

Συμπίεση Εικόνας

Τι είναι η συμπίεση

- **ΣΥΜΠΙΕΣΗ**

» Η διαδικασία που επανακωδικοποιεί την πληροφορία με στόχο να μεταδώσει (ή να αποθηκεύσει) το ίδιο περιεχόμενο αλλά με μικρότερη επιβάρυνση του καναλιού (ή σε μικρότερο αποθηκευτικό χώρο)

Αλγόριθμος Συμπίεσης & Συμπιεστής ή σχήμα συμπίεσης (compressor)

- Αλγόριθμος συμπίεσης είναι κάθε αλγόριθμος που έχει σαν στόχο την επίτευξη συμπίεσης των δεδομένων εισόδου.
 - Δηλ. ο αλγόριθμος εφαρμόζει μια απλή και συγκεκριμένη μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων ώστε να προκύψει μια περισσότερο συμπιεσμένη μορφή τους.
 - Πχ. αλγόριθμος Huffman
- Συμπιεστής (codec): γενικότερο σχήμα συμπίεσης (και αποσυμπίεσης)
 - περιλαμβάνει περισσότερους από έναν αλγόριθμους στη σειρά, δηλ. τα δεδομένα εξόδου του ενός να αποτελούν δεδομένα εισόδου του επόμενου.
 - Πχ. JPEG & MPEG

Γιατί χρειαζόμαστε τη συμπίεση στην εικόνα;

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

Ασυμπίεστα Δεδομένα - Παράδειγμα

- Μια εικόνα ανάλυσης 1024 x 768 εικονοστοιχείων με βάθος χρώματος 24 bit (δηλ. πληροφορία 24 bit για κάθε εικονοστοιχείο) δημιουργεί αρχείο μεγέθους:
 - $1024 \times 768 \times 24 = 18874368 \text{ bit} = 18 \text{ Mb} = 2,25 \text{ MB}$
- Ασυμπίεστο video αυτών των προδιαγραφών με 24 πλαίσια (εικόνες) ανά δευτερόλεπτο χρειάζεται αποθηκευτικό χώρο
 - $2,25 \text{ MB} \times 24 = 54 \text{ MB}$ ανά sec
- και για ένα φιλμ ψηφιακού video διάρκειας μιας ώρας απαιτείται χώρος
 - $54 \times 3600 = 190 \text{ GB}$ περίπου.

Συμπίεση οπτικής / πολυμεσικής πληροφορίας

- Η πληροφορία πολυμέσων προέρχεται από ψηφιοποίηση αναλογικών σημάτων του πραγματικού κόσμου και απευθύνεται στις ανθρώπινες αισθήσεις (όραση, ακοή)
- Μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τους φυσιολογικούς περιορισμούς των ανθρώπινων αισθητηρίων οργάνων (μάτι, αυτί) και να συμπιέσουμε την πληροφορία χωρίς να μειώσουμε αισθητά την ποιότητά της (ψυχοφυσιολογική συμπίεση)

Λόγος συμπίεσης (compression ratio)

- Εκφράζει την σχέση του χώρου που καταλαμβάνουν τα αρχικά δεδομένα ως προς τον χώρο που καταλαμβάνουν τα συμπιεσμένα δεδομένα.
- Ο λόγος συμπίεσης είναι ένας καθαρός αριθμός και δίνεται από τη σχέση:
 - **Λόγος συμπίεσης** = αρχικό μέγεθος δεδομένων / μέγεθος συμπιεσμένων δεδομένων
 - Για παράδειγμα, λόγος συμπίεσης «3 προς 1» (γράφεται 3:1) σημαίνει ότι η μετά τη συμπίεση το μέγεθος του αρχείου θα είναι το $\frac{1}{3}$ του αρχικού.

