



Computer Science Department
Bogor Agricultural University
<http://cs.ipb.ac.id/>

Pemampatan Citra

Pertemuan 13

Topik

1. Fundamentals
2. Teori Informasi



Topik

1. Fundamentals
2. Teori Informasi



Kendala Data Citra Dijital

- Mengapa perlu kompresi dan reduksi data?
 - Data citra umumnya berukuran besar
 - Tidak praktis dalam aspek penyimpanan, proses dan transmisi
 - Perlu reduksi atau pemampatan data dengan mengurangi *redundancy* atau duplikasi data
- ***Data redundancy:***
 - adalah bagian data yang tidak mengandung informasi terkait atau merupakan pengulangan dari informasi yang sudah dinyatakan sebelumnya atau sudah diketahui

Contoh Aplikasi

- Aplikasi yang membutuhkan image compression: dimana perkembangannya ditentukan oleh efisiensi pada manipulasi data, penyimpanan, dan transmisi citra biner / monokrom / berwarna:
 - Televideo-conferencing
 - Remote sensing
 - Telemedical / Medical imaging
 - Facsimile transmission

Data dan Informasi

- Pengertian data dan informasi:
 - Berita ‘pertandingan’ AFF Indonesia vs Thailand di muat di koran. Kata-kata yang membentuk berita tersebut disebut data.
 - Informasi diturunkan dari data. Isi berita tentang ‘pertandingan’ tersebut merupakan suatu informasi.
 - Informasi yang sama dapat direpresentasi dalam bentuk data yang berbeda. Bandingkan antara informasi ‘pertandingan’ tersebut yang ditulis di koran dan yang ditayangkan di TV.

2 Kategori Teknik Kompresi Citra

- Information preserving (lossless compression): teknik yang memproses data asli menjadi bentuk yang lebih ringkas tanpa hilangnya informasi. Contoh: Aplikasi biomedis.
- Lossy compression: teknik mendapatkan data yang lebih ringkas dengan melalui suatu proses penghampiran (aproksimasi) dari data asli dengan tingkat error yang dapat diterima. Contoh: TV broadcast.

Konsep *Data Redundancy*

- Tidak abstrak dan dapat dinyatakan dalam entitas besaran matematis
- Relative data redundancy R_D :

$$R_D = 1 - 1/C_R \quad \text{dan} \quad C_R = n_1/n_2$$

n_1 dan n_2 : jumlah satuan informasi yang dibawa data set 1 dan data set 2.

Bila $n_1 = n_2$, maka $C_R = 1$ dan $R_D = 0$ (tidak ada redundancy).

Bila $n_2 \ll n_1$, maka C_R mendekati tak terhingga dan R_D mendekati 1 (terjadi redundancy yang tinggi).

Bila $n_2 \gg n_1$, maka C_R mendekati 0 dan R_D mendekati minus tak terhingga (informasi yang dibawa data set 2 jauh lebih besar dari data set 1)

Bila $0 < C_R < 1$ dan R_D rendah (tingkat redundancy rendah).

Data Redundancy

- Ada 3 jenis data redundancy pada citra:
 - Coding redundancy
 - Interpixel redundancy
 - Psychovisual redundancy
- Suatu data dikatakan terkompresi jika satu atau lebih redundancy tersebut bisa dikurangi atau dihilangkan.

Coding redundancy (1)

- Terjadi bila suatu kode simbol yang digunakan terdiri dari sejumlah bit yang melebihi jumlah bit yang diperlukan untuk representasi setiap simbol (dalam hal ini: tingkat keabuan piksel citra).

Coding redundancy (2)

- Fixed-length versus variable-length coding:*

r_K	$p(r_K)$	fixed	$L(r_K)$	variable	$L(r_K)$
0	0.19	000	3	11	2
1/7	0.25	001	3	01	2
2/7	0.21	010	3	10	2
3/7	0.16	011	3	001	3
4/7	0.08	100	3	0001	4
5/7	0.06	101	3	00000	5
6/7	0.03	110	3	000010	6
1	0.02	111	3	000011	6

Coding redundancy (3)

- Tingkat keabuan yang probabilitas terjadinya tinggi diberi panjang kode yang pendek, dan bila sebaliknya diberi kode yang panjang.

