

2次元視覚モデルによる各種変調画像の復元と評価 (XVI)

宮下 宗士[†] 川崎 順治[†] 岡本 紘一[†] 飯島 泰蔵[‡]

[†] 金沢工業高等専門学校 〒921-8601 金沢市久安 2-270

[‡] (株)創研 〒188-0014 西東京市芝久保町 3-27-9

E-mail: [†] kawasaki@kanazawa-tc.ac.jp

あらまし 人間は、1画素ごとには白黒の2値画像を見ても全体を眺めると、擬似濃淡画像として認識できる経験をしている。我々は今までに、外界・網膜・脳を通して階層的に行われる視覚モデルを構築し、各種変調画像の客観的画質評価法を提案した。本稿の目的は、従来からの評価法である PSNR、WNSR、平均値フィルタを掛けた評価法と、我々の提案している視覚モデルの近似度による画質評価法とを比較することである。変調方式には、組織的ディザ法、平均誤差最小法、密度4分割法、単純2値化法、ランダムディザ法を用い、主観評価と客観評価を比較する。その結果、PSNR、WNSR、平均値フィルタを掛けた評価法は、主観評価の優劣と異なるが、視覚モデルの近似度による評価法は主観評価の優劣と一致することが明らかになった。

キーワード 視覚モデル、組織的ディザ法、近似度、PSNR、WNSR

A Restoration and Evaluation of Various Modulation Images by Two Dimensional Visual Model (XVI)

Soshi MIYASHITA[†] Junji KAWASAKI[†] Hirokazu OKAMOTO[†] and Taizo IJIMA[‡]

[†] Kanazawa Technical College, Kanazawa-shi, 921-8601, Japan

[‡] Soken Institute Inc. Nishitokyo-shi, 188-0014, Japan

E-mail: [†] kawasaki@kanazawa-tc.ac.jp

Abstract When we see a binary black and white image, it appears, to our visual sense, to become clearer because of a pseudo halftone. We have investigated and presented a visual model for human visual information processing, which is executed through external world, retina and finally brain. We proposed an objective evaluation method of various modulation images using the above visual model.

The Purpose of this paper is to compare PSNR, WNSR, average filter and measure of approximation using the visual model.

We made extensive experiments for five kinds of modulation method- ordered dither method, least mean error, pulse density four division, simple two value, random dither- in which each of the images we evaluated both subjectivity and objectivity.

The results of a series of experiments show that ranking by subjective evaluation dose not coincide with PSNR, WNSR, and average filter, but coincides with a measure of approximation using the visual model.

Keyword visual model, Ordered dither method, measure of approximation, PSNR, WNSR

1 まえがき

我々は人間の視覚系である外界・網膜・脳を一つの視覚モデルとして考え、人間が2値画像の全体を眺めると、擬似濃淡画像として認識する過程を定量的に解析した。このモデルにより各種変調画像の画質の主観評価に対応する客観評価法を提案した[2][3]。本稿では、従来から利用されている画質評価法の PSNR、WNSR、平均値フィルタを掛けた画質評価法、我々の提案して

いる画質評価法を主観評価と比較した。変調方式には、組織的ディザ法、平均誤差最小法、密度4分割法、単純2値化法、ランダムディザ法を使用した。

2 各種変調画像と主観評価

2.1 原画像

実験で使用した原画像は図1の Girl、Moon-Surface、Milk-Drop の3つの画像を用いた。原画像は 256×

256=65536 画素、256 階調である。

2.2 組織的ディザ法(D)[3]

図2は Girl、Moon-Surface、Milk-Drop それぞれの量子化ディザ画像である。階調数 $L=2$ 、ディザマトリックス $n_d=4 \times 4$ で要素係数 $k=8$ である。

2.3 平均誤差最小法(H)[3]

図3は、Girl、Moon-Surface、Milk-Drop の平均誤差最小画像である。

2.4 パルス密度4分割法(P)[3]

図4は、Girl、Moon-Surface、Milk-Drop のパルス密度4分割画像である。それぞれのパルス数は原画像に最も近くなるパルス数で変調されている。

2.5 単純2値化法(S)[3]

図5は Girl、Moon-Surface、Milk-Drop の単純2値画像である。

2.6 ランダムディザ法(R)[3]