Ρυθμός συμπίεσης (compression rate)

Ρυθμός Συμπίεσης: Εκφράζει το ρυθμό μετάδοσης των συμπιεσμένων δεδομένων και μετριέται συνήθως σε bits per second (πχ. 128 kbps)

ή ακόμη και
σε bits per sample
bits per pixel

Μέθοδοι Συμπίεσης

Βασικές Μέθοδοι Συμπίεσης

(α) Συμπίεση (κωδικοποίηση) εντροπίας

- Εκμεταλλεύεται την μειωμένη εντροπία του ψηφιακού αρχείου (δηλ. στατιστική τάξη)
- Εφαρμόζεται κυρίως στο κείμενο
- Συνήθως μη απωλεστική συμπίεση

(β) Συμπίεση (κωδικοποίηση) πηγής

- Εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά του σήματος
- Εφαρμόζεται στην εικόνα, στο video, στον ήχο
- Συνήθως πωλεστική συμπίεση

Απωλεστική (lossy) & μη απωλεστική (lossless) συμπίεση

- **Μη απωλεστική συμπίεση**
 - η πληροφορία μετά την αποσυμπίεση είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που συμπιέστηκε αρχικά.
- **Απωλεστική συμπίεση**
 - η πληροφορία μετά την αποσυμπίεση είναι λιγότερη σε σχέση με αυτήν που συμπιέστηκε αρχικά
 - κάποια πληροφορία έχει χαθεί

Μη απωλεστική συμπίεση

- Η μη απωλεστική συμπίεση εξαλείφει τον πλεονασμό της πληροφορίας χωρίς να «θυσιάζει» κανένα δεδομένο
- Κλασσικό παράδειγμα ο γνωστός συμπιεστής WinZip
- Παράδειγμα : Αν η αρχική πληροφορία είχε τη μορφή
 - ΠΠΠΟΟΟΟΟΟΛΛΥΥΥΥΥΥΜΜΕΕΕΕΕΕΕΕΣΣΣΑΑΑΑΑΑΑ
- αφαιρώντας τον πλεονασμό συμπιέζεται
 - 3Π 6Ο 2Λ 7Υ 2Μ 8Ε 3Σ 7Α
- Κατά την αποκωδικοποίηση η πληροφορία αναπαράγεται με την αρχική της μορφή:
 - ΠΠΠΟΟΟΟΟΟΛΛΥΥΥΥΥΥΜΜΕΕΕΕΕΕΕΕΣΣΣΑΑΑΑΑΑΑ

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 αλλοιώνονται ουσιαστικά από την απώλεια κάποιων bit
- Παράδειγμα : Αν η αρχική πληροφορία είχε τη μορφή
 - ΠΠΠΟΟΟΟΟΟΛΛΥΥΥΥΥΥΜΜΕΕΕΕΕΕΕΕΣΣΣΑΑΑΑΑΑΑ
- Αφαιρώντας όλο τον πλεονασμό της πληροφορίας τη συμπιέζουμε με τη μορφή:
 - 3Π 6Ο 2Λ 7Υ 2Μ 8Ε 3Σ 7Α
- Αν όμως ο αλγόριθμος αγνοεί τις υψηλότερες συχνότητες (πχ. πάνω από το 5) τότε κωδικοποιεί ως εξής:
 - 3Π 5Ο 2Λ 5Υ 2Μ 5Ε 3Σ 5Α
- και η πληροφορία μετά την αποσυμπίεση έχει τη μορφή:
 - ΠΠΠΟΟΟΟΟΟΛΛΥΥΥΥΥΥΜΜΕΕΕΕΕΕΣΣΣΑΑΑΑΑ

Κωδικοποίηση Εντροπίας

Entropy encoding

Κωδικοποίηση Εντροπίας

- Αντιμετωπίζει την πληροφορία απλά σαν μια ακολουθία από bits.
- Η συμπίεση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή κάποιων στατιστικών μεθόδων.
- Κωδικοποίηση χωρίς απώλειες.
- Χρησιμοποιείται κυρίως στη συμπίεση κειμένου. Το κείμενο δεν είναι συνεχές μέσο. Επομένως, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αναλογικές τεχνικές για να προβλέψουμε και να συμπίεσουμε κείμενο.