- Bila digunakan variable-length coding, panjang kode rata-rata:

$$L_{AVE} = \sum_{K=0}^7 L(r_K) p(r_K) = 2.7bits$$

- Bila digunakan fixed-length coding 3 bits, tingkat redundancy-nya adalah:

$$R_D = 1 - 1/C_R = 1 - 1/(3/2.7) = 0.099 \text{ (sekitar 10\%)}$$

Huffman Coding (1)

- Contoh variable-length coding → Huffman Coding
- The idea of Huffman coding is simple.
- Rather than using a fixed length code (8 bits) to represent the grey values in an image, we use a variable length code, with smaller length codes corresponding to more probable grey values.

Huffman Coding (3)

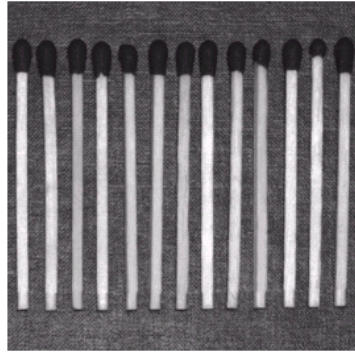
- To obtain the Huffman code for a given image we proceed as follows:
 - Determine the probabilities of each grey value in the image.
 - Form a binary tree by adding probabilities two at a time, always taking the two lowest available values.
 - Now assign 0 and 1 arbitrarily to each branch of the tree from its apex.
 - Read the codes from the top down

Huffman Coding (4)

Original source		Source reduction			
Symbol	Probability	1	2	3	4
a_2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6
a_6	0.3	0.3	0.3	0.3	
a_1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
a_4	0.1	0.1			
a_3	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1
a_5	0.04				

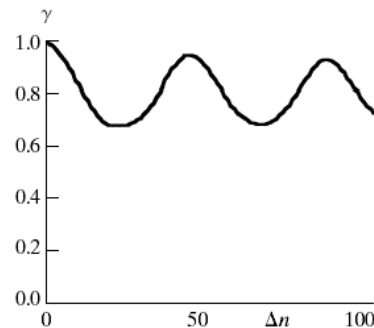
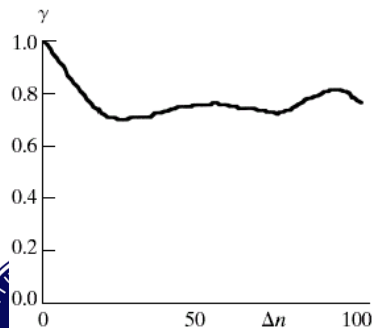
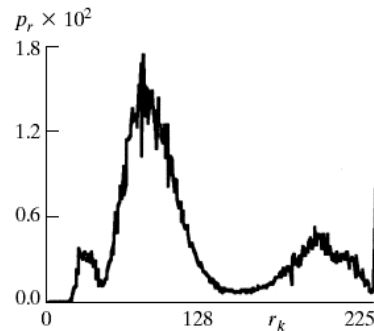
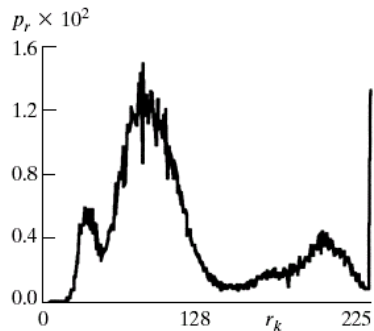
Original source			Source reduction			
Symbol	Probability	Code	1	2	3	4
a_2	0.4	1	0.4	1	0.4	1
a_6	0.3	00	0.3	00	0.3	00
a_1	0.1	011	0.1	011	0.2	010
a_4	0.1	0100	0.1	0100	0.1	011
a_3	0.06	01010	0.1	0101	0.1	01
a_5	0.04	01011				

Interpixel Redundancy (1)



a	b
c	d
e	f

FIGURE 8.2 Two images and their gray-level histograms and normalized autocorrelation coefficients along one line.