図6は Girl、Moon-Surface、Milk-Drop、Bridge、Boats、waterfall のランダムディザ画像である。

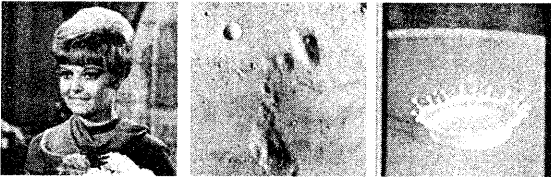


図1 原画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop、Bridge、Boats、Waterfall)

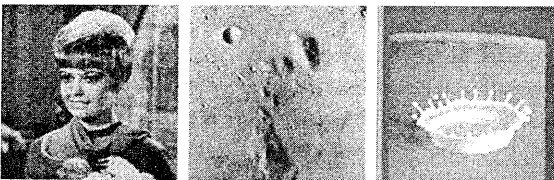


図2 組織的ディザ画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop)

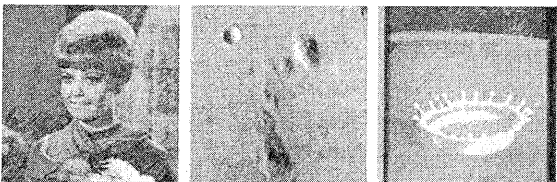


図3 平均誤差最小画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop)

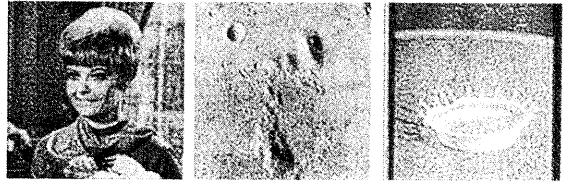


図4 パルス密度4分割画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop)

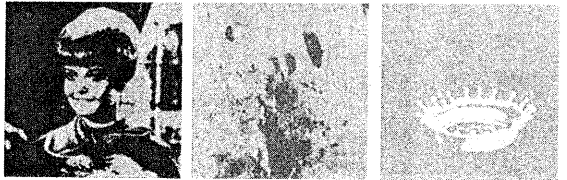


図5 単純2値化画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop)

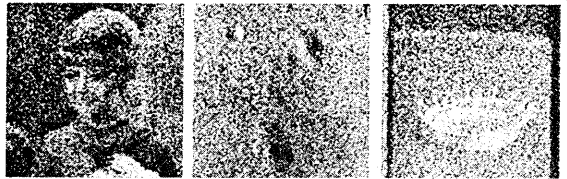


図6 ランダムディザ画像 (Girl、Moon-Surface、Milk-Drop)

| | |
|------|--|
| 変調方式 | 各種パルス変調画像 |
| 視距離 | 4H(H:画像の高さ) |
| 照度 | 低い(準暗室) |
| 最大輝度 | 75cd/cm ² |
| 評定者数 | 15名 |
| 評価尺度 | 各種パルス変調画像が表現する濃淡の度合いと原画像の濃淡との間の近さを比較して、優れた順に1, 2, 3, 4, 5の順番をつける |
| 提示方法 | 評定者に原画像と各種パルス変調画像を同時に見せ評価する |

表1 評価実験の条件

2.7 主観評価実験

表1は ITU-R 勧告[5]を参考にした主観評価実験の条件であり、表2、表3、表4は、Girl、Moon-Surface、Milk-Drop の主観評価実験15名の主観的平均順位 MOS (1はより原画像に近く濃淡がでている。5はより離れて濃淡が出ていない。)の結果である。

3 PSNR, WSRN, 平均値フィルタの評価法

本研究では我々の提案している画質評価法が式(7)のように分子にノイズ、分母に信号の形式を採用しているため、本実験で使用される PSNR 及び WSRN の式を下記に示す。

$$PSNR = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{f_i(r) - \hat{f}_i(r)\}^2}{(S_{\max})^2} \quad (1)$$

$$WSNR = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{f_i(r) - W \cdot \hat{f}_i(r)\}^2}{(S_{\max})^2} \quad (2)$$

式(1)はPSNR、式(2)はWSNRである。ここでパラメータを σ^2 とする W はガウス分布の重みを掛けたものである。 σ^2 を変動させWSNRが最小になるようにWSNRを求める。平均値フィルタは注目画素の8近傍の平均値を出力したものである。平均値フィルタも同様に変調画像 $f(r)$ に平均値フィルタを掛けPSNRで計算する。

4 視覚モデルによる評価法の概要[3]

図7は我々の提案している視覚モデルの概要図である。画像の視覚観測では一般にボケを伴うことが知られているが、その模様は視覚パターンの