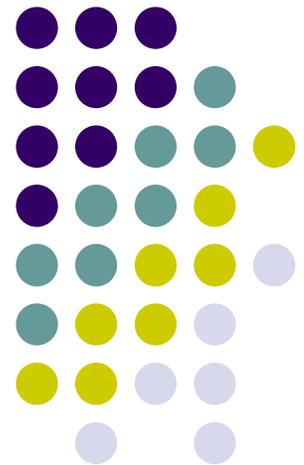


Συμπύεση και Μετάδοση Πολυμέσων: Συμπύεση Δεδομένων



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας
Τηλεπικοινωνιών

Ευάγγελος Α. Κοσμάτος

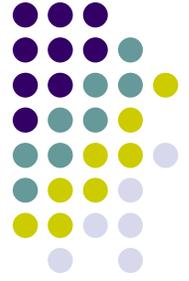


Συμπίεση πληροφορίας πολυμέσων

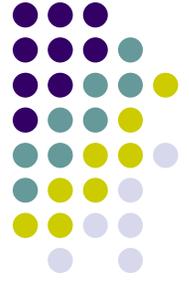


- Ένα σημαντικό ερώτημα είναι πάντοτε αν μπορεί η πληροφορία να κωδικοποιηθεί πιο αποδοτικά
 - να βρεθεί ένας τρόπος να μεταδοθεί η ίδια πληροφορία αλλά με λιγότερα bit.
- Συμπίεση
 - Η διαδικασία που επανακωδικοποιεί την εκπεμπόμενη πληροφορία με στόχο να μεταδώσει το ίδιο περιεχόμενο αλλά με μικρότερη επιβάρυνση του καναλιού
 - λιγότερα bits ανά σύμβολο

Συμπίεση πληροφορίας πολυμέσων

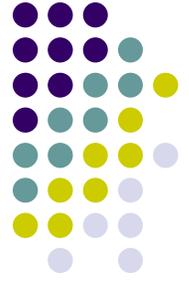


- Η πληροφορία πολυμέσων (ψηφιακή εικόνα, ήχος, video, τρισδιάστατα γραφικά) έχει ένα βασικό χαρακτηριστικό που το εκμεταλλευόμαστε για να δημιουργήσουμε αποδοτικούς τρόπους συμπίεσής της:
 - προέρχεται από ψηφιοποίηση αναλογικών σημάτων του πραγματικού κόσμου και απευθύνεται σε ανθρώπους.
- Ψυχοφυσιολογική συμπίεση
 - μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς των ανθρώπινων αισθητηρίων οργάνων (μάτι, αυτί) και να συμπίεσουμε την πληροφορία χωρίς να μειώσουμε αισθητά την ποιότητά της.



Απαίτηση για συμπίεση

- Η υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας και το μεγάλο μέγεθος δείγματος δημιουργεί ένα ψηφιακό αρχείο αντίστοιχα μεγάλου μεγέθους για το οποίο πρέπει:
 - Να βρεθεί κατάλληλος αποθηκευτικός χώρος
 - Η πληροφορία του ψηφιακού αρχείου να μεταφέρεται αρκετά γρήγορα προς αναπαραγωγή στα αντίστοιχα υποσυστήματα (υποσύστημα ήχου, εικόνας, κλπ.)
 - Η πληροφορία να μεταφέρεται ικανοποιητικά γρήγορα στα δίκτυα υπολογιστών.



Απαίτηση για συμπίεση

- Αποθήκευση
 - Hard Disk ~ TeraBytes
 - DVD ~ 4.7 GBytes (~8.5 Gbytes)
 - Blue Ray ~ 25 GBytes (~50 Gbytes)
- Μετάδοση
 - Optical Fibers ~ 20Gbits/sec
 - ADSL ~ 45 Mbps
 - GSM ~9 Kps
 - PSTN (dial up) ~ 64kps



Απαίτηση για συμπίεση

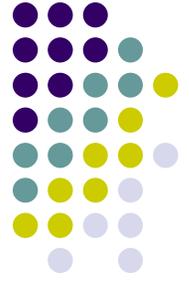
- Κόστος
- Απαιτήσεις εφαρμογών πολυμέσων
 - Διαλογικού τύπου
 - καθυστέρηση (end-to-end) < 200 msec
 - μικρότερες καθυστερήσεις (< 50 msec) για εφαρμογές “face to face”
 - Ανάκλησης δεδομένων
 - γρήγορη αναζήτηση σε ανάκληση πληροφοριών
 - καθυστέρηση < 0.5 sec

Μέγεθος πολυμεσικής πληροφορίας

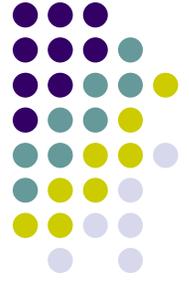


- Κείμενο
 - Μια σελίδα κειμένου περιέχει προσεγγιστικά 4800 χαρακτήρες
 - ~4,8 kbytes σε κωδικοποίηση ASCII
 - ~9,6 kbytes σε κωδικοποίηση Unicode
- Γραφικά
 - Μια εικόνα γραφικών περιέχει προσεγγιστικά 500 γραμμές
 - Για κάθε γραμμή ορίζονται οι συντεταγμένες της αρχής (2 x 10 bits), οι συντεταγμένες του τέλους (2 x 10 bits) και 8 bits για τον χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων της γραμμής
 - 500 x 48 bits ≈ 3 kbytes
- Εικόνες
 - Μια εικόνα 640 x 480 pixels με 256 αποχρώσεις του γκρι
 - 640 x 480 x 1 byte ≈ 307 kbytes
 - Η ίδια εικόνα σε πραγματικό χρώμα (3 bytes per pixel)
 - 640 x 480 x 3 byte ≈ 921 kbytes

Μέγεθος πολυμεσικής πληροφορίας



- Ήχος:
 - Τηλεφωνική ποιότητα ~ 8 kbyte / sec
 - Ποιότητα CD: 1,411 Mbps ~ 176 kbyte / sec
- Βίντεο
 - Τηλεοπτική ποιότητα (π.χ. ανάλογο του PAL system)
 - $625 \text{ lines} \times 840 \text{ pixel /line} \times 3 \text{ bytes /pixel} \times 25 \text{ frames (εικόνες) /sec} = 39 \text{ Mbytes / sec}$
 - Τηλεόραση Υψηλής Ευκρίνειας (HDTV)
 - $5.33 \times \text{Τηλεοπτική ποιότητα} = 208 \text{ Mbytes / sec}$



Συμπύεση δεδομένων

- Δύο εναλλακτικές για αποθήκευση και μετάδοση πολυμέσων
 - Αύξηση χωρητικότητας και ρυθμού μετάδοσης
 - Μεγάλο κόστος
 - Τεχνολογικοί περιορισμοί
 - Συμπύεση των δεδομένων



Συμπίεση δεδομένων

- **Αλγόριθμος συμπίεσης**
 - κάθε αλγόριθμος που έχει σαν στόχο την επίτευξη συμπίεσης των δεδομένων εισόδου.
 - ο αλγόριθμος εφαρμόζει μια απλή και συγκεκριμένη μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων ώστε να προκύψει μια περισσότερο συμπιεσμένη μορφή τους.
- **Λόγος συμπίεσης (compression ratio)**
 - εκφράζει την σχέση του χώρου που καταλαμβάνουν τα αρχικά δεδομένα ως προς τον χώρο που καταλαμβάνουν τα συμπιεσμένα δεδομένα.
 - είναι ένας καθαρός αριθμός και δίνεται από τη σχέση:

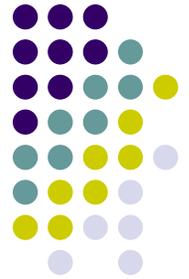


Συμπίεση δεδομένων

Λόγος συμπίεσης = αρχικό μέγεθος δεδομένων / μέγεθος συμπιεσμένων δεδομένων

- Παράδειγμα: λόγος συμπίεσης «7 προς 1» (γράφεται 7:1) σημαίνει ότι η μετά τη συμπίεση το μέγεθος του αρχείου θα είναι το 1/7 του αρχικού.
- Trade-off: Ποσοστό Συμπίεσης vs Παραποίηση Δεδομένων
 - Ένας αλγόριθμος συμπίεσης προκαλεί μια σειρά μετασχηματισμών στο αρχικό σήμα οι οποίοι μπορεί να είναι: (α) χωρίς απώλειες ή αντιστρεπτοί, (β) με απώλειες ή μη αντιστρεπτοί
 - Η μορφή συμπίεσης που επιλέγουμε εξαρτάται από το είδος της πληροφορίας που πρόκειται να συμπιέσουμε

Συμπύεση και Πολυμεσικές Εφαρμογές



- Οι απαιτήσεις κατά τη συμπύεση και αποσυμπύεση κάποιας μορφής πληροφορίας διαφοροποιούνται από εφαρμογή σε εφαρμογή
 - Εξαρτώνται άμεσα από το αν η εφαρμογή είναι διαλογικού τύπου ή τύπου ανάκλησης δεδομένων

Συμπίεση και Πολυμεσικές Εφαρμογές

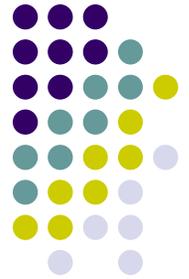


- Εφαρμογές διαλογικού τύπου (Dialogue Mode)
 - Διαδικασία συμπίεσης / αποσυμπίεσης δεν πρέπει να διαρκεί πάνω από 150 msecs (end to end delay) για συνηθισμένες εφαρμογές
 - Καθυστέρηση της τάξης των 50 msecs για “face-to-face” εφαρμογές