Μέτρηση της ποσότητας πληροφορίας

- Ο αποθηκευτικός χώρος τον οποίο καταλαμβάνει ένα *αρχείο* συνήθως δεν αποτελεί μέτρο της πληροφορίας που παριστάνεται από τα δεδομένα του αρχείου, αλλά του χώρου που απαιτείται από τη συγκεκριμένη αναπαράσταση των δεδομένων.
- *Αν αποτελούσε, δεν θα υπήρχε η δυνατότητα συμπίεσης!*

Πώς μετράμε τη πληροφορία; Δύσκολο να δεχθούμε ότι υπάρχει αντικειμενικό μέτρο για το σημασιολογικό περιεχόμενο ενός κειμένου.

- *Η ποσότητα της πληροφορίας σχετίζεται όχι με το τι λέμε αλλά με το τι θα μπορούσαμε να πούμε.*
- *Η ποσότητα της πληροφορίας έχει άμεση σχέση με το μέγεθος της δυνατότητα επιλογής. Όση μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής υπάρχει, τόση περισσότερη πληροφορία απαιτείται για να εκφρασθεί το αποτέλεσμα της επιλογής.*

Εντροπία: αποτελεί μέτρο της τάξης (order) ή του πλεονασμού (redundancy) που υπάρχει σε ένα μήνυμα.

- Είναι μικρή όταν υπάρχει τάξη.
- Είναι μεγάλη όταν υπάρχει αταξία.
- Τυποποιεί την έννοια της ποσότητας της πληροφορίας ή της τυχαιότητας των δεδομένων.

Τυχαία δεδομένα δεν μπορούν να συμπιεσθούν.

Ιδανικά, το μήκος του κωδικοποιημένου μηνύματος πρέπει να είναι το πολύ ίσο με την εντροπία του μηνύματος.

Ορισμός: Έστω ότι έχουμε ένα σύνολο από n πιθανά να συμβούν γεγονότα με γνωστές πιθανότητες p_1, p_2, \dots, p_n , $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Η εντροπία $E(p_1, p_2, \dots, p_n)$ αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας που υπάρχει στην επιλογή ενός τέτοιου γεγονότος.

Ο Shannon έδειξε ότι $E(p_1, p_2, \dots, p_n) = -k \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$

Το k εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης της εντροπίας. Αν η μονάδα μέτρησης είναι το bit οπότε, $k=1$ και

$$E(p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Η ποσότητα της πληροφορίας (σε bits) που περιέχεται σε μία συγκεκριμένη επιλογή με πιθανότητα p_i είναι:

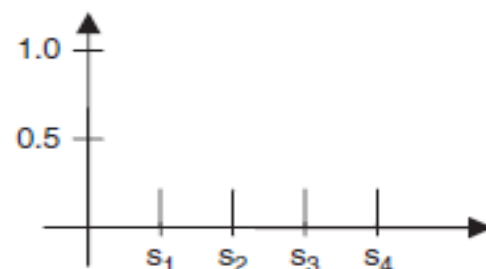
$$E_i = -\log_2 p_i$$

Γεγονότα με μεγαλύτερες πιθανότητες περιέχουν λιγότερη πληροφορία, έχουν μικρότερη εντροπία και μπορούν να συμπιεστούν περισσότερο.

