

University of Cyprus
Biomedical Imaging & Applied Optics

Κεφάλαιο 8

Συμπίεση Εικόνας (Image Compression)

Συμπίεση Εικόνας

- Μείωση του όγκου των δεδομένων**
 - Μείωση των πλεονάζων (redundant) δεδομένων
 - Τα εικονοστοιχεία μετατρέπονται σε ένα πίνακα ασυσχέτιστων (uncorrelated) δεδομένων
- Shannon, 1940**
 - Πιθανολογική (probabilistic) εξέταση του θέματος
- Δεδομένα (data) και Πληροφορία (information)**
 - Δεν είναι κατ' ανάγκη συνώνυμα
 - Πλεονασμός δεδομένων (data redundancy)

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R}$$

$$C_R = \frac{n_1}{n_2}$$

- $n_2 = n_1, R_D = 0$

- Πλεονασμός**
 - Κωδικοποίησης (coding)
 - Ανάμεσα στα εικονοστοιχεία (interpixel)
 - Ψυχο-οπτικός (psychovisual)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Πλεονασμός Κωδικοποίησης (Coding Redundancy)

- Αριθμός δυαδικών ψηφίων**
 - Καθορίζουν κάθε επίπεδο
 - Μπορεί να μην είναι ο ίδιος για κάθε επίπεδο
 - Χρησιμοποιούμε λιγότερα ψηφία για τις τιμές που είναι πιο συχνές
- Μέσος όρος αριθμού ψηφίων ανά εικονοστοιχείο**

$$L_{avg} = \sum_{k=0}^{L-1} l(r_k) p_r(r_k)$$

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$
 - $l(r_k)$: αριθμός ψηφίων που χρησιμοποιούνται για το επίπεδο r_k
 - $p(r_k)$: Πιθανότητα το επίπεδο r_k να παρουσιαστεί
- Παράδειγμα**
 - Κωδικοποίηση μεταβλητού μήκους (variable-length coding)
 - $L_{avg} = 3$ για τον κώδικα 1
 - $L_{avg} = 2.7$ για τον κώδικα 2
 - $R_D = 0.009$

r_k	$p(r_k)$	Code 1	$l(r_k)$	Code 2	$l(r_k)$
$r_0 = 0$	0.25	000	3	11	2
$r_1 = 1/7$	0.25	001	3	01	2
$r_2 = 2/7$	0.21	010	3	10	2
$r_3 = 3/7$	0.36	011	3	001	3
$r_4 = 4/7$	0.06	100	3	1001	4
$r_5 = 5/7$	0.06	101	3	00001	5
$r_6 = 6/7$	0.03	110	3	000001	6
$r_7 = 7$	0.02	111	3	000000	6

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Πλεονασμός ανάμεσα στα εικονοστοιχεία (Interpixel Redundancy)

- Συσχέτιση (correlation)**
 - Μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα σε γειτονικά εικονοστοιχεία

$$\gamma(\Delta n) = \frac{A(\Delta n)}{A(0)}$$

$$A(\Delta n) = \frac{1}{N - \Delta n} \sum_{y=0}^{N-\Delta n} f(x, y) f(x, y + \Delta n)$$

- Κάθε εικονοστοιχείο περιγράφεται εύκολα από τις τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Πλεονασμός ανάμεσα στα εικονοστοιχεία (Interpixel Redundancy)

- Παράδειγμα**
 - Αντιστρέψιμη αντιστοίχιση (reversible mapping)
 - Η εικόνα διαμοιράζεται σε περιοχές
 - Τιμή
 - Μήκος
 - 12.166 περιοχές αντί 1024x343

$$C_R = \frac{(1024)(343)(1)}{(12166)(11)} = 2.63$$

$$R_D = 1 - \frac{1}{2.63} = 0.62$$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Ψυχο-οπτικός Πλεονασμός (Psychovisual Redundancy)