Συμπίεση και Μετάδοση Πολυμέσων

Συμπύεση και Πολυμεσικές Εφαρμογές



- Εφαρμογές τύπου ανάκλησης δεδομένων (Retrieval Mode)
 - Γρήγορη αναζήτηση και ανάκτηση πληροφοριών (forward and backward) και ταυτόχρονη προβολή τους
 - Τυχαία προσπέλαση σε οποιοδήποτε πλαίσιο εικόνας ή ήχου, με χρόνο προσπέλασης μικρότερο από 0,5 sec
 - Επιλεγμένη αποσυμπύεση μεμονωμένων πλαισίων



Συμπύεση και Μετάδοση Πολυμέσων

Κατηγορίες τεχνικών συμπίεσης



- Ανάλογα με τη σχέση που έχει το αρχικό σήμα με το αποτέλεσμα της αποσυμπίεσης υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων συμπίεσης:
 - Τεχνικές χωρίς απώλειες (lossless compression schemes):
 - Δεν μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά του σήματος κατά τη διάρκεια της συμπίεσης. Το σήμα που προκύπτει κατά την αποσυμπίεση είναι ακριβές αντίγραφο του αρχικού.
 - Τεχνικές αυτής της μορφής χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση σημάτων τα οποία δε θα πρέπει να αλλοιωθούν κατά τη διαδικασία της συμπίεσης / αποσυμπίεσης (π.χ. emails, ιατρικά σήματα όπως υπερηχογραφήματα).
 - Τεχνικές με απώλειες (lossy compression schemes):
 - Αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά του σήματος κατά τη διαδικασία της συμπίεσης.
 - Τεχνικές αυτής της μορφής χρησιμοποιούνται κυρίως για τη συμπίεση ηχητικών σημάτων ή εικόνων.
 - Εκμεταλλεύονται τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης και ακοής για να εισάγουν επιλεκτικά αλλοιώσεις στο σήμα οι οποίες γίνονται δύσκολα αντιληπτές.



Μη απωλεστική συμπίεση

- Η μη απωλεστική συμπίεση εξαλείφει τον πλεονασμό της πληροφορίας χωρίς να «θυσιάζει» κανένα δεδομένο
 - παράδειγμα η εφαρμογή WinZip
- Παράδειγμα:
 - Αν η αρχική πληροφορία είχε τη μορφή
ΠΠΟΟΟΛΛΛΛΛΛΥΥΥΜΜΜΕΕΕΕΕΣΣΣΣΣΣΣΑΑ
αφαιρώντας τον πλεονασμό συμπιέζεται σε: 2Π 3Ο 7Λ 3Υ 3Μ 5Ε 7Σ 2Α
 - Κατά την αποκωδικοποίηση η πληροφορία αναπαράγεται με την αρχική της μορφή:
ΠΠΟΟΟΛΛΛΛΛΛΥΥΥΜΜΜΕΕΕΕΕΣΣΣΣΣΣΣΑΑ
- Μη απωλεστικοί αλγόριθμοι:
 - Run Length Encoding (RLE), Huffman, Delta, LZW.



Απωλεστική συμπίεση

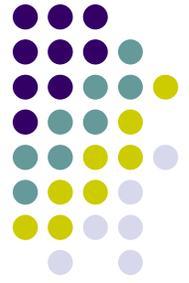
- Στην απωλεστική συμπίεση εφαρμόζονται αλγόριθμοι που αφαιρούν μέρος της πληροφορίας με επιλεκτικό τρόπο Αυτό μπορεί να γίνει γιατί υπάρχουν είδη πληροφορίας που δεν αλλοιώνεται ουσιαστικά από την απώλεια κάποιων bit
- Παράδειγμα:
 - Αν η αρχική πληροφορία είχε τη μορφή
ΠΠΟΟΟΛΛΛΛΛΛΥΥΥΜΜΜΕΕΕΕΕΣΣΣΣΣΣΣΑΑ
 - Αφαιρώντας όλο τον πλεονασμό της πληροφορίας τη συμπιέζουμε με τη μορφή:
2Π 3Ο 7Λ 3Υ 3Μ 5Ε 7Σ 2Α
 - Αν όμως ο αλγόριθμος αγνοεί τις υψηλότερες συχνότητες εμφάνισης (πχ. πάνω από το 4) τότε κωδικοποιεί ως εξής:
2Π 3Ο 4Λ 3Υ 3Μ 4Ε 4Σ 2Α
 - και η πληροφορία μετά την αποσυμπίεση έχει τη μορφή:
ΠΠΟΟΟΛΛΛΥΥΥΜΜΜΕΕΕΕΕΣΣΣΣΣΑΑ



Κατηγορίες τεχνικών συμπίεσης

- Ανάλογα με τη μέθοδο που ακολουθείται για τη συμπίεση μίας πηγής πληροφορίας υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνικών συμπίεσης:
 - Τεχνικές **κωδικοποίησης εντροπίας** (entropy encoding):
 - Είναι τεχνικές χωρίς απώλειες οι οποίες δε λαμβάνουν υπόψη τους τη φύση των σημάτων στα οποία εφαρμόζονται. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι θεωρούν ότι το σήμα που συμπιέζεται δεν είναι τίποτα άλλο παρά μία σειρά από δυαδικά ψηφία.
 - Τεχνικές **κωδικοποίησης πηγής** (source encoding):
 - Λαμβάνουν υπόψη τους τη φύση του σήματος που συμπιέζεται. Π.χ. μία τέτοια μέθοδος μπορεί να ανιχνεύει και να συμπιέζει δραστικά περιόδους σιωπής σε ένα ηχητικό σήμα δεδομένου ότι οι τελευταίες δεν περιέχουν καμία χρήσιμη ακουστική πληροφορία πέραν της διάρκειας τους.
 - Πετυχαίνουν μεγαλύτερους βαθμούς συμπίεσης από τις κωδικοποιήσεις εντροπίας αν και ο βαθμός συμπίεσης είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τη μορφή του συγκεκριμένου σήματος.
 - Μπορεί να είναι τεχνικές με ή χωρίς απώλειες

Τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας



- Οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας αντιμετωπίζουν την πληροφορία απλά σαν μια σειρά από bits και επιχειρούν να τη συμπίεσουν συνήθως εφαρμόζοντας κάποιες στατιστικές μεθόδους.
 - Εκμεταλλεύονται, δηλαδή, τους κανόνες στην εκπομπή των συμβόλων και προσπαθούν να μειώσουν τον πλεονασμό.
 - Οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης εντροπίας προσφέρουν συμπίεση χωρίς απώλειες.
- Διακρίνονται σε:
 - Τεχνικές Μήκους Διαδρομής (Run Length Encoding)
 - RLC (Run Length Coding)
 - Zero Suppression
 - Στατιστικές
 - Huffman
 - Αριθμητική
 - Αντικατάσταση προτύπων (π.χ. LZW, LUT)

Τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας



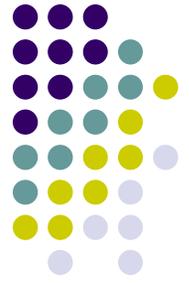
- Τι είναι εντροπία (entropy);
 - Ο (θεωρητικά) ελάχιστος αριθμός από bits ανά σύμβολο που απαιτείται για τη κωδικοποίηση / μετάδοση ενός μηνύματος.

- Υπολογισμός της εντροπίας ενός μηνύματος
 - Με βάση την εξίσωση Shannon:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

- όπου n ο αριθμός των συμβόλων που αποτελούν το μήνυμα και p_i η πιθανότητα εμφάνισης του συμβόλου i .

Τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας



- Επειδή η εντροπία υποδεικνύει τη βέλτιστη συμπίεση (χωρίς απώλειες), που μπορεί να επιτευχθεί, η αποδοτικότητα κωδικοποίησης μιας μεθόδου συχνά συγκρίνεται με την εντροπία.
- Η αποδοτικότητα κωδικοποίησης υπολογίζεται με βάση τον μέσο αριθμό bits ανά κωδική λέξη (codeword):

$$\text{Average number of bits per codeword} = \sum_{i=1}^n N_i p_i$$

- όπου n ο αριθμός των συμβόλων που αποτελούν το μήνυμα, p_i η πιθανότητα εμφάνισης του συμβόλου i και N_i τα bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση του συμβόλου i .

Κωδικοποίηση Εντροπίας - Άσκηση



- Θεωρούμε μηνύματα που απαρτίζονται από τα σύμβολα A,B,C,D,E,F. Οι πιθανότητες εμφάνισης των συμβόλων δίνονται στον πίνακα.

Σύμβολο	Πιθανότητα
A	0.45
B	0.06
C	0.15
D	0.10
E	0.20
F	0.04

- Να υπολογιστεί η εντροπία του συστήματος
- Να υπολογιστεί η αποδοτικότητα του βέλτιστου αλγορίθμου κωδικοποίησης του παραπάνω μηνύματος αν χρησιμοποιηθεί σταθερού μεγέθους μήκος λέξης.



