デジタルメディア処理

担当: 井尻 敬

1

• 1

• 平均情報量(エントロピー)について正しく説明できる

・ 以下の画像圧縮技術について正しく説明できる

• ハフマン符号化・ランレングス符号化・jpeg圧縮

Contents

画像圧縮

到達目標

• 平均情報量(エントロピー)とは

エントロピー符号化 : ハフマン符号化2値画像の符号化 : ランレングス符号

• 変換符号化 : 離散コサイン変換, jpeg圧縮

情報量のはなし

ある事象を確認した時(ある事実が分かった時) 得られた情報量(情報の多さ・大きさみたいなもの)を定義したい

情報量とは

トランプを一枚引いて、カードを言い当てたら1000円もらえるゲームをしている。今、ディーラーが一枚のカードを引いて、スペードの2である事を確認した。

あなたが予測を言う前に、ディーラーが次の情報のうちどれかを教えてくれるなら どれがほしいですか?なぜですか?

情報A) カードはスペードです

情報B) カードは数字は偶数です

情報C) カードの数字は3以下です

情報量とは

トランプを一枚引いて,カードを言い当てたら1000円もらえるゲームをしている

今, ディーラー**それぞれの事象が起こる確率は** たいあなたが予測を されぞれの事象が起こる確率は から どれ

あなたが予測を言う前に、ティーラーが次のとれかを教えててれるならどれがほしいですか?なぜですか?

情報A) カードはスペードです **13/52**

情報B) カードは数字は偶数です 24/52

12/52 のは情報C

最も対象を絞れる

情報C) カードの数字は3以下です 12/52

起こる確率の低い事象に出会うことは、起こる確率の高い事象に出会うことに比べて得られる情報量が多そうそのように『**情報量**』を定義したいな!

情報量とは

情報Cをもらった後に、情報Aももらえたとしたら。。。

- ・情報C) カードの数字は3以下です → 12/52
- 情報A) カードのスペードです →

事象Aと事象Cが同時に起こる確率は以下の通り

 $P(A \cap C) = 3/52$

→ 情報が増えてより絞り込みやすくなった

新たに情報を得ると情報量が増える 情報量の増加も扱えるように『**情報量**』を定義したいな!

情報量とは

- ・起こる確率の低い事象を確認することは、起こる確率の高い事象を確認することに比べて情報量が大きくなる
- ・複数の事象を確認した場合の情報量の増加を表現できる
- --- ように「<mark>情報量</mark>」を定義したい

情報量: ある事象Aが起こる確率をP(A)として,その事象が起きたことを知らされたときに受け取る情報量 I(A)は,以下の通り定義される.単位はBit.

$$I(A) = \log_2 \frac{1}{P(A)} = -\log_2 P(A)$$

情報量とは(練習)

トランプを一枚引いて、カードを言い当てたら1000円もらえるゲームをしている。 今、ディーラーが一枚のカードを引いて『スペードの2』であることを確認し、以 下の事象が起きた事実を教えてくれる際、あなたが受け取る情報量を示せ

事象A) カードのスペードです

事象B) カードは数字は偶数です

事象C) カードの数字は3以下です

※起こる確率の低い事象ほどそれを確認した時の情報量は大きくなる

6

8

平均情報量(エントロピー)

事象の集合 $\{A_1, A_2, \cdots, A_n\}$ があり、各事象の生起確率を $P(A_i)$ とする。各事象は互いに排反($P(A_i \cap A_j) = 0$)であり、生起確率の総和は1とする。

この事象の集合の情報量の期待値は**平均情報量(エントロピー)** とよばれ、以下の通り計算できる

$$E(A) = \sum_{i} -P(A_i)\log_2 P(A_i)$$

例題1) ある地域Aの元旦の天気の確率分布は以下のとおりである. この事象系の平均情報量を求めよ

事象	生起確率
晴れ	0.25
曇り	0.25
雨	0.25
雪	0.25

$$\left(-\frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4}\right)4 = 2.0 \quad [bit]$$