Histogram distribusi tingkat keabuan sama untuk kedua citra.

Pada gambar (a) nilai autocorrelation tinggi pada $\Delta n = 1$ dan pada gambar (b) juga tinggi pada $\Delta n = 45$ dan 90.

Interpixel Redundancy (2)

- Sering disebut juga sebagai spatial redundancy, geometric redundancy, atau interframe redundancy.
- Normalized autocorrelation coefficient:

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

dimana N adalah jumlah piksel pada baris x dan $\Delta n < N$

Nilai γ tinggi (berkorelasi tinggi) pada $\Delta n = 45$ atau 90 (b) dimana ada spasi garis vertikal. Juga piksel yang berdekatan mempunyai korelasi tinggi, yaitu dengan $\Delta n = 1$ dimana nilai γ adalah 0.9922 dan 0.9928 masing-masing untuk gambar (a) dan (b).

Interpixel Redundancy (3)

- Artinya: data redundancy dinyatakan dengan korelasi antar piksel dimana intensitas suatu piksel dapat diperkirakan dari intensitas piksel-piksel tetangganya.
- Artinya: informasi yang dibawa oleh setiap piksel relatif tidak besar atau kontribusi setiap piksel kepada gambar secara keseluruhan adalah redundan.

Interpixel Redundancy (4)

- Citra yang mengandung interpixel redundancy dapat direpresentasi ke dalam bentuk yang lebih efisien (non-visual format). Dimana citra tidak dinyatakan dalam bentuk matriks dari intensitas piksel-piksennya, akan tetapi dipetakan (mapping) dalam bentuk perbedaan intensitas antar piksel yang bersebelahan. Bentuk data yang dimampatkan ini bersifat reversible, artinya dapat direkonstruksi kembali menjadi citra asalnya.
- Run-Length Coding: $(g_1, R_1), (g_2, R_2) \dots$ g_i menyatakan tingkat keabuan dan R_i menyatakan jumlah piksel bersebelahan pada baris bersangkutan yang mempunyai intensitas g_i .

Interpixel Redundancy (5)

- *Contoh Citra:*

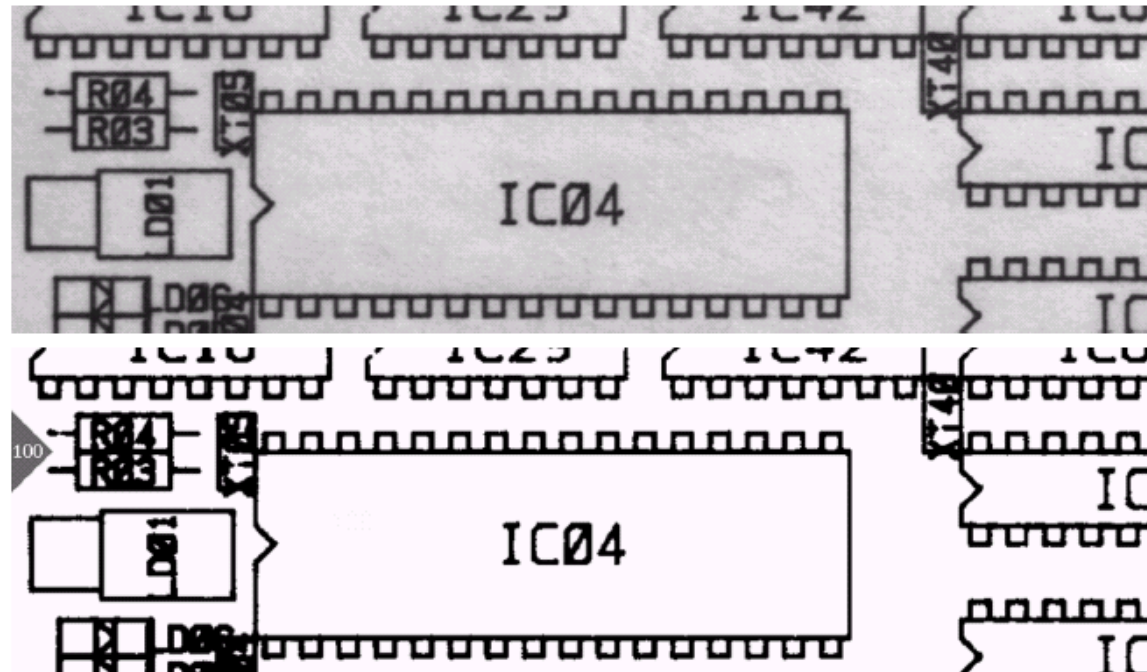
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