Κωδικοποίηση μήκους διαδρομής

- Βασικές αρχές:
 - Η κωδικοποίηση μήκους διαδρομής (RLE - Run Length Encoding) βασίζεται στην παρατήρηση ότι σε πολλές περιπτώσεις μέσα σε μια ομάδα δεδομένων εμφανίζεται το ίδιο σύμβολο να επαναλαμβάνεται πολλές φορές στη σειρά.
 - Θα μπορούσε επομένως αυτή η ακολουθία πολλαπλών εμφανίσεων του ίδιου συμβόλου να αντικατασταθεί από δύο άλλα σύμβολα:
 - το σύμβολο που εμφανίζεται
 - πόσες φορές εμφανίζεται

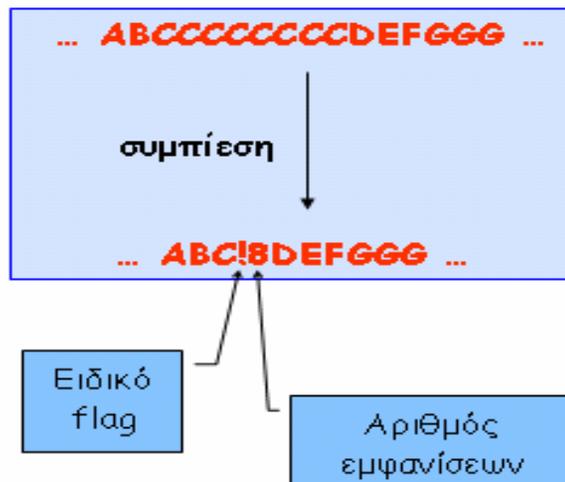
original data stream: 17 8 54 0 0 0 97 5 16 0 45 23 0 0 0 0 0 3 67 0 0 8 ...

run-length encoded: 17 8 54 0 3 97 5 16 0 1 45 23 0 5 3 67 0 2 8 ...



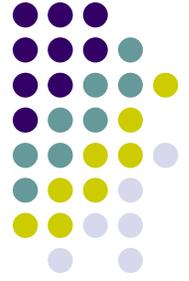
Κωδικοποίηση μήκους διαδρομής

- Υλοποίηση
 - Αποτελεσματική τεχνική όταν ένας χαρακτήρας επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τέσσερις φορές
 - Η ίδια ουσιαστικά τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί και σε εικόνες όπου η ίδια τιμή φωτεινότητας ή χρώματος επαναλαμβάνεται πολλές φορές.
 - Η μέθοδος είναι αποτελεσματική για την συμπίεση κειμένου και εικόνων δύο τόνων (άσπρο – μαύρο)



Συμπίεση και Μετάδοση Πολυμέσων

Στατιστική κωδικοποίηση



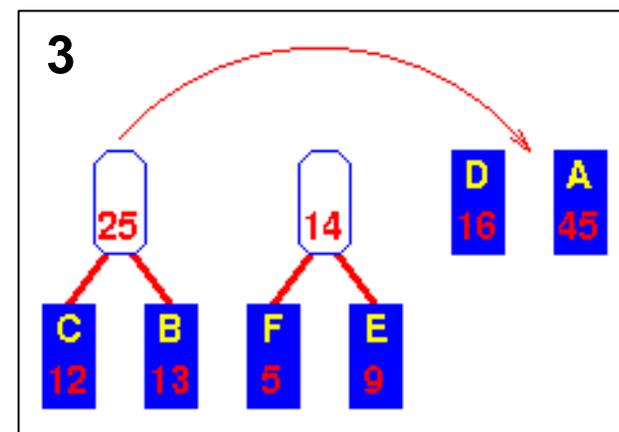
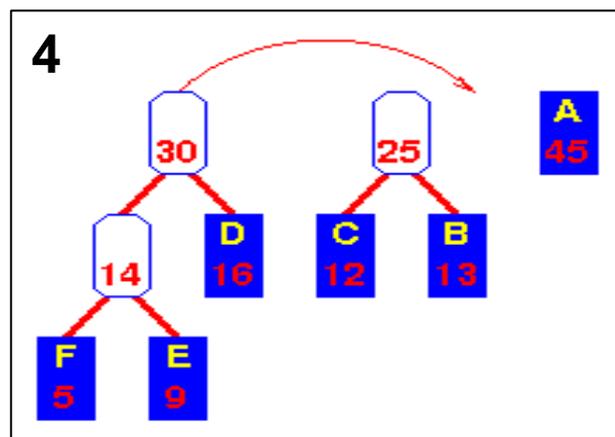
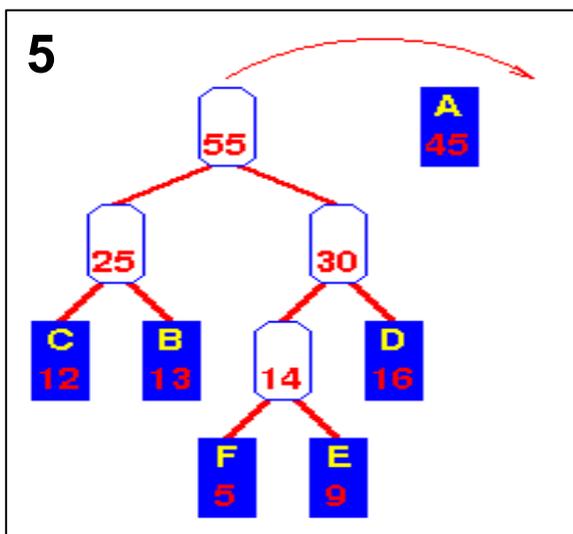
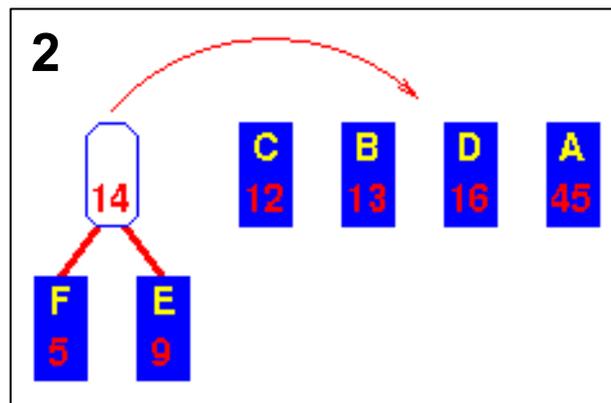
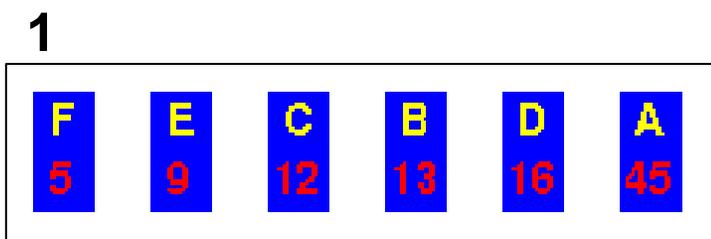
- Δύο βασικές μορφές:
 - Κωδικοποίηση Huffman:
 - Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σύμβολα κωδικοποιούνται με λιγότερα bits (τα σπάνια εμφανιζόμενα σύμβολα θα έχουν μεγαλύτερου μεγέθους κωδικές λέξεις, ενώ τα συχνά μικρότερου μεγέθους).
 - Αντικατάσταση προτύπων (packbits encoding)
 - Ακολουθίες συμβόλων κωδικοποιούνται ομαδικά ως ένας νέο σύμβολο με λιγότερα bits.
 - Για παράδειγμα οι σημειώσεις του μαθήματος θα μπορούσαν να συμπιεστούν με την ανάθεση μιας κωδικής λέξης για «πολυμέσα» και μιας κωδικής λέξης για «εφαρμογές».
 - Είναι φανερό ότι η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη λεξικού, όπου αποθηκεύονται οι ακολουθίες που αντιστοιχούν σε κάθε κωδικό για να μπορεί να γίνει η αποσυμπίεση.
 - Το λεξικό προκύπτει από ανάλυση του κειμένου, ενώ κάποιες ακολουθίες συμβόλων είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι θα εμφανιστούν σίγουρα.



Κωδικοποίηση Huffman

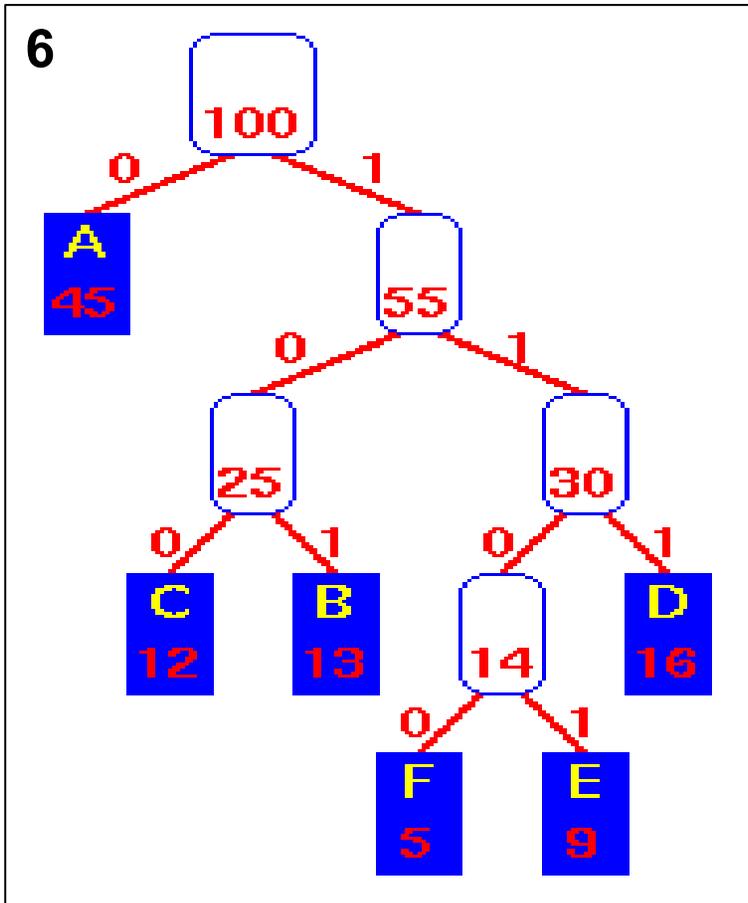
- Βασική αρχή
 - Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σύμβολα κωδικοποιούνται με μικρότερες σειρές από bits (σε αντίθεση με τα λιγότερο χρησιμοποιούμενα τα οποία κωδικοποιούνται με μεγαλύτερες σειρές από bits)
- Υλοποίηση
 - Η τεχνική βασίζεται σε στατιστικές μεθόδους (πιθανότητες εμφάνισης συμβόλων)
 - Κατασκευή δυαδικού δέντρου, αρχίζοντας από τους χαρακτήρες με τη μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης
 - Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κωδικοποίηση ομάδων συμβόλων, όπου η έννοια του «συμβόλου» αντικαθίσταται από εκείνη της «ομάδας συμβόλων»