- Όραση**
 - Ανάλυση χαρακτηριστικών (features) και υφής (texture)
 - Συνδυασμός τους σε αναγνωρίσιμα αντικείμενα
 - Δεν γίνεται ανάλυση της τιμής κάθε εικονοστοιχείου
- Συμπίεση με βάση τον ψυχο-οπτικό πλεονασμό**
 - Μια μορφή κβάντισης (quantization)
 - Ευρετικές μέθοδοι (heuristic methods)
- Παράδειγμα**
 - Κβάντιση από 256 → 16
 - Συμπίεση 2:1
 - Τεχνητές σχιμές
 - Βελτιωμένη Κβάντιση Κλίμακας Γκρίζου (improved gray-scale (IGS) quantization)
 - Προστίθεται ψευδο-τυχαίος (pseudorandom) αριθμός με βάση τα γειτονικά εικονοστοιχεία
 - Παρουσιάζεται κάκωση αλλά το αποτέλεσμα είναι πιο αποδεκτό στο μάτι
 - Συμπίεση με απώλειες

Pixel	Gray Level	Sum	IGS Code
$i = 1$	N/A	000010000	N/A
i	01101100	011011000	0110
$i + 1$	10001011	10010111	1001
$i + 2$	10000111	10001110	1000
$i + 3$	11110100	111101000	1111

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Κριτήρια Πιστότητας (Fidelity Criteria)

- Κριτήρια πιστότητας**
 - Σε ποιο βαθμό έχει χαθεί πληροφορία;
 - Αντικειμενικά κριτήρια
 - Υποκειμενικά κριτήρια
- Αντικειμενικά Κριτήρια**
 - Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (root mean square error)

$$e_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x,y) - f(x,y)]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$
 - Μέσος τετραγωνικός λόγος σήματος-θορύβου

$$\text{SNR}_{\text{rms}} = \left[\frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}(x,y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x,y) - f(x,y)]^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$
- Υποκειμενικά Κριτήρια**
 - Απόλυτη κλίμακα (absolute scale)
 - Σχετική κλίμακα (relative scale)

Value	Rating	Description
1	Excellent	An image of extremely high quality, as good as you could desire.
2	Fine	An image of high quality, providing enjoyable viewing. Interference is not objectionable.
3	Passable	An image of acceptable quality. Interference is not objectionable.
4	Marginal	An image of poor quality, you wish you could improve it. Interference is somewhat objectionable.
5	Inferior	A very poor image, but you could watch it. Objectionable interference is definitely present.
6	Unusable	An image so bad that you could not watch it.

Value	Description
-3	Much worse than ...
-2	Worse than ...
-1	Slightly worse than ...
0	The same as ...
1	Slightly better than ...
2	Better than ...
3	Much Better than ...

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Συμπίεση Χωρίς Σφάλμα (Error-free Compression)

- Χρήσης**
 - Ιατρικά και επαγγελματικά αρχεία
 - Ιατρικές εικόνες
 - Εικόνες από δορυφόρους, κλπ
- Μέθοδοι**
 - Κωδικοποίησης
 - Μείωσης του πλεονασμού ανάμεσα στα εικονοστοιχεία
- Κωδικοποίηση μεταβλητού μήκους (variable-length coding)**
 - Huffman
 - Μικρότερος αριθμός συμβόλων
 - Μείωση του σήματος και κωδικοποίηση
 - Τείνει προς τον μικρότερο δυνατό αριθμό συμβόλων (εντροπία – entropy)
 - Τμηματικός (block), στιγμιαίος (instantaneous), μοναδικά αποκωδικοποιήσιμος (uniquely decodable)

Original source		Source reduction			
Symbol	Probability	1	2	3	4
a_1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
a_2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
a_3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
a_4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
a_5	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
a_6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Original source		Source reduction				
Sym.	Prob.	Code	1	2	3	4
a_1	0.4	1	0.4	1	0.4	1
a_2	0.3	00	0.3	00	0.3	00
a_3	0.1	001	0.1	001	0.1	001
a_4	0.1	0010	0.1	0010	0.1	0010
a_5	0.06	00101	0.06	00101	0.06	00101
a_6	0.04	0011	0.04	0011	0.04	0011