$$P_i = \{0.25, 0.25, 0.25, 0.25\}$$

$$H = -(4 \times 0.25 \times \log_2 0.25)$$

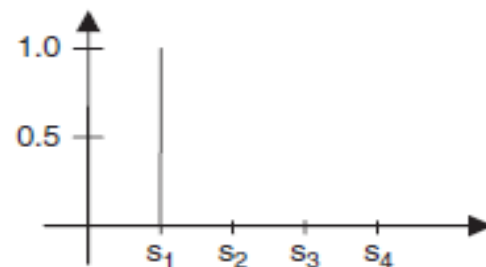
$$H = 2$$



$$P_i = \{1.0, 0.0, 0.0, 0.0\}$$

$$H = -(1 \times \log_2 1)$$

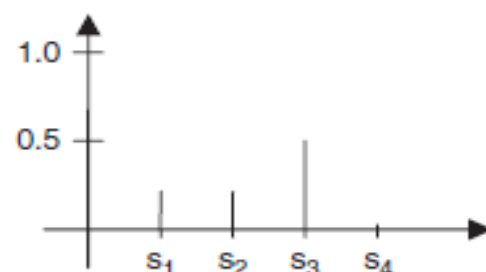
$$H = 0$$



$$P_i = \{0.25, 0.25, 0.5, 0.0\}$$

$$H = -(2 \times 0.25 \times \log_2 0.25 + 0.5 \times \log_2 0.5)$$

$$H = 1.5$$



$$P_i = \{0.125, 0.125, 0.25, 0.5\}$$

$$H = -(2 \times 0.125 \times \log_2 0.125 + 0.25 \times \log_2 0.25 + 0.5 \times \log_2 0.5)$$

$$H = 1.75$$

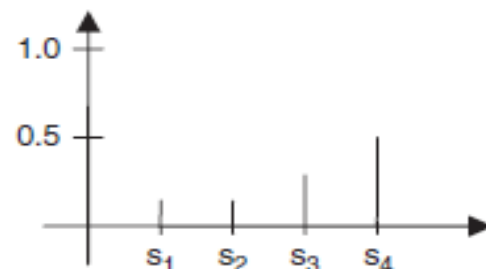


Figure 6-3 Entropy. Four examples of probability distribution for the symbols $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ and the corresponding entropies are shown. The first distribution with equal probability assignments for all symbols has the highest entropy.