例題2) ある地域Bの元旦の天気の確率分布は以下のとおりである. この事象系の平均情報量を求めよ

事象	生起確率
晴れ	0.99
曇り	0.01
雨	0.0
雪	0.0

 $(-0.99\log_2 0.99 - 0.01\log_2 0.01 - 0 - 0)$ = 0.08079 [bit] $\times 0 \log_2 0 = 0$

9

例題1) ある地域Aの元旦の天気の確率分布は以下のとおりである. この事象系の平均情報量を求めよ

事象	生起確率
晴れ	0.25
曇り	0.25
雨	0.25
雪	0.25

$$\left(-\frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4}\right)4 = 2.0 \quad [bit]$$

例題2) ある地域Bの元旦の天気の確率分布は以下のとおりである. この事象系の平均情報量を求めよ

事象	生起確率
晴れ	0.99
曇り	0.01
雨	0.0
雪	0.0

$$(-0.99\log_2 0.99 - 0.01\log_2 0.01 - 0 - 0)$$

= 0.08079 [bit] $\times 0 \log_2 0 = 0$

確率分布が偏った事象系では、何が起きるかは予測しやすい(地域Bはどうせ晴れる)ため、その系から得られる情報量は少ない→ エントロピーは小さい 確率分布が均等な事象系では、事象を確認した時の情報量は多い → エントロピー大

もう少し例を…

・コイントスをして表・裏を言い当てたら1000円もらえるゲームをしている。ある男Xが、コイントス直後にこっそり表か裏を教えてくれるといってきた。

• 1~100の数字が出るルーレットの出目を当てたら1000円もらえるゲームをしている. ある**男Y**が, ルーレットの出目をこっそり教えてくれるといってきた.

※コイントスの表裏の出現確率は等しく、ルーレットの数の出現確率も等しい

男Xと男Yどっちの教えてくれる情報量が大きい?

• コイントスをして表・裏を言い当てたら1000円もらえるゲームをしている. ある**男X**が, コイントス直後にこっそり表か裏を教えてくれるといってきた.

男Xの平均情報量: $\left(-\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right)2 = 1.0$ [bit]

• 1~100の数字が出るルーレットの出目を当てたら1000円もらえるゲームをしている. ある**男Y**が, ルーレットの出目をこっそり教えてくれるといってきた.

男Yの平均情報量: $\left(-\frac{1}{100}\log_2\frac{1}{100}\right)100 = 6.64$ [bit]

男Yの持つ平均情報量のほうが大きい こんな感じで知りたい情報を教えてもらえるという設定にすると 納得しやすい(かも) まとめ: エントロピー

事象の集合 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ があり,各事象の生起確率を $P(A_i)$ とする.各事象は互いに排反($P(A_i \cap A_j) = 0$)であり,生起確率の総和は1とする.

この事象の集合の情報量の期待値は**平均情報量(エントロピー)** とよばれ,以下の通り計算できる

$$E(A) = \sum_{i} -P(A_i)\log_2 P(A_i)$$

説明の参考にしたweb page: https://logics-of-blue.com/information-theory-basic/分かりやすかったです。

13

エントロピー符号化

エントロピー符号化

・データに含まれるシンボルに対し、その出現確率に基づき異なる長さの符号(ビット列)を割り当てる事でデータの圧縮を行なう手法

エントロピー符号化

- ・データに含まれるシンボルに対し、その出現確率に基づき異なる長さの符号(ビット列)を割り当てる事でデータの圧縮を行なう手法
 - シンボル:画像なら画素値,数値列なら数字,文字列なら文字
 - 元のデータを完全に復元できる可逆圧縮
 - ハフマン符号化,算術符号化などが知られる