$L_{\text{avg}} = 2.2 \text{ bits/symbol}$
 $E = 2.14 \text{ bits/symbol}$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Συμπίεση Χωρίς Σφάλμα (Error-free Compression)

- Άλλες μέθοδοι κωδικοποίησης μεταβλητού μήκους**
 - Πιο γρήγορες
 - Λιγότερο βελτιστοποιημένες
- Huffman με αποκοπή (truncated huffman)**
 - Κωδικοποίηση Huffman μέχρι ενός αριθμού συμβόλων ψ
 - Μετά χρησιμοποιείται το σύμβολο για το $\psi+1$ συν η δυαδική τιμή του συμβόλου πλην την δυαδική τιμή του $\psi+1$
- Τμηματοποιημένος κώδικας (B-Code)**
 - Μοιράζει τα σύμβολα με δυαδικά ψηφία συνεχώς (continuation bits – C)
 - Εναλλάσσονται μεταξύ 0 και 1
- Δυαδική μετατόπιση (binary shift)**
 - Σύμβολα σε ομάδες
 - Δυαδική κωδικοποίηση κάθε ομάδας
 - Το επόμενο σύμβολο χρησιμοποιείται ως δείκτης
- Μετατόπιση Huffman (Huffman shift)**
 - Κωδικοποίηση Huffman
 - Όλα τα σύμβολα μετά την πρώτη ομάδα ως ένα $\rightarrow$ ο κωδικός αυτός χρησιμοποιείται ως δείκτης

Source Symbol	Binary Code	Huffman	Truncated Huffman	B-Code	Binary Shift	Huffman Shift
Block 1						
a_1	0.2	00000	10	11	C300	000
a_2	0.1	00001	110	011	C301	001
a_3	0.1	00010	111	000	C302	010
a_4	0.06	00011	0000	000	C303	011
a_5	0.05	00100	00000	00010	C30400	100
a_6	0.05	00101	00001	00011	C30501	101
a_7	0.05	00110	00010	00000	C30600	110
a_8	0.04	00111	00011	00001	C30601	111
a_9	0.04	01000	00100	00100	C30700	11001
a_{10}	0.04	01001	00101	00101	C30701	11010
a_{11}	0.04	01010	00110	00100	C30710	11011
a_{12}	0.05	01011	00101	00001	C30811	11100
a_{13}	0.05	01100	00110	100000	C30900	111101
a_{14}	0.05	01101	00111	100000	C30901	111110
a_{15}	0.05	01110	00100	100000	C30910	111111
a_{16}	0.02	01111	00000	100001	C30911	1111101
a_{17}	0.02	10000	00000	100000	C31000	11111101
a_{18}	0.02	10001	00000	100001	C31001	11111110
a_{19}	0.02	10010	00001	100000	C31010	11111111
a_{20}	0.02	10011	00100	100001	C31011	111111101
a_{21}	0.01	10010	00101	100000	C31010	111111110
a_{22}	0.01	10011	00101	100000	C31011	111111111
Block 2						
a_1	0.05	01110	00100	100000	C31010	111111110
a_2	0.02	01111	00000	100001	C31011	111111111
a_3	0.02	10000	00000	100000	C31000	1111111101
a_4	0.02	10001	00000	100001	C31001	1111111110
a_5	0.02	10010	00001	100000	C31010	1111111111
a_6	0.02	10011	00100	100001	C31011	11111111101
a_7	0.01	10010	00101	100000	C31010	11111111110
a_8	0.01	10011	00101	100000	C31011	11111111111
Block 3						
a_1	0.05	01110	00100	100000	C31010	111111110
a_2	0.02	01111	00000	100001	C31011	111111111
a_3	0.02	10000	00000	100000	C31000	1111111101
a_4	0.02	10001	00000	100001	C31001	1111111110
a_5	0.02	10010	00001	100000	C31010	1111111111
a_6	0.02	10011	00100	100001	C31011	11111111101
a_7	0.01	10010	00101	100000	C31010	11111111110
a_8	0.01	10011	00101	100000	C31011	11111111111
Entropy 4.05						
Average length 5.0 4.05 4.24 4.05 4.39 4.13						