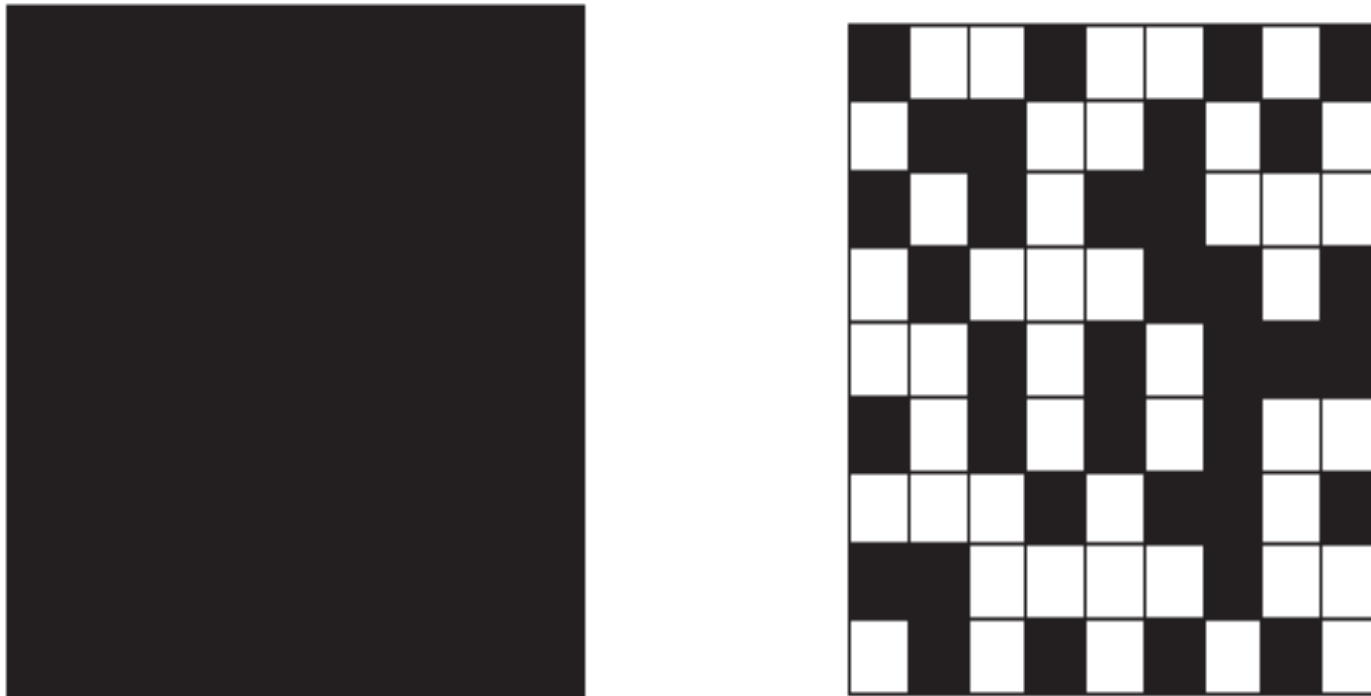


Figure 6-4 Two images are shown. The left image contains all black pixels and the information content is lower resulting in zero entropy. The right image contains roughly equal distribution of black and white pixels. The information content is higher in this case and the entropy evaluates to 1.

Παράδειγμα: Έστω ένα μήνυμα με 1000 τυχαία άλφα (α) και βήτα (β). Οι δύο χαρακτήρες (α και β) έχουν πιθανότητα $\frac{1}{2}$ να εμφανισθούν σε κάθε θέση του μηνύματος.

- Η πιθανότητα κάθε τέτοιου μηνύματος είναι 2^{-1000} .
- Η εντροπία κάθε τέτοιου μηνύματος είναι 1000 bits.

Επομένως, 1000 bits είναι αναμενόμενο να είναι η ποσότητα πληροφορίας που περιέχει ένα τέτοιο μήνυμα δηλαδή το μήκος του κωδικοποιημένου μηνύματος δε μπορεί να είναι λιγότερο από 1000.

Προκειμένου να γίνει συμπίεση κειμένου...

Βήματα πριν τη συμπίεση

- 1. Προσδιορισμός των πιθανών μηνυμάτων και ανάθεση πιθανοτήτων στα μηνύματα (αυτό αποτελεί έργο του προτύπου).**
- 2. Εκτέλεση της συμπίεσης**

Ανάθεση ενός κώδικα σε κάθε μήνυμα λαμβάνοντας υπόψη την εντροπία των μηνυμάτων. Σύμφωνα με τη Θεωρία της «χωρίς θόρυβο κωδικοποίηση πηγής» του Shannon:

Ο μέσος όρος των δυαδικών συμβόλων για κάθε πηγή μπορεί να προσεγγίσει την εντροπία της πηγής.

Στην πράξη κανένας κώδικας δεν μπορεί να είναι καλύτερος από την τιμή που προσδιορίζει η εντροπία της πηγής.

Πως προσδιορίζουμε πιθανότητες για τα μηνύματα;

- Χρησιμοποιώντας τα πρότυπα.

Πόσο συχνά αλλάζει το πρότυπο;

3 τρόποι διατήρησης του ίδιου προτύπου από τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή.

- **Στατική προτυποποίηση (static modeling):** ο κωδικοποιητής και ο αποκωδικοποιητής συμφωνούν σε ένα σταθερό πρότυπο το οποίο διατηρούν άσχετα από το είδος του κειμένου που κωδικοποιείται.
- **Ημιπροσαρμοζόμενη προτυποποίηση (semiadaptive modeling):** Μαζί με το κωδικοποιημένο κείμενο στέλνεται στον παραλήπτη (και στον αποκωδικοποιητή) και το πρότυπο σύμφωνα με το οποίο έγινε η κωδικοποίηση (π.χ. ένα βιβλίο κωδικών – codebook – με τις λέξεις που χρησιμοποιούνται πιο πολύ στο κείμενο).
- **Προσαρμοζόμενη προτυποποίηση (adaptive modeling):** Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για κάθε χαρακτήρα (ή λέξη, ή φράση) βασίζεται στο κείμενο που έχει ήδη κωδικοποιηθεί. Δεν στέλνεται βιβλίο κωδικών στον παραλήπτη, αλλά φτιάχνεται δυναμικά τόσο στον αποστολέα όσο και στον παραλήπτη με βάση το κείμενο που κωδικοποιείται.