エントロピー符号化

- ・データに含まれるシンボルに対し、その出現確率に基づき異なる長さの符号(ビット列)を割り当てる事でデータの圧縮を行なう手法
 - シンボル:画像なら画素値,数値列なら数字,文字列なら文字
 - 元のデータを完全に復元できる可逆圧縮
 - ハフマン符号化, 算術符号化などが知られる

2進数表現	出現確率	ハフマン符号
000	0.04	01100
001	0.08	111
010	0.12	110
011	0.25	10
100	0.28	00
101	0.14	010
110	0.06	0111
111	0.03	01101
	000 001 010 011 100 101	000 0.04 001 0.08 010 0.12 011 0.25 100 0.28 101 0.14 110 0.06

"···334421···"

通常の2進数表現では,18bit必用

"···011011100100010001···"

出現確率を利用し,長さの異なる符号を割り当 てると,14bitで表現可能

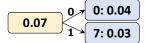
"···10100000110111···"

18

ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる。
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04	?????
1	0.08	?????
2	0.12	?????
3	0.25	?????
4	0.28	?????
5	0.14	?????
6	0.06	?????
7	0.03	?????



ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる。
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

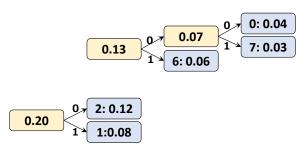
シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04 済	?????
1	0.08	?????
2	0.12	?????
3	0.25	?????
4	0.28	?????
5	0.14	?????
6	0.06	?????
7	0.03 済	?????



ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる。
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

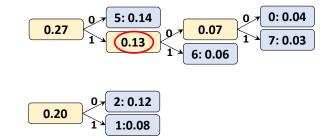
シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04 済	?????
1	0.08	?????
2	0.12	?????
3	0.25	?????
4	0.28	?????
5	0.14	?????
6	0.06 済	?????
7	0.03 済	?????



ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 2) 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1を割り当てる.
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04 済	?????
1	0.08 済	?????
2	0.12 済	?????
3	0.25	?????
4	0.28	?????
5	(0.14)	?????
6	0.06 済	?????
7	0.03 済	?????

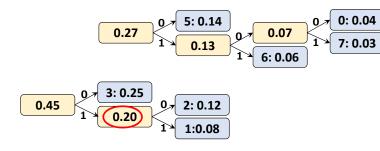


22

ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる。
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し,その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04 済	?????
1	0.08 済	?????
2	0.12 済	?????
3	0.25	?????
4	0.28	?????
5	0.14 済	?????
6	0.06 済	?????
7	0.03 済	?????

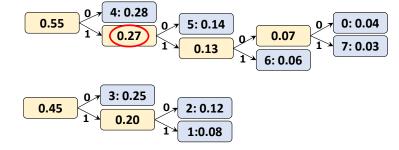


ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる。
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする

22/100	HI-70VE-T-	112 (2195
0	0.04 済	?????
1	0.08 済	?????
2	0.12 済	?????
3	0.25 済	?????
4	(0.28)	?????
5	0.14 済	?????
6	0.06 済	?????
7	0.03 済	?????

シンボル 出現確率 ハフマン符号

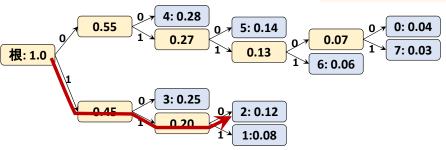


23

21

ハフマン符号化

- 1) 出現頻度の最も低い2つのシンボルを選択
- 2) 出現確率の大きなほうに符号0,小さなほうに符号1 を割り当てる.
- 3) 二つのシンボルを子とするシンボルを生成し、その 出現確率は2つの和とする
- 4) ひとつの木にまとまるまで1~3を繰り返す
- 5) 根から葉まで辿った符号列をシンボルの符合とする



シンボル	出現確率	ハフマン符号
0	0.04 済	?????
1	0.08 済	?????
2	0.12 済	110
3	0.25 済	?????
4	0.28 済	?????
5	0.14 済	?????
6	0.06 済	?????
7	0.03 済	?????