Κωδικοποίηση Huffman





Κωδικοποίηση Huffman

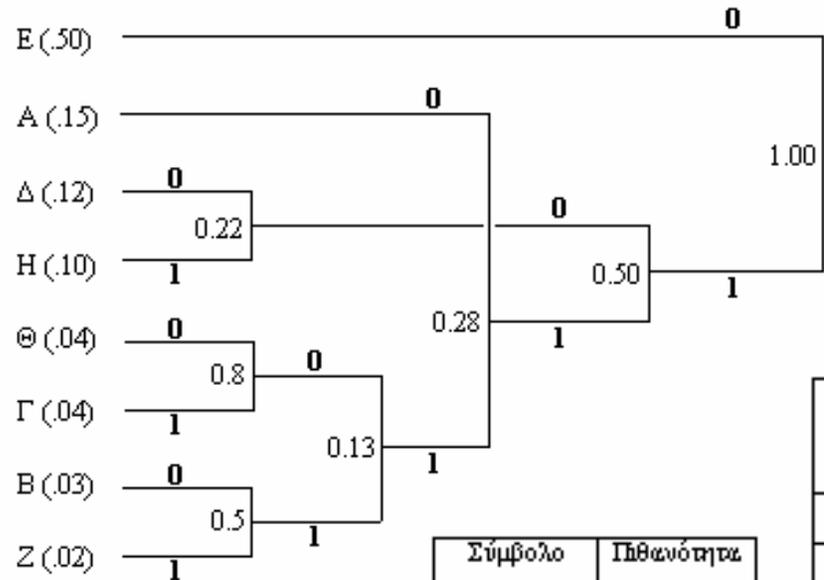


Σύμβολο	Πιθανότητα	Κωδικός	Ψηφία	N*p
F	5	1100	4	20
E	9	1101	4	36
C	12	100	3	36
B	13	101	3	39
D	16	111	3	48
A	45	0	1	45

CBAD = 100 101 0 111



Κωδικοποίηση Huffman



Σύμβολο	Γιθωνότητα
Ε	.50
Α	.15
Δ	.12
Η	.10
Θ	.04
Γ	.04
Β	.03
Ζ	.02

Σύμβολο	Γιθωνότητα εμφάνισης p	Διαδικός κωδικός Huffman	Πλάθος ψηφίων στον κωδικό, N	N * p
Ε	.50	0	1	.50
Α	.15	110	3	.45
Δ	.12	100	3	.36
Η	.10	101	3	.30
Θ	.04	11100	5	.20
Γ	.04	11101	5	.20
Β	.03	11110	5	.15
Ζ	.02	11111	5	.10
				2.26



Κωδικοποίηση Huffman - Άσκηση

- Θεωρούμε μηνύματα που απαρτίζονται από τα σύμβολα A,B,C,D,E,F. Οι πιθανότητες εμφάνισης των συμβόλων δίνονται στον πίνακα.

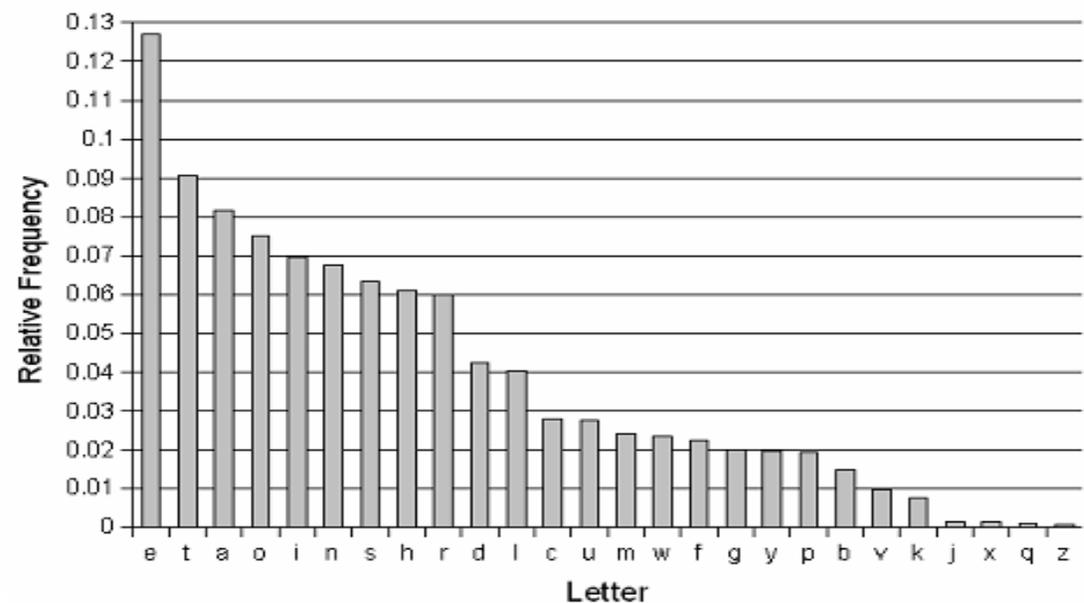
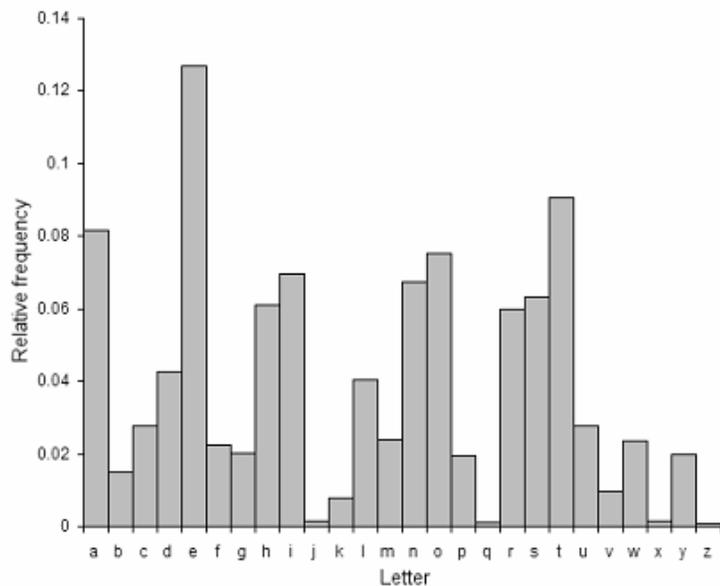
Σύμβολο	Πιθανότητα
A	0.45
B	0.06
C	0.15
D	0.10
E	0.20
F	0.04

- Να εφαρμοστεί κωδικοποίηση Huffman και να υπολογιστεί ο μέσος αριθμός bits ανά κωδική λέξη. Να συγκριθεί με την τιμή της εντροπίας των μηνυμάτων



Κωδικοποίηση Huffman

- Η χρήση της κωδικοποίησης Huffman είναι πολύ αποτελεσματική όταν
 - Το αρχικό κείμενο είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το λεξικό (το λεξικό πρέπει να προστεθεί μέσα στα κωδικοποιημένα δεδομένα)
 - Το λεξικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι προσυμφωνημένο
 - π.χ. χρήση συγκεκριμένου λεξικού ανά γλώσσα κειμένου





Αντικατάσταση προτύπων

- Βασική ιδέα:
 - Αναζήτηση των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων ακολουθιών συμβόλων κι αντικατάστασή τους από ειδικές κωδικές λέξεις (codewords)
- Ανάλυση
 - Η τεχνική αυτή (pattern substitution) είναι παραλλαγή της τεχνικής «κωδικοποίηση μήκους διαδρομής»
 - Στην αγγλική, τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ζεύγη χαρακτήρων είναι τα παρακάτω (προσοχή στους χαρακτήρες κενού): “E ”, “T ”, “TH”, “ A”, “S ”, “RE”, “IN”, “HE”
 - Οι ειδικοί χαρακτήρες που αντικαθιστούν τα παραπάνω ζευγάρια δεν πρέπει να εμφανίζονται πουθενά αλλού στο κείμενο
 - Η τεχνική μπορεί να πετύχει συμπίεση της τάξης του 10%
 - Ο ευρέως διαδεδομένος αλγόριθμος συμπίεσης LZW (Lempel, Ziv & Welch) βασίζεται στη λογική αντικατάστασης προτύπων.