Κωδικοποίηση Εντροπίας

Δύο βασικές κατηγορίες

- **(1) Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων ακολουθιών (Suppression of repetitive sequences)**
- **(2) Στατιστική Κωδικοποίηση (Statistical encoding)**

Κωδικοποίηση RLE (Run Length Encoding)

Βασική Ιδέα: Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων ακολουθιών

- σε πολλές περιπτώσεις μέσα σε μια ομάδα δεδομένων εμφανίζεται το ίδιο σύμβολο να επαναλαμβάνεται πολλές φορές διαδοχικά.
- Η ακολουθία πολλαπλών εμφανίσεων του ίδιου συμβόλου αντικαθίσταται από δύο άλλα σύμβολα:
 - (α) το σύμβολο που εμφανίζεται, και
 - (β) το πλήθος των εμφανίσεων

Παράδειγμα συμπίεσης RLE

- Δεδομένα πριν & μετά την RLE συμπίεση

45 1 14 5 0 0 0 0 0 6 35 78 63 22 0 0 0 8 59 17 0 88



45 1 14 5 0 5 6 35 78 63 22 0 3 8 59 17 0 1 88

Κωδικοποίηση Huffman

- Μία στατιστική μέθοδος συμπίεσης η οποία μειώνει το μέσο μήκος του κώδικα που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των χαρακτήρων ενός αλφαβήτου.
- Εντοπίζονται οι περισσότερο συχνά εμφανιζόμενοι χαρακτήρες μέσα στο «κείμενο» των συμβόλων και αντιστοιχούνται σε κωδικούς με λιγότερα bits.
- Προκύπτει ένα «λεξικό» κωδικών
 - οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι χαρακτήρες έχουν μικρότερους κωδικούς, ενώ οι πιο σπάνια μεγαλύτερους
 - Κατά την αποσυμπίεση της πληροφορίας ο αποκωδικοποιητής χρησιμοποιεί το «λεξικό» ώστε να μετατρέψει και πάλι τους κωδικούς σε χαρακτήρες

Κωδικοποίηση Huffman

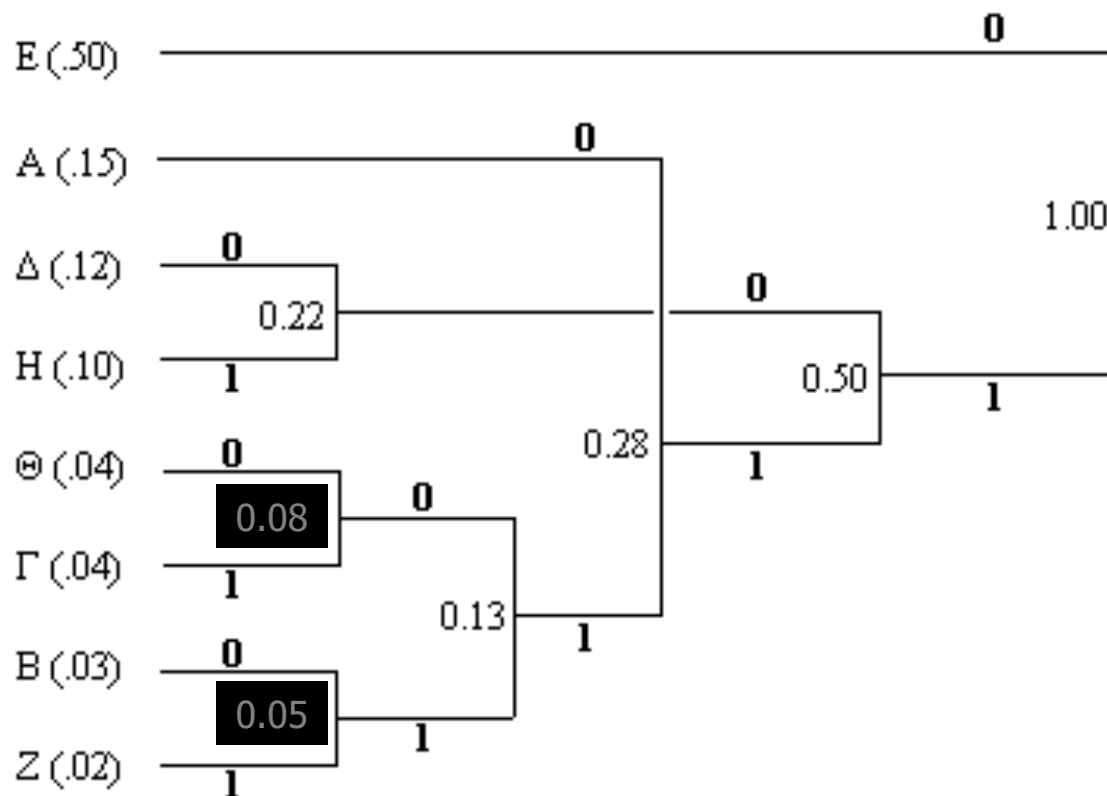
Ο κώδικας Huffman κατασκευάζεται ως εξής:

1. Οι χαρακτήρες κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης στο κείμενο.
2. Προσδιορίζονται οι 2 χαρακτήρες με τις μικρότερες πιθανότητες.
3. Οι χαρακτήρες αυτοί αντικαθίστανται από ένα σύνθετο χαρακτήρα με πιθανότητα εμφάνισης ίση με το άθροισμα των ατομικών πιθανοτήτων των δύο χαρακτήρων. Δημιουργείται ένας κόμβος με παιδιά τους δύο αρχικούς χαρακτήρες.
4. Τα βήματα 1, 2 και 3 επαναλαμβάνονται έως ότου μείνει ένας μόνο χαρακτήρας. Στο τέλος της διαδικασίας θα έχει κατασκευασθεί ένα δένδρο του οποίου κάθε κόμβος v θα αντιστοιχεί σε ένα σύνθετο χαρακτήρα με πιθανότητα ίση με το άθροισμα των πιθανοτήτων όλων των φύλλων του υποδένδρου με ρίζα το v .
5. Γίνεται διαπέραση του δένδρου αυτού από τη ρίζα σε κάθε φύλλο καταγράφοντας 0 για κάθε αριστερή διακλάδωση και 1 για κάθε δεξιά διακλάδωση.

Ιδιότητα της κωδικοποίησης Huffman : Κανένας κώδικας δεν αποτελεί πρόθεμα άλλου.

Παράδειγμα κωδικοποίησης Huffman (1/2)

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

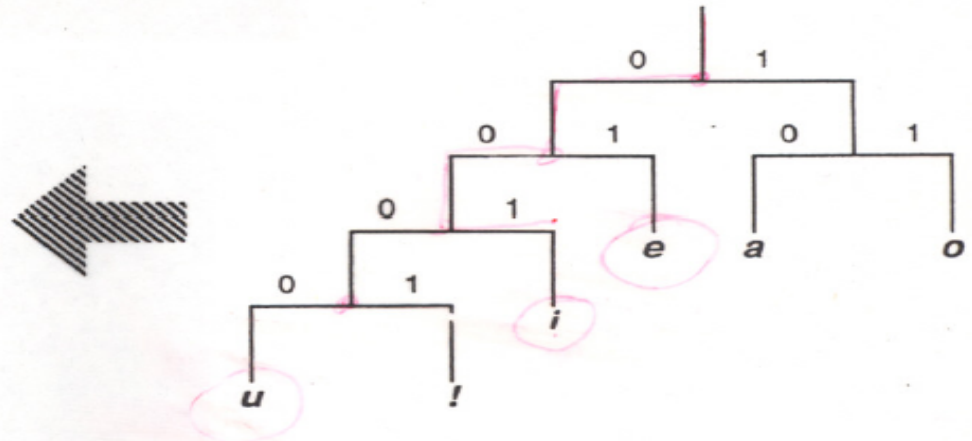


Παράδειγμα κωδικοποίησης Huffman (2/2)

Σύμβολο	Πιθανότητα εμφάνισης p	Δυνατός κωδικός Huffman	Πλήθος 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