エントロピー符号化

シンボル	2進数表現	出現確率	ハフマン符号
0	000	0.04	01100
1	001	0.08	111
2	010	0.12	110
3	011	0.25	10
4	100	0.28	00
5	101	0.14	010
6	110	0.06	0111
7	111	0.03	01101

この数値列のエントロピーは? $-0.04 \log(0.04) - 0.08 \log(0.08) - \cdots = 2.651$ [bit]

2進数表現時のヘ平均符号長は?

 $0.04*3.0 + 0.08*3.0 + \cdots = 3.0$ bit

ハフマン符号表現時の平均符号長は? $0.04*5.0 + 0.08*3.0 + \cdots = 2.67$ bit

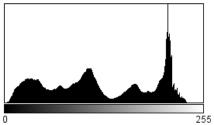
データ(画像,文字列,数値列)を符号化した際の平均符号長の下限は,

データの平均情報量 (エントロピー) で与えられる

画像にハフマン符号を適用する

- 入力を 8bit グレースケール画像とする → 画素値は 0,1,2,…,255の値を持つ
- ・ヒストグラムを計算し、頻度値の総和が1.0になるように正規化 $\sum_{n=0}^{255} p(n) = 1.0$ ただし, p(n)は画素値 n の頻度(出現確率)
- ハフマン符号化アルゴリズムで、画素値0,1,2,···,255を符号化する





ランレングス符号化

ランレングス符号化

・データをシンボルとその連続する長さで符号化する手法

元データ: AAAAAABBBBAAAACCCCCCCC : 1byte * 24 = 24 byte

符号化: A7, B4, A4, C9 : 2byte * 4 = 8 byte

※シンボルは1 byte (char)で表現し、連続数も1 byte (uchar)で表現した

ランレングス符号化

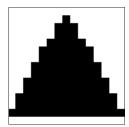
• データ中をシンボルとその連続する長さで符号化する手法

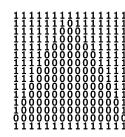
元データ: AAAAAAABBBBAAAACCCCCCCC : 1byte * 24 = 24 byte

符号化:A7, B4, A4, C9 : 2byte * 4 = 8 byte

※シンボルは1 byte (char)で表現し、連続数も1 byte (uchar)で表現した

• 色数の少ない画像 (e.g. 2値画像) では、同じ画素値が連続するのでランレングス符号化により効率的な圧縮が期待できる

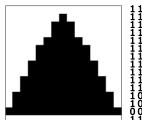




1:22, 0:1, 1:13, 0:3, 1:12, 0:3, 1:11, 0:5, 1:9, 0:7, 1:8, 0:7, 1:7, 0:9, 1:6, 0:9, 1:5, 0:11, 1:4, 0:11, 1:3, 0:13, 1:2, 0:13, 1:1, 0:15, 1:15,

29

ランレングス符号化





- シンボルひとつ当たり 1bit
- シンボル数 225
- \rightarrow 1*225 = 225 bit

1:22, 0:1, 1:13, 0:3, 1:12, 0:3, 1:11, 0:5, 1:9, 0:7, 1:8, 0:7, 1:7, 0:9, 1:6, 0:9, 1:5, 0:11, 1:4, 0:11, 1:3, 0:13, 1:2, 0:13, 1:1, 0:15, 1:15,

データサイズは…

- シンボルひとつ当たり 1bit
- 連続長 5 bit6 bit * 27 = 138 bit

※連続長を5bitとすると最大32までの連続列を扱える

練習: ランレングス符号化を実装してみよう

input : 引数 arg は、シンボル"0,1,2,...,9"の列

output: 出力は、(シンボル、連続数)というタプルの配列

def runlength_coding (arg) :

output = []