Παράδειγμα - Συμπύεση LZW

- Αρχική ακολουθία αριθμών:

147 132 12 17 212 156 19 205 144 16 17 212 39 67 23 19 205
144 33

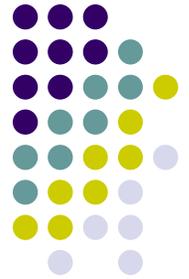
- Υλοποίηση αντικαταστάσεων:

- 19 205 144 -> 202
- 17 212 -> 209

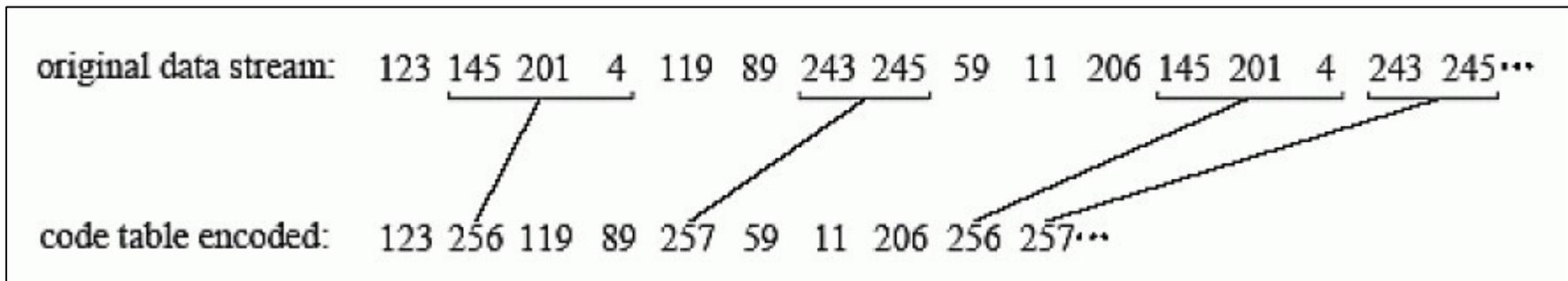
- Συμπιεσμένη ακολουθία αριθμών μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου LZW:

147 132 12 209 156 202 16 209 39 67 23 202 33

Παράδειγμα - Συμπίεση LZW



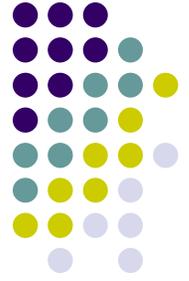
	code number	translation
<i>identical code</i>	0000	0
	0001	1
	⋮	⋮
	0254	254
	0255	255
<i>unique code</i>	0256	145 201 4
	0257	243 245
	⋮	⋮
	4095	XXX XXX XXX





Κωδικοποίηση πηγής

- Στη κωδικοποίηση πηγής οι μετασχηματισμοί τους οποίους υφίστανται το αρχικό σήμα, με στόχο τη συμπίεση, εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο του.
 - Για παράδειγμα, η ομιλία χαρακτηρίζεται από συχνά διαστήματα σιωπής, που μπορούν να περιγραφούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο.
 - οι μετασχηματισμοί του σήματος κάνουν χρήση των ιδιαίτερων σημασιολογικών χαρακτηριστικών που μεταφέρει το σήμα.
- Οι τεχνικές κωδικοποίησης πηγής, στη γενική περίπτωση, επιτυγχάνουν μεγαλύτερα ποσοστά συμπίεσης σε σχέση με την κωδικοποίηση εντροπίας.
 - Μειονεκτούν στη σταθερότητα, γιατί το ποσοστό συμπίεσης που επιτυγχάνουν διαφοροποιείται ανάλογα με το αντικείμενο που συμπιέζεται.
 - Η κωδικοποίηση πηγής μπορεί να λειτουργήσει και με απώλειες και χωρίς απώλειες.



Κωδικοποίηση πηγής

- Οι τεχνικές διακρίνονται σε:
 - Προβλεπτικές
 - DPCM (Difference Pulse Code Modulation)
 - DM (Difference Modulation)
 - Μετασχηματισμού
 - FFT (Fast Fourier Transform)
 - DCT (Discrete Cosine Transform)
 - Στρωματοποίησης (Layered)
 - Subband Coding
 - Διανυσματικές
 - Ταύτισης με προκαθορισμένα πρότυπα
 - Fractals
 - Να σημειωθεί ότι οι παραπάνω κατηγορίες κωδικοποίησης δεν αποκλείουν η μια την άλλη. Υπάρχουν αλγόριθμοι που συνδυάζουν τεχνικές και των τεσσάρων κατηγοριών για να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα.



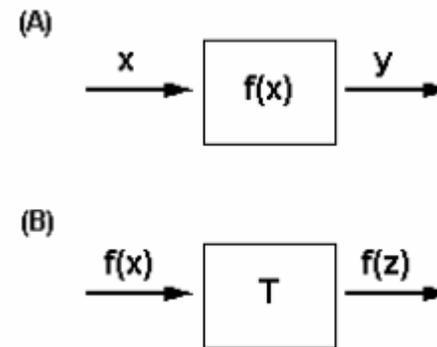
Κωδικοποίηση Μετασχηματισμού

- Βασικές αρχές
 - Στη κωδικοποίηση μετασχηματισμού, το σήμα υφίσταται ένα μαθηματικό μετασχηματισμό από το αρχικό πεδίο του χρόνου ή του χώρου σε ένα αφηρημένο πεδίο το οποίο είναι πιο κατάλληλο για συμπίεση. Αυτή η διαδικασία είναι αντιστρεπτή, δηλαδή υπάρχει ο αντίστροφος μετασχηματισμός που θα επαναφέρει το σήμα στην αρχική του μορφή.
 - Ένα τέτοιος μετασχηματισμός είναι ο μετασχηματισμός Fourier. Μέσω του μετασχηματισμού Fourier μια συνάρτηση του χρόνου $g(t)$ μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια $G(f)$ στο πεδίο των συχνοτήτων.
- Υλοποίηση
 - Αφού επιλεγθεί και εκτελεστεί ο μετασχηματισμός, βρίσκουμε τους πιο σημαντικούς από τους συντελεστές και τους περιγράφουμε με μεγάλη ακρίβεια.
 - Τους λιγότερο σημαντικούς μπορούμε να τους περιγράψουμε με μικρότερη ακρίβεια ή και να τους αγνοήσουμε τελείως. Κάνοντας κάτι τέτοιο η διαδικασία συμπίεσης έχει απώλειες.
 - Οι μετασχηματισμοί από μόνοι τους είναι αντιστρεπτοί.



Κωδικοποίηση Μετασχηματισμού

- Ένας μετασχηματισμός (transform) είναι μια μαθηματική διαδικασία που με βάση κάποιον αλγόριθμο αντιστοιχεί μία σειρά από τιμές σε μια άλλη σειρά τιμών.
- Ο μετασχηματισμός επεκτείνει την έννοια της συνάρτησης επιτρέποντας στις παραμέτρους εισόδου και εξόδου να μην είναι απλές τιμές αλλά συναρτήσεις, δηλαδή σύνολα τιμών.





Μετασχηματισμοί Fourier

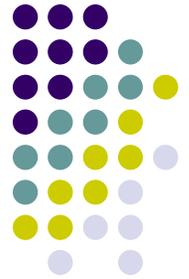
- Οι μετασχηματισμοί Fourier μετασχηματίζουν μια συνάρτηση $g(t)$ από το πεδίο του χρόνου σε μια συνάρτηση $G(f)$ στο πεδίο των συχνοτήτων και προσδιορίζουν το πλάτος G καθεμιάς συχνότητας f στις οποίες αναλύεται η αρχική $g(t)$.

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

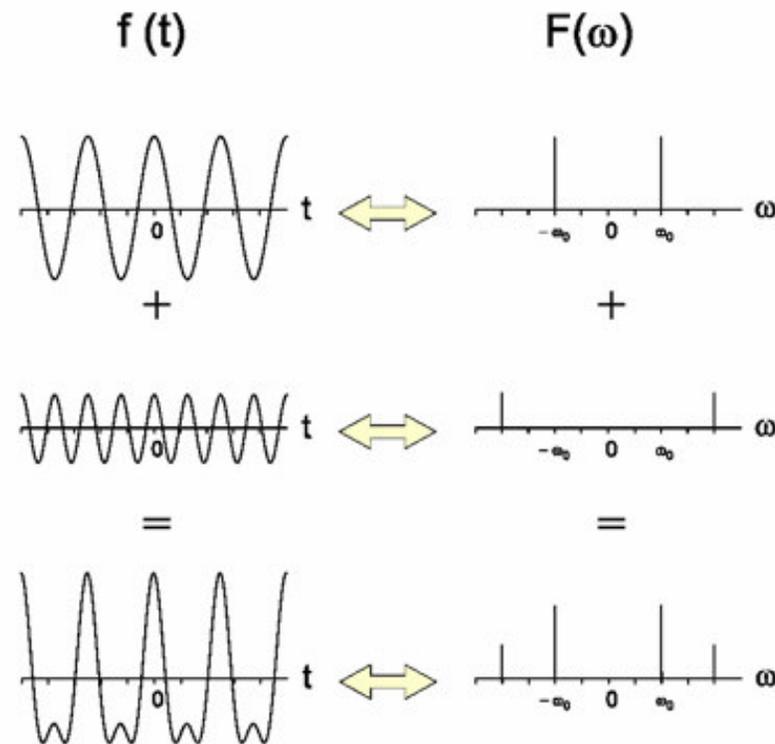
Πεδίο Χρόνου
(time domain) \longrightarrow Πεδίο συχνοτήτων
(frequency domain)



Μετασχηματισμοί Fourier



Πεδίο Χρόνου (time domain) \longrightarrow Πεδίο συχνοτήτων (frequency domain)