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Συμπίεση Χωρίς Σφάλμα (Error-free Compression)

- Αριθμητική κωδικοποίηση (arithmetic coding)**
 - Κάθε μήνυμα συμβολίζεται με ένα πραγματικό αριθμό
 - Όσο μεγαλύτερο το μήνυμα τόσο περισσότερα δεκαδικά ψηφία χρειάζονται
- Διαδικασία**
 - Διαμοιρασμός
 - Σύμβολο στο τέλος του μηνύματος
- Επίδοση**
 - Τείνει προς την εντροπία
 - Δεν φτάνει την εντροπία
 - Πεπερασμένη ακρίβεια
 - Σύμβολο στο τέλος του μηνύματος

Source Symbol	Probability	Initial Subinterval
a_1	0.2	[0.0, 0.2)
a_2	0.2	[0.2, 0.4)
a_3	0.4	[0.4, 0.8)
a_4	0.2	[0.8, 1.0)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Συμπίεση Χωρίς Σφάλμα (Error-free Compression)

- Κωδικοποίηση LZW**
 - Διπλότυπα ευρεστέχνιας
 - Χρησιμοποιείται σε GIF, TIFF, PDF
- Διαδικασία**
 - Κάθε εικονοστοιχείο από αριστερά προς δεξιά και πάνω προς κάτω
 - Κατασκευάζεται "λεξικό" (dictionary) με καινούργιες σειρές
 - Κάθε γνωστή σειρά αντικαθίσταται από την διεύθυνση του λεξικού
 - Παράδειγμα
 - 16 x 8 bit $\rightarrow$ 10 x 9 bit
 - Συμπίεση 1.42:1

Pixel Being Processed	Encoded Output	Dictionary Location (Code Word)	Dictionary Entry
39	39	256	39-39
126	39	257	39-126
126	126	258	126-126
39	126	259	126-39
39	258	260	39-39-126
126	258	261	126-126-39
39	260	262	39-39-126-126
39	260	263	126-39-39
126	257	264	39-126-126
126	126		

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Συμπίεση Χωρίς Σφάλμα (Error-free Compression)

- Κωδικοποίηση δυαδικών επιπέδων (bit-plane coding)**
 - Διαχωρισμός
 - Δυαδικών επιπέδων (bit-planes)

$$a_{m-1}2^{m-1} + a_{m-2}2^{m-2} + \dots + a_12^1 + a_02^0$$
 - μεγάλη διαφορά γειτονικών τιμών (π.χ. 127 $\rightarrow$ 01111111 και 128 $\rightarrow$ 10000000)
 - Επιπέδων κώδικα γκερνού

$$g_i = a_i \text{ XOR } a_{i+1} \quad 0 \leq i \leq m-1$$

$$g_{m-1} = a_{m-1}$$
- Συμπίεση κάθε δυαδικού επιπέδου
- Κωδικοποίηση ομοιόμορφων περιοχών (constant area encoding)
 - Διαμοιρασμός τις εικόνες σε μικρότερα τμήματα $\rightarrow$ άσπρα, μαύρα, ανάμεικτα
 - Κωδικοποίηση με 0 του πιο συχνού και 1 των άλλων δυο
 - Τον κωδικό των ανέμεκτων ακολουθεί το ακριβές δυαδικό μοτίβο (bit pattern)
 - Αν η εικόνα είναι κυρίως άσπρη μπορούμε να κωδικοποιήσουμε τις άσπρες περιοχές σαν 0 και τις υπόλοιπες 1 ακολουθούμενες από δυαδικό μοτίβο.
 - Μπορεί να γίνει και επαναληπτικά
 - κάθε φορά μη-επηρεάζονται εκτός διαστήματος σε μικρότερα κομμάτια (μέχρι ένα όριο)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