TODO

return output

まとめ

- ・ ハフマン符号化
 - 出現確率の高いシンボルに短い符号を 割り当てることで平均符号長を下げる
 - 可逆圧縮
 - ・エントロピー符号化の一種
- ランレングス符号化
 - ・シンボルと連続数を記録する事でデー 夕の圧縮を目指す
 - 可逆圧縮
 - ・同じシンボルが連続するデータ(2値 画像など)の圧縮に強い



1:22, 0:1, 1:13, 0:3, 1:12, 0:3, 1:11, 0:5, 1:9, 0:7, 1:8, 0:7, 1:7, 0:9, 1:6, 0:9, 1:5, 0:11, 1:4, 0:11, 1:3, 0:13, 1:2, 0:13, 1:1, 0:15, 1:15,

離散コサイン変換を利用した画像圧縮

33

離散コサイン変換 (1D)

N個の数値列 f_l (l = 0, ..., N - 1)について

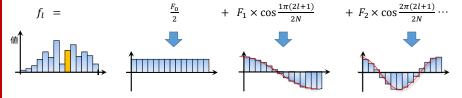
このスライドの例は… コサイン変換DCT-II 逆コサイン変換DCT-III 定数倍には異なる定義あり

離散コサイン変換:

$$F_k = \sum_{l=0}^{N-1} f_l \cos \frac{\pi}{N} k \left(l + \frac{1}{2} \right)$$

逆離散コサイン変換:

$$F_{k} = \sum_{l=0}^{N-1} f_{l} \cos \frac{\pi}{N} k \left(l + \frac{1}{2} \right) \qquad f_{l} = \left(\frac{2}{N} \right) \left(\frac{F_{0}}{2} + \sum_{k=1}^{N-1} F_{k} \cos \frac{\pi}{N} k \left(l + \frac{1}{2} \right) \right)$$



 f_i は $\cos \theta$ の重ね合わせで表現される F_{ν} は重ね合わせの"重み"を表す

離散コサイン変換 (2D)

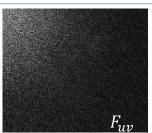
2D数値列 f_{xy} (x=0,...,W-1, y=0,...,H-1) について…

※この定義は全スライドを縦横方向 にかけることで得られる $\Re a_i = \frac{1}{2}$ (i = 0), 1 (others)

離散コサイン変換:
$$F_{uv} = \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{W-1} f_{xy} \cos \frac{\pi}{W} u \left(x + \frac{1}{2} \right) \cos \frac{\pi}{H} v \left(y + \frac{1}{2} \right)$$

| 逆離散コサイン変換:
$$f_{xy} = \frac{4}{WH} \sum_{v=0}^{H-1} \sum_{u=0}^{W-1} a_u a_v F_{uv} \cos \frac{\pi}{W} u \left(x + \frac{1}{2} \right) \cos \frac{\pi}{H} v \left(y + \frac{1}{2} \right)$$

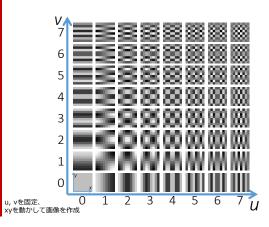




2D離散コサイン変換をより深く理解する…

参考資料

$$f_{xy} = \frac{4}{WH} \sum_{v=0}^{H-1} \sum_{u=0}^{W-1} a_u a_v F_{uv} \cos \frac{\pi}{W} u \left(x + \frac{1}{2} \right) \cos \frac{\pi}{H} v \left(y + \frac{1}{2} \right)$$

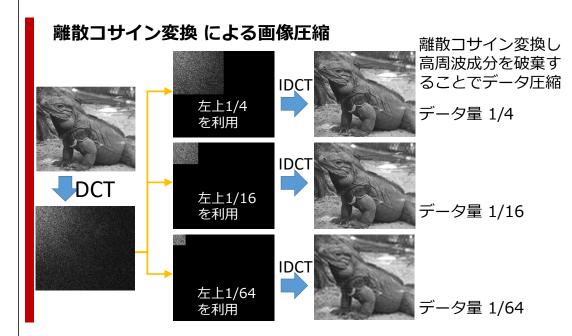


2D離散コサイン変換:

入力画像を周波数の異なるcos関数(基底画像)の重み付き和で表現する.