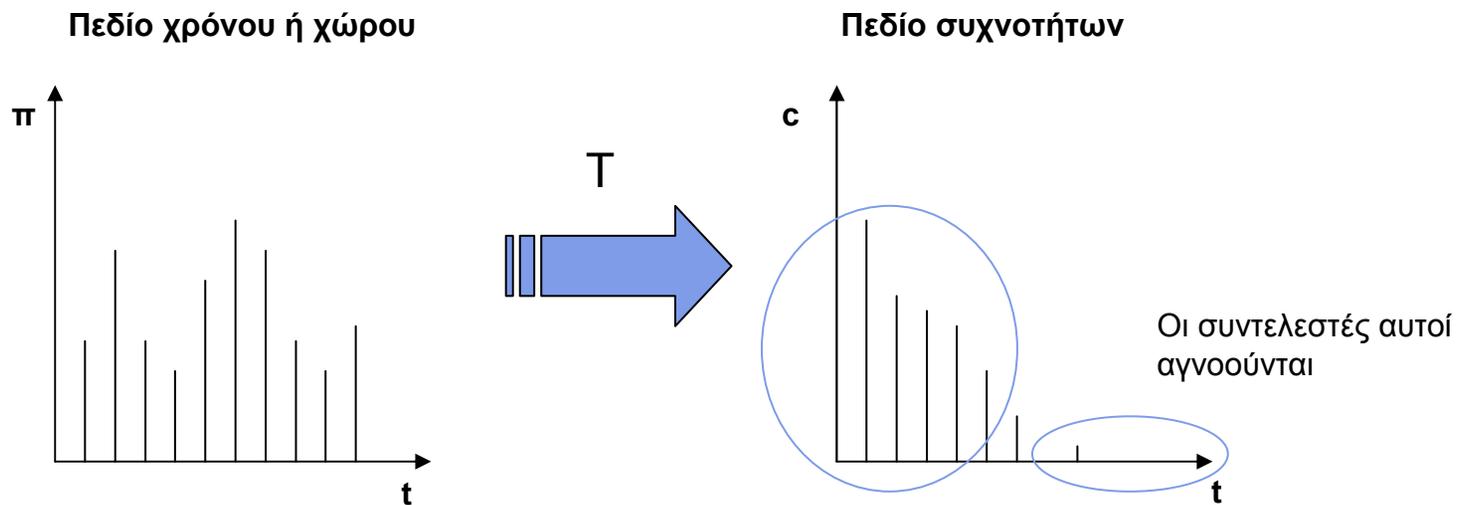


Συμπίεση και Μετάδοση Πολυμέσων



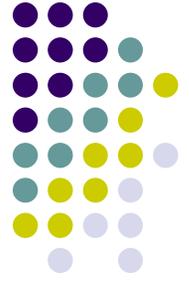
Μετασχηματισμοί Fourier

- Χαμηλές συχνότητες
 - περιγραφή με μεγάλη ακρίβεια
- Υψηλές συχνότητες
 - περιγραφή με μικρή ακρίβεια
 - απαλοιφή από την τελική πληροφορία



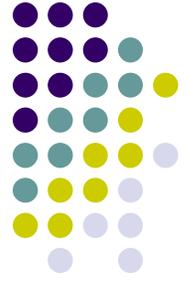
Οι σημαντικότεροι συντελεστές για πολλούς τύπους Πληροφορίας συγκεντρώνονται στις χαμηλές συχνότητες

Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου



- Ο «Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου» (Discrete Cosine Transform, DCT) εφαρμόζεται συνήθως για την συμπίεση σημάτων εικόνας και ήχου
 - Ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός μετατρέπει το διακριτό σήμα (δηλ. τις τιμές των δειγμάτων) σε μια σειρά από απλές ακέραιες τιμές (τους συντελεστές του μετασχηματισμού) που αποτελούν τα πλάτη των συχνοτήτων που το συνθέτουν.
 - Στη συνέχεια είναι εύκολο να μηδενίσει κανείς τους μικρότερους συντελεστές και να επιτύχει έτσι σημαντική συμπίεση.
- Η τεχνική αυτή αποτελεί τη βάση των λεγόμενων ψυχοφυσιολογικών συμπιεστών (JPEG, MPEG).

Προβλεπτική Κωδικοποίηση



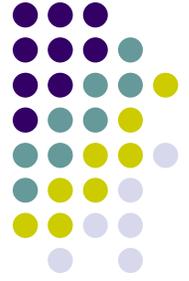
- Βασικές αρχές
 - Όπως όλες οι τεχνικές πρόβλεψης (predictive techniques), βασίζεται στην πρόβλεψη (με βάση τις προηγούμενες τιμές δειγμάτων) του ποια θα είναι η επόμενη τιμή του δείγματος
 - Κωδικοποιείται η διαφορά της πρόβλεψης από την πραγματική τιμή
 - Εκμετάλλευση του γεγονότος ότι συνεχόμενα δείγματα (λόγω της συχνότητας δειγματοληψίας) θα έχουν παρόμοιες τιμές.
- Υλοποίηση
 - Χρησιμοποιείται συνήθως σε κωδικοποίηση μονοδιάστατων σημάτων (ήχος) και κωδικοποιεί ένα δείγμα ως διαφορά από το προηγούμενό του.
 - Λόγω του ότι η διαφορά αυτή είναι πολλές φορές μικρή ή ανύπαρκτη, η κωδικοποίηση των διαφορών μπορεί να γίνει μόνο με 4 bits χωρίς απώλεια πληροφοριών
- Μειονέκτημα
 - Σε περιπτώσεις μεγάλων διαφορών ανάμεσα σε γειτονικά δείγματα χάνεται πληροφορία

Μέθοδοι προβλεπτικής κωδικοποίησης



- Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (Differential Pulse Code Modulation - DPCM)
 - Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των τιμών των δειγμάτων είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της κωδικοποίησης. Η προβλεπόμενη τιμή κάθε δείγματος είναι απλά η τιμή του προηγούμενου δείγματος.
 - Δηλαδή για τη χρονική στιγμή t θα κωδικοποιηθεί η διαφορά των δειγμάτων $s(t) - s(t-1)$ όπου ως προβλεπόμενη τιμή έχει χρησιμοποιηθεί η τιμή του δείγματος $s(t-1)$ τη χρονική στιγμή $t-1$.
- Δέλτα διαμόρφωση (Delta Modulation - PCM)
 - Στη δέλτα διαμόρφωση, η διαφορά μεταξύ της προβλεπόμενης και της τρέχουσας τιμής του δείγματος κωδικοποιείται με ένα μόνο bit.
 - Αυτό σημαίνει ότι κάθε δείγμα μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο κατά ένα κβάντο (διάστημα δειγματοληψίας) από το προηγούμενο του. Αυτός ο περιορισμός οδηγεί σε μεγάλη οικονομία αλλά αν το σήμα αλλάζει γρήγορα θα υπάρχει μεγάλη απώλεια πληροφορίας. Άρα η δέλτα διαμόρφωση είναι κατάλληλη για σήματα χαμηλών συχνοτήτων τα οποία δειγματοληπτούνται με συχνότητα αρκετά μεγαλύτερη από τη συχνότητα Nyquist.

Μέθοδοι προβλεπτικής κωδικοποίησης

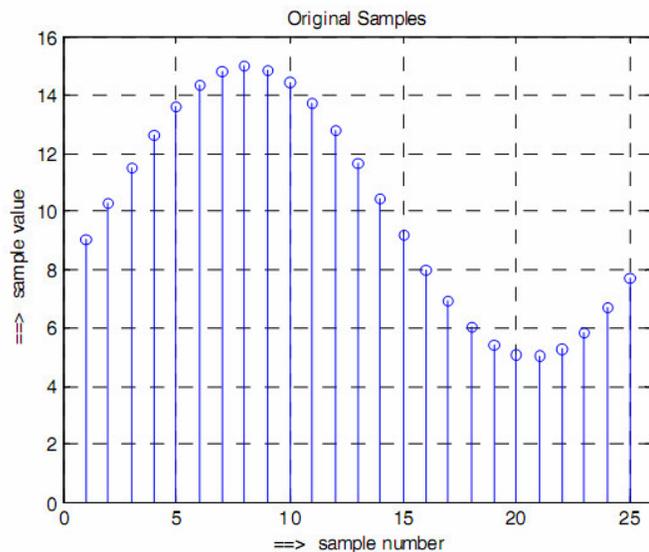


- Η προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (Adaptive DPCM - ADPCM)
 - Στην ADPCM, αντί να χρησιμοποιείται ένας σταθερός μηχανισμός πρόβλεψης, χρησιμοποιείται ένας δυναμικός μηχανισμός που προσαρμόζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προς δειγματοληψία σήματος.

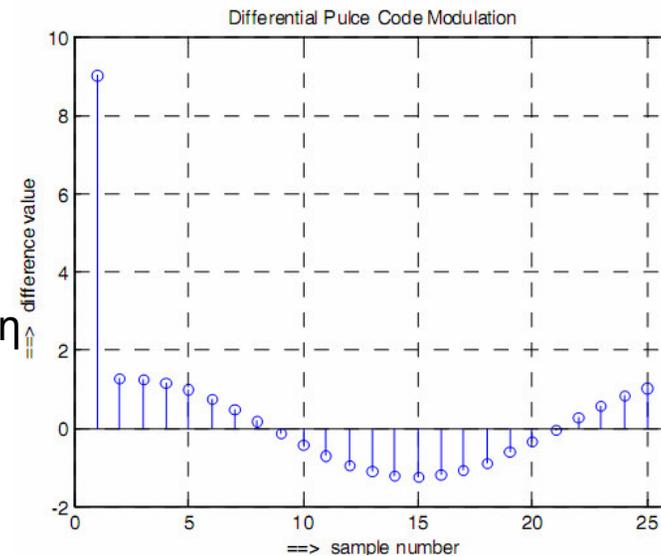
Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (DPCM)



- Η διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση έχει ακριβώς σαν βασική ιδέα την καταγραφή όχι της ακριβούς τιμής κάθε δεδομένου αλλά της διαφοράς του από μια πρόβλεψη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η πρόβλεψη για τη τιμή του δείγματος είναι η τιμή του προηγούμενου δείγματος:
- Παράδειγμα:
 - Αρχικά δεδομένα: 28 30 47 14 29 28 31 25 27 28 32 33 37 41 29
 - Δεδομένα μετά την κωδικοποίηση DPCM : 28 +2 +17 -33 +15 -1 +3 -6 +2 +1 +3 +1 +4 +4 -12



