένα ρυθμό μετάδοσης ίσο με 12 Mbps, θα χρειαστεί να προσθέσουμε stuffing packets με ρυθμό $12 - 9.8 = 2.2\ Mbps$. Συνεπώς, απαιτούνται $2.2\ Mbps = 275.000\ bytes/sec = (275.000/188)\ Transport\ Packets / sec = \mathbf{1463\ Transport\ Packets / sec}$.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Άσκηση

Πώς θα βρούμε τον ήχο (audio 1) του προγράμματος 20 σε έναν Συρμό Μεταφοράς;

Απάντηση / Λύση

Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα επόμενα:

- Βρίσκουμε πρώτα το πακέτο με $PID=0$, το οποίο είναι το PAT.
- Από το PAT βρίσκουμε το PID_{PMT} που αντιστοιχεί στο PMT του προγράμματος που ψάχνουμε (πρόγραμμα 20) π.χ. 200.
- Βρίσκουμε το εν λόγω PMT.
- Διαβάζοντας τα πακέτα του TS με $PID=200$.
- Από το PMT βρίσκουμε τα Elementary Streams του προγράμματος και τα PID τους.
- Βρίσκουμε το $PID_{ES-AUDIO}$ του ES ήχου π.χ. έστω 510.
- Αποκωδικοποιούμε τα πακέτα με αυτό το $PID_{ES-AUDIO}$.

Παρατήρηση: μέχρι να πραγματοποιηθούν τα προηγούμενα βήματα, κάποια από πακέτα Transport Stream θα πρέπει να αγνοηθούν από τον δέκτη.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Άσκηση

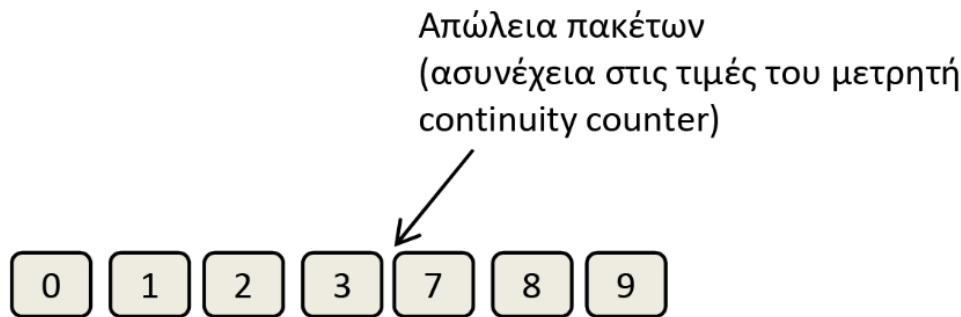
Πώς δύναται ο δέκτης να αντιληφθεί ότι έχει χαθεί ένα πακέτο σε μια συγκεκριμένη στοιχειώδη ροή; Τι συμβαίνει σε αυτήν την περίπτωση;

Απάντηση / Λύση

Χρησιμοποιείται το πεδίο Continuity Counter. Το πεδίο αυτό έχει 4 bits και αυξάνει κατά 1 κάθε φορά που εμφανίζεται ένα πακέτο με συγκεκριμένο PID. Όταν για κάποιο PID απουσιάζει ένα νούμερο τότε έχουμε σφάλμα συνέχειας, το οποίο σημαίνει ότι ένα πακέτο έχει χαθεί.

Ο μετρητής αυτός εντοπίζει απώλεια πακέτων, χωρίς όμως να δίνει πληροφορίες για το πλήθος των πακέτων που απωλέσθησαν.

Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων που οφείλονται σε απώλεια πακέτων έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.



Εντοπισμός απώλειας πακέτων λόγω ασυνέχειας των τιμών του μετρητή

Κριτήριο αξιολόγησης 5

Άσκηση

Σχολιάστε/εξηγήστε την επιλογή της συχνότητας του ρολογιού για τον συγχρονισμό στα 27 MHz.

Απάντηση / Λύση

Η δειγματοληψία του σήματος φωτεινότητας γίνεται στα 13 MHz ενώ η δειγματοληψία των χρωμοδιαφορών γίνεται στα 6,75 MHz (στο ήμισυ, δηλαδή, της συχνότητας δειγματοληψίας της φωτεινότητας). Τα 27 MHz αποτελούν πολλαπλάσιο και των δύο αυτών τιμών.

Βιβλιογραφία και βασικές πηγές

Βιβλιογραφία και βασικές πηγές

Προτεινόμενη βιβλιογραφία

1. Παπαδάκης, Α., 2015. Ψηφιακή τηλεόραση. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5005>
2. International Standards Organization / International Electrotechnical Commission. Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, International Standards Organization / International Electrotechnical Commission ISO/IEC, 13818-1, 2000.
3. European Telecommunications Standards Institute (ETSI) TS 101 154 Digital Video Broadcasting (DVB). Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream. European Telecommunications Standards Institut, 2009.

Συναφή επιστημονικά περιοδικά

1. IEEE Communications Magazine, ComSoc
2. IEEE Transactions on Broadcasting
3. International Journal of Digital Television, Intellect