- *Run-Length Code Representation:*

(0,4), (1,2), (0,2)
(0,3), (1,4), (0,1)
(0,3), (1,4), (0,1)
(0,2), (1,5), (0,1)
(0,2), (1,5), (0,1)
(0,3), (1,3), (0,3)
(0,4), (1,1), (0,3)
(0,8)

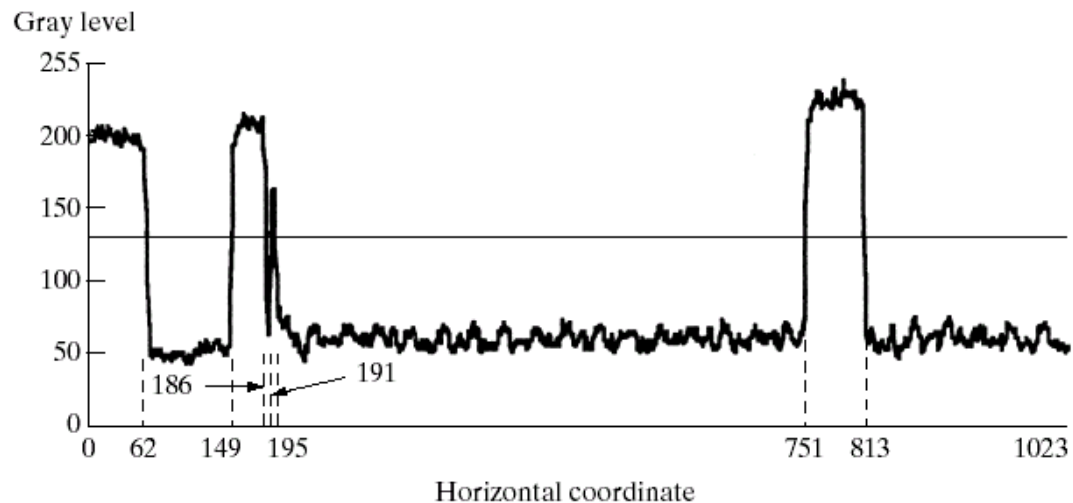
- *Informasi Yang Disimpan:*

22 pairs of integers



a
b
c
d

FIGURE 8.3
Illustration of
run-length coding:
(a) original image.
(b) Binary image
with line 100
marked. (c) Line
profile and
binarization
threshold.
(d) Run-length
code.



Line 100: (1, 63) (0, 87) (1, 37) (0, 5) (1, 4) (0, 556) (1, 62) (0, 210)

Psychovisual Redundancy (1)

- *Mach Band:*
 - Suatu fenomena dimana intensitas keabuan yang bervariasi dilihat sebagai intensitas konstan, artinya: mata tidak mempunyai sensitivitas yang sama terhadap semua informasi yang dianggap penting dan tidak penting. Hal tersebut diatas dapat dikatakan sebagai psychovisual redundancy, yang bila dihilangkan tidak mengganggu persepsi kualitas citra.