8x8の離散コサイン変換を考える

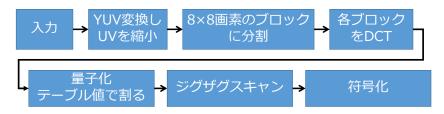
- 任意の入力画像は 8x8個の基底画像の 重ね合わせで表現できる
- 基底画像は右図

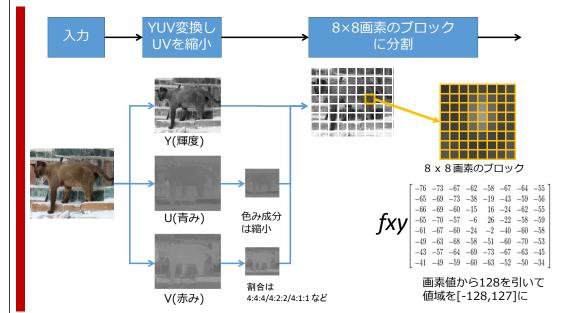


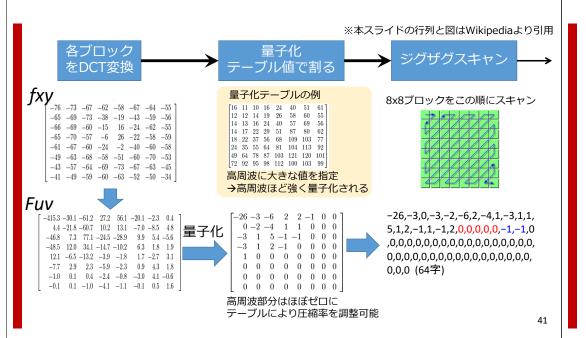
JPEG 圧縮の概要

- ・2次元風景画像などと相性が良く、写真の圧縮に広く利用されている
- ・非可逆圧縮の手法で離散コサイン変換を利用

手法の概略







符号化

各ブロックにおいて取得された64文字を符号化する この部分は**可逆圧縮**

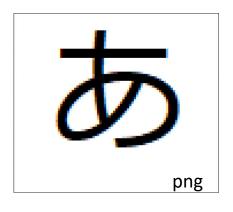
- ・ 直流成分について
 - 直前のブロックの直流成分との差分を記録
- これをハフマン符号化
- 交流成分について
 - 『(RUNLENGTH, SIZE)(符号)』の形で記載
 - RUNLENGTH(4bit): 連続したゼロの数
 - SIZE(4bit):ゼロでない数字の表現に必要なビット数
 - 符号:ゼロでない数字のハフマン符号

(0, 2)(-3);(1, 2)(-3);(0, 1)(-2); (0, 2)(-6);(0, 1)(2); (0, 1)(-4);(0, 1)(1); (0, 2)(-3);(0, 1)(1); (0, 1)(1); (0, 2)(5); (0, 1)(1); (0, 1)(2); (0, 1)(-1);(0, 1)(1); (0, 1)(-1);(0, 1)(2); (5, 1)(-1);(0, 1)(-1);(0, 0);

(RUNLENGTH,SIZE)に20byte, 符号に24bit = 23 byte

Jpeg圧縮

• 8x8のブロックごとに非可逆圧縮を書けているので,ブロック境界が見えるようなノイズが乗ります





まとめ: JPEG 圧縮の概要

- ・画像をYUV画像に変換し、UV画像を縮小
- ・画像を8x8画素のブロックに分割し、DCT変換後、量子化
- 量子化したDCT係数を、ランレングス符号化とハフマン符号化を応用した手法で符号化する



- 問) どの部分が非可逆性に寄与していますか?
- 問) どこを調整すれば圧縮率や画像の精度を調整できそうですか?