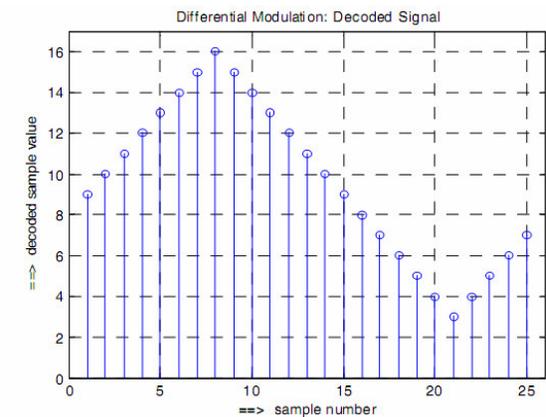
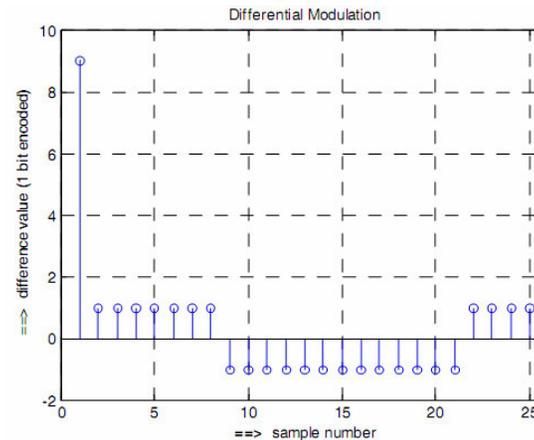
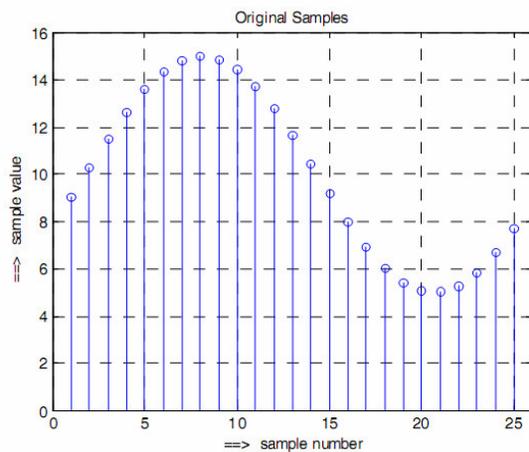
Κωδικοποίηση DPCM



Διαφορική Διαμόρφωση (Delta)



- Παράδειγμα (κβάντο = 2):
 - Αρχικά δεδομένα: 28 30 32 33 37 36 34 31 29
 - Δεδομένα μετά την κωδικοποίηση Delta : 28 1 1 1 1 0 0 0 0



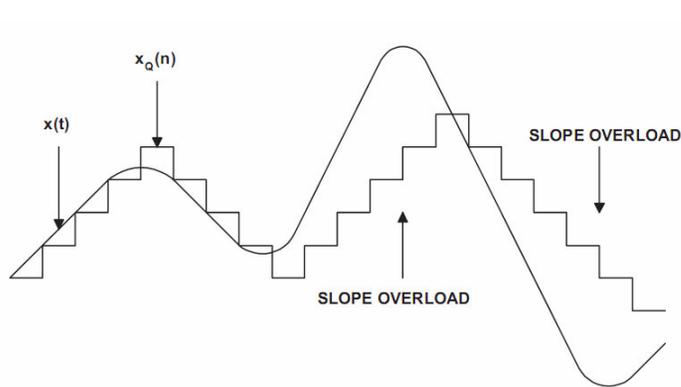
Κωδικοποίηση Delta



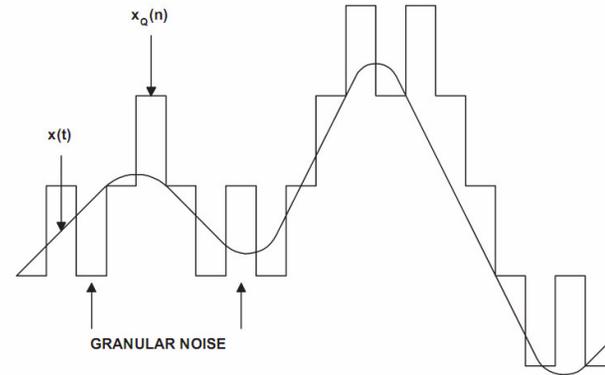
Αποκωδικοποίηση

Συμπύεση και Μετάδοση Πολυμέσων

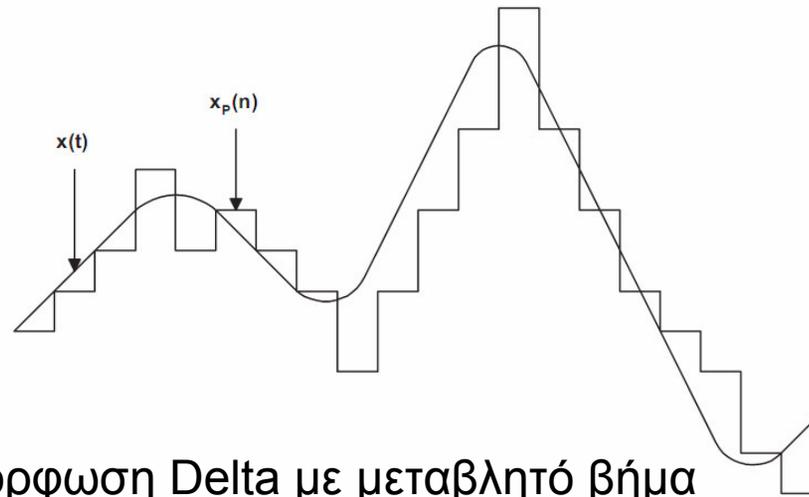
Διαφορική Διαμόρφωση (Delta)



Διαμόρφωση Delta με μικρό βήμα



Διαμόρφωση Delta με μεγάλο βήμα



Διαμόρφωση Delta με μεταβλητό βήμα



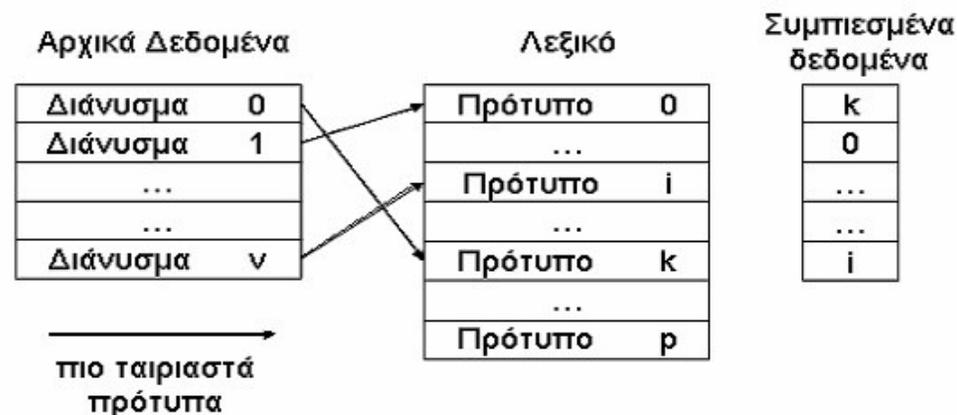
Διανυσματικός κβαντισμός

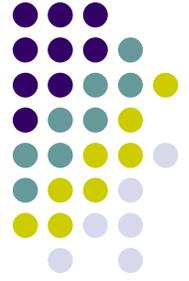
- Ο διανυσματικός κβαντισμός αποτελεί μια παραλλαγή της μεθόδου αντικατάστασης προτύπων στην οποία όμως επιτρέπονται απώλειες.
- Βασική αρχή
 - Τα δεδομένα χωρίζονται σε διανύσματα. Αντί να μεταδίδεται η πραγματική πληροφορία, μεταδίδεται η ετικέτα των πιο ταιριαστών προτύπων μέσα από ένα λεξικό.
- Ανάλυση
 - Τα δεδομένα χωρίζονται σε τμήματα που ονομάζονται διανύσματα. Για παράδειγμα, αν τα δεδομένα μας αποτελούν μια εικόνα, κάθε διάνυσμα μπορεί να είναι ένα τετράγωνο ή παραλληλόγραμμο τμήμα της εικόνας (κωδικοποίηση Quadtree).
 - Υπάρχει ένας πίνακας που περιέχει ένα σύνολο από πρότυπα διανύσματα (Look Up Table – LUT). Αυτός ο πίνακας αποτελεί το λεξικό της μεθόδου και πρέπει να είναι διαθέσιμο τόσο κατά την συμπίεση, όσο και την αποσυμπίεση των δεδομένων.



Διανυσματικός κβαντισμός

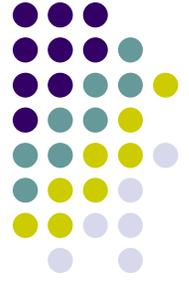
- Ανάλυση
 - Το λεξικό μπορεί να είναι προκαθορισμένο, δηλαδή το ίδιο σε όλες τις διαδικασίες συμπίεσης ή δυναμικό. Στην τελευταία περίπτωση, κάθε φορά που ξεκινά η συμπίεση των δεδομένων, ένα νέο λεξικό δημιουργείται.
 - Η συμπίεση έγκειται στην αντικατάσταση κάθε διανύσματος της αρχικής πληροφορίας με το πιο ταιριαστό από τα πρότυπα του λεξικού.
 - Κάνοντας χρήση του λεξικού, αντί για ολόκληρα τα πρότυπα, μόνο η ετικέτα τους ή ο αύξων αριθμός τους στο λεξικό είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί.