Psychovisual Redundancy (2)

- **Quantization:**

- Eliminasi psychovisual redundancy mengakibatkan kerugian informasi bersifat kualitas. Teknik ini disebut quantization, yaitu pemetaan dari daerah intensitas yang lebar menjadi daerah intensitas terbatas (batas kemampuan visual manusia)
- Mata sangat sensitif terhadap informasi edge / garis batas / patahan. Proses kwantisasi dapat disesuaikan untuk kepentingan mempertahankan informasi edge seperti yang dilakukan pada Improved Gray Scale (IGS) Quantization.

- **Irreversible Operation:**

- Quantization mengakibatkan hilangnya sebagian informasi visual, dengan demikian teknik ini termasuk pada kategori lossy data compression.

Psychovisual Redundancy (3)

$$\begin{array}{r} 1000 \ 1011 \\ \underline{ 1100} \\ 1001 \ 0111 \end{array}$$

- IGS (Improved Gray Scale) Quantization

Pixel	Gray Level	Sum	IGS Code
$i - 1$	NA	0000 <u>0000</u>	NA
i	0110 1100	0110 1100	0110
$i + 1$	1000 1011	→ 1001 0111	1001
$i + 2$	1000 0111	1000 1110	1000
$i + 3$	1111 0100	1111 0100	1111

Jika 4 most significant number bernilai 1111, maka yang ditambahkan adalah 0000

Contoh

a b c

FIGURE 8.4

(a) Original image.

(b) Uniform quantization to 16 levels. (c) IGS quantization to 16 levels.



Psychovisual Redundancy (4)

- Lossy compression → perlu adanya kriteria penilaian untuk mengatakan apakah hasil kompresi bagus atau tidak.
- Kriteria penilaian terbagi 2:
 - Secara objektif
Hilangnya informasi dinyatakan sebagai fungsi dari citra input ke citra output (next page)
 - Secara subjektif
Berdasarkan pada penilaian mata manusia. Tingkatannya: Excellent, fine, passable, marginal, inferior, unusable.

Psychovisual Redundancy (5)

- Kesalahan akibat hilangnya informasi:

$f(x,y)$ adalah citra asli dan $f'(x,y)$ adalah citra aproksimasi

Total Error:

$$Error = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f'(x,y) - f(x,y))$$

Root-Mean-Square Error:

$$E_{RMS} = \left(\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f'(x,y) - f(x,y))^2 \right)^{1/2}$$

Mean-square Signal-to-Ratio:

$$SNR_{MS} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f'(x,y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f'(x,y) - f(x,y))^2}$$

Penilaian Subjektif

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.

Topik

1. Fundamentals
2. Teori Informasi



Teori Informasi (1)

- Informasi yang dikandung oleh suatu pesan dapat dinyatakan dengan suatu model yang bersifat probabilistik dalam bentuk yang dapat diterima secara intuisi.
- Suatu event (yaitu komponent yang membentuk data) terjadi dengan probabilitas $P(E)$ dan mengandung satuan informasi yang dapat dinyatakan dengan:

$$I(E) = \log \frac{1}{P(E)} = -\log P(E)$$

dengan $I(E)$ disebut juga sebagai self-information of E .

- Contoh-1: Bila $P(E)=1$ maka $I(E)=0$, artinya tidak ada informasi yang dibawa event E . Penjelasan secara intuitif: $P(E)=1$ berarti event E terjadi secara terus menerus, sehingga tidak ada yang tidak diketahui mengenai E (no uncertainty). Artinya event E sudah diketahui karena selalu terjadi sehingga tidak ada informasi yang dibawa oleh event E .

Teori Informasi (2)

- Contoh-2: Dalam kurun waktu 20 tahun yang lalu jarang (tidak) terjadi pemboman di Indonesia, $P(E) = 0.99$. Namun akhir-akhir ini mulai terjadi pemboman dan yang terdasyat adalah baru-baru ini terjadi di Legian, Bali, $P(\text{tidak}E) = 0.01$. Penjelasan secara intuitif: Memberitakan terjadinya pemboman lebih membawa informasi dibanding dengan memberitakan tidak terjadi pemboman.
- Contoh-3: Bila $P(E) = 1/2$, maka $I(E) = -\log(1/2) = 1$ bit (dengan log basis 2). Nilai 1 bit disini mempunyai arti besarnya informasi yang dikandung bila salah satu event (dari dua event yang probabilitas terjadinya sama besar yaitu $1/2$) terjadi.