Παράδειγμα κωδικοποίησης Huffman

symbol	probability	code
<i>a</i>	0.2	10
<i>e</i>	0.3	01
<i>i</i>	0.1	001
<i>o</i>	0.2	11
<i>u</i>	0.1	0000
<i>!</i>	0.1	0001



grouping

<i>e</i> 0.3	<i>e</i> 0.3	<i>e</i> 0.3	{ <i>a</i> , <i>o</i> } 0.4	{{ <i>u</i> , <i>!</i> }, <i>i</i> }, <i>e</i> } 0.6	{{{{ <i>u</i> , <i>!</i> }, <i>i</i> }, <i>e</i> }, { <i>a</i> , <i>o</i> }} 1.0
<i>a</i> 0.2	<i>a</i> 0.2	{{ <i>u</i> , <i>!</i> }, <i>i</i> } 0.3	<i>e</i> 0.3	{ <i>a</i> , <i>o</i> } 0.4	
<i>o</i> 0.2	<i>o</i> 0.2	<i>a</i> 0.2	{{ <i>u</i> , <i>!</i> }, <i>i</i> } 0.3		
<i>i</i> 0.1	{{ <i>u</i> , <i>!</i> } 0.2	<i>o</i> 0.2			
<i>u</i> 0.1	<i>i</i> 0.1				
<i>!</i> 0.1					

Κωδικοποίηση Shannon-Fano

Ο κώδικας Shannon-Fano κατασκευάζεται ως εξής:

- 1. Οι χαρακτήρες κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης στο κείμενο.**
- 2. Το σύνολο των χαρακτήρων χωρίζεται σε δύο υποσύνολα με την ίδια περίπου συνολική πιθανότητα των χαρακτήρων**
- 3. Στο πρώτο υποσύνολο αντιστοιχούμε το 0 και στο δεύτερο το 1**
- 4. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 και 3 σε κάθε υποσύνολο έως ότου κάθε υποσύνολο να περιέχει έναν χαρακτήρα**

Παράδειγμα κωδικοποίησης Shannon-Fano

symbol	probability
<i>a</i>	0.2
<i>e</i>	0.3
<i>i</i>	0.1
<i>o</i>	0.2
<i>u</i>	0.1
<i>!</i>	0.1

code
01
00
101
100
110
111



ordered list	
<i>e</i>	0.3
<i>a</i>	0.2
<i>o</i>	0.2
<i>i</i>	0.1
<i>u</i>	0.1
<i>!</i>	0.1

grouping		
0.5	0.3	
	0.2	
0.5		0.2
	0.3	0.1
		0.1
	0.2	0.1



code
00
01
100
101
110
111

Εντροπία και Μέση τιμή κώδικα σταθερού μήκους, Shannon-Fano, Huffman

symbol	Source		Fixed-length		Shannon/Fano		Huffman	
	prob	$-p \times \log p$	code	$p \times \text{length}$	code	$p \times \text{length}$	code	$p \times \text{length}$
<i>a</i>	0.2	0.46	000	0.6	01	0.4	10	0.4
<i>e</i>	0.3	0.52	001	0.9	00	0.6	01	0.6
<i>i</i>	0.1	0.33	010	0.3	101	0.3	001	0.3
<i>o</i>	0.2	0.46	011	0.6	100	0.6	11	0.4
<i>u</i>	0.1	0.33	100	0.3	110	0.3	0000	0.4
<i>!</i>	0.1	0.33	101	0.3	111	0.3	0001	0.4
		<u>2.43</u>		<u>3.0</u>		<u>2.5</u>		<u>2.5</u>

Αναφορές

- Δημητριάδης, Σ., Τριανταφύλλου, Ε., & Πομπόρτσης, Α. (2003). Τεχνολογία Πολυμέσων: Θεωρία και Πράξη. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Havaladar, P., & Medioni, G. G. (2009). Multimedia Systems: Algorithms, Standards, and Industry Practices. CengageBrain.com.

**Οι παρούσες διαφάνειες βασίζονται στις διαφάνειες της
Καθηγήτριας κας Γραμματής Πάντζιου για το μάθημα «Τεχνολογία
Πολυμέσων»**