Συμπίεση με Fractals

- Νέα τεχνική συμπίεσης.
- Γεωμετρία fractals (B. Mandelbrot).
- Βασική αρχή
 - Η απλή γεωμετρία δε συναντάται στη φύση.
 - Σύνθετα σχήματα προκύπτουν από επανάληψη σε διάφορες κλίμακες και γωνίες κάποιων βασικών σχημάτων.
- Μορφές fractals περιγράφονται από μετασχηματισμούς (fractal transformations).
- Αρχική χρήση: δημιουργία εικόνων.



Συμπίεση με Fractals

- Υλοποίηση
 - Η εικόνα χωρίζεται σε μικρά τμήματα.
 - Αναζητούνται περιοχές που προκύπτουν με μετασχηματισμό fractal κάποιου μικρού τμήματος.
 - Επαναλαμβάνεται για όλα τα τμήματα της εικόνας.
- Στόχος
 - να περιγραφεί η εικόνα με σύνολο fractal transformations που θα καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο από την αρχική εικόνα.
- Ομοιότητα με διανυσματικό κβαντισμό.



Συμπίεση με Fractals

- Σύνολο μετασχηματισμών παίζει ρόλο στο μέγεθος του εικονικού λεξικού (virtual codebook).
 - Το λεξικό εξαρτάται από την εικόνα.
- Μπορεί να πετύχει συμπίεση 1000:1.
- Μειονέκτημα: η συμπίεση είναι επίπονη και απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ.

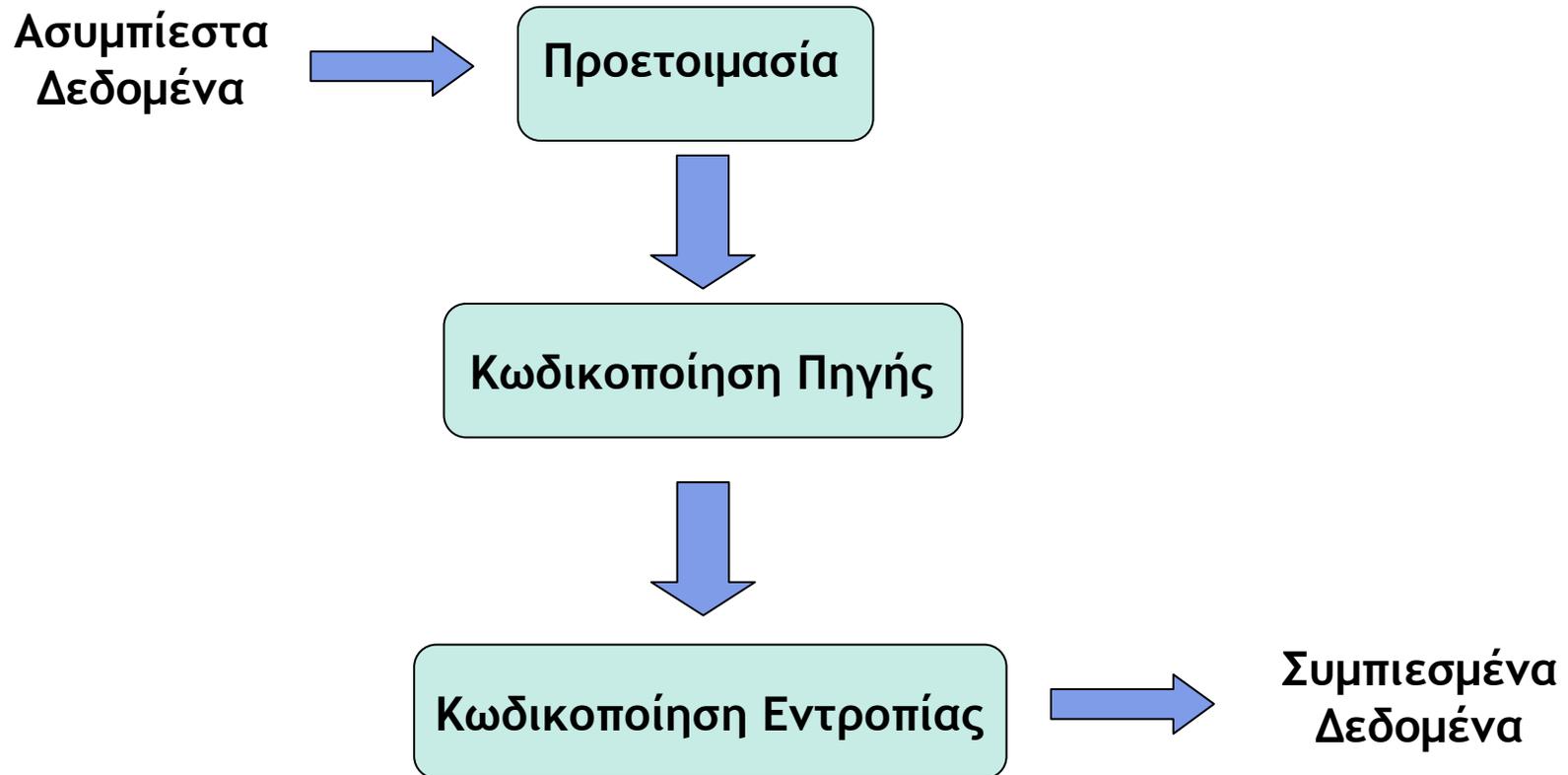
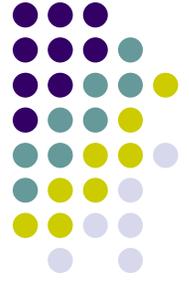


Υβριδικές Τεχνικές Συμπίεσης



- Αποτελούν συνδυασμό μεθόδων από τις άλλες κατηγορίες. Είναι επομένως στην ουσία συμπίεστές παρά αλγόριθμοι συμπίεσης
- Έχουν υλοποιηθεί από πολύ επιτυχημένα πρότυπα κωδικοποίησης (coding standards)
 - JPEG (Joint Photographic Experts Group)
 - Συνδυάζει κωδικοποίηση μετασχηματισμού (DCT) και μήκους διαδρομής(RLC)
 - H263:
 - Συνδυάζει κωδικοποίηση μετασχηματισμού (DCT), προβλεπτική (αντιστάθμιση κίνησης – MC: motion compensation) και μήκους διαδρομής (RLC)
 - MPEG (Moving Pictures Expert Group):
 - Συνδυάζει κωδικοποίηση μετασχηματισμού (DCT), προβλεπτική (αντιστάθμιση κίνησης – MC: motion compensation), μήκους διαδρομής (RLC) και στρωματοποίησης (Subband Coding) για την συμπίεση του ήχου (MP3)

Αρχιτεκτονική σχήματος συμπίεσης





Πρότυπο JPEG

- Χρησιμοποιείται κυρίως για κωδικοποίηση εικόνων (αποχρώσεων του γκρι ή έγχρωμες), αλλά και για βίντεο (Motion JPEG)
- Υλοποιείται μέσω είτε μόνο ειδικού λογισμικού είτε συνδυασμού λογισμικού και hardware (ειδικών καρτών)
- Ο χρήστης μπορεί να ορίσει
 - την ποιότητα της αποκωδικοποιημένης εικόνας,
 - το χρόνο επεξεργασίας της συμπίεσης
 - το μέγεθος της συμπίεσμένης εικόνας



Πρότυπο JPEG

- Εκτός από τις γενικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί κάθε τεχνική συμπίεσης, ισχύουν επίσης τα εξής:
 - Η τεχνική είναι ανεξάρτητη του μεγέθους ή του περιεχομένου της εικόνας και εφαρμόσιμη σε οποιοδήποτε είδος εικόνας και pixel aspect ratio (ζητήματα που επιλύονται κατά τη προετοιμασία δεδομένων)
 - Η αναπαράσταση των χρωμάτων πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τη συγκεκριμένη υλοποίηση της τεχνικής (ζητήματα που επιλύονται κατά τη προετοιμασία δεδομένων)
 - Ο βαθμός συμπίεσης και η ποιότητα της εικόνας που επιτυγχάνεται πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερα
 - Πρέπει να υποστηρίζεται σειριακή συμπίεση (γραμμή-γραμμή) και σταδιακή αποσυμπίεση (ραφινάρισμα) της εικόνας



Πρότυπο MPEG

- Χρησιμοποιείται για βίντεο και ήχο
- Διάφορα MPEG πρότυπα (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7, MPEG-21)
 - Το MPEG-1 επιτυγχάνει ρυθμούς της τάξης των 1.2 Mbits/sec (τυπικός ρυθμός δεδομένων για CD-ROMs).
 - το MPEG-2 ρυθμούς της τάξης των 40 Mbits/sec (τυπικός ρυθμός δεδομένων για HDTV)
- Βασίζεται στα πρότυπα JPEG και H.261
- Είναι κατάλληλο τόσο για συμμετρική όσο και ασύμμετρη συμπίεση
 - Η ασύμμετρη συμπίεση (asymmetric compression) απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο κατά τη διάρκεια της κωδικοποίησης παρά της αποκωδικοποίησης. Η συμπίεση γίνεται μία φορά, ενώ η αποκωδικοποίηση πολλές φορές
 - Η συμμετρική συμπίεση (symmetric compression) απαιτεί ίσο χρόνο για κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση. Οι εφαρμογές διαλογικού τύπου κάνουν χρήση αυτής της μεθόδου