Average Self-information (1)

- Suatu sumber informasi terdiri dari simbol: $\{a_1, a_2, \dots, a_j\}$, dengan $P(a_j)$ adalah probabilitas sumber tersebut menghasilkan simbol a_j , dengan:
$$\sum_{j=1}^J P(a_j) = 1$$

- Sumber informasi (A,z) dengan: $A=\{a_1, a_2, \dots, a_j\}$ dan $z=\{P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_j)\}$. Bila sumber informasi menghasilkan k simbol, maka simbol a_j akan terjadi rata-rata sebanyak $kP(a_j)$ kali. Sehingga average self-information yang dikandung oleh k simbol adalah:

$$-k \sum_{j=1}^J P(a_j) \log p(a_j)$$

Average Self-information (2)

- Selanjutnya dapat dirumuskan average information per simbol (per source output):

$$H(z) = -\sum_{j=1}^J P(a_j) \log p(a_j)$$

- $H(z)$ disebut juga sebagai tingkat uncertainty atau entropy dari sumber informasi. Bila $H(k) = 0$ artinya no uncertainty.

Using Information Theory (1)

- **Average information content content (entropy) of each pixel in an image:**

$$H(z) = -\sum_{j=1}^J P(a_j) \log p(a_j)$$

- **4x8 8-bit-pixel image:**

21	21	21	95	169	243	243	243
21	21	21	95	169	243	243	243
21	21	21	95	169	243	243	243
21	21	21	95	169	243	243	243

- **Bila menggunakan asumsi adanya uniform distribution, yaitu $P(a_j)=1/256$ (256 adalah jumlah tingkat keabuan), maka $H(z) = -256*(1/256*\log(1/256))$ yang mempunyai nilai 8. Artinya average information content (entropy) per pixel adalah 8 bits dan total entropy of the 4x8 image = $4 * 8 * 8 \text{ bits} = 256 \text{ bits}$.**

Using Information Theory (2)

- Bila menggunakan model histogram tingkat keabuan citra untuk menentukan probabilitas source symbols (pixel intensities), maka:

Tingkat Keabuan	Jumlah Probabilitas	
21	12	3/8
95	4	1/8
169	4	1/8
243	12	3/8

- Dalam hal ini dikatakan bahwa (the first-order estimate) of the entropy per pixel: $H(z) = - (2 \cdot (3/8) \cdot \log(3/8) + 2 \cdot (1/8) \cdot \log(1/8)) = 1.81$ bits dan total entropy of image = $4 \cdot 8 \cdot 1.81 = 58$ bits.

Using Information Theory (3)

- Estimating the entropy of gray-level source by examining the relative frequency of pixel blocks (a block is a grouping of adjacent pixels):

Gray Level Pair	Count	Probability
(21,21)	8	1/4
(21,95)	4	1/8
(95,169)	4	1/8
(169,243)	4	1/8
(243,243)	8	1/4
(243,21)	4	1/8

- Dalam hal ini dikatakan bahwa (the second-order estimate) of entropy per pixel $H(z) = -(2*(1/4)*\log(1/4) + 4*(1/8)*\log(1/8))/2 = 1.25$ bits.

Using Information Theory (4)

- A difference array:

Gray Level Difference	Count	Probability
0 (column 2,3,7,8)	16	1/4
21 (column1)	4	1/8
74 (column 4,5,6)	12	3/8

- (the first-order estimate) of entropy per pixel = 1.41 bits and total entropy of image = $4 * 8 * 1.41$ bits = 46 bits.

- Terapkan Human coding pada gambar berikut
 - tentukan panjang kode rata2
 - tentukan tingkat redundancy

4	1	1	5	6
3	7	2	0	7
3	4	4	0	3
6	6	7	1	7
5	7	4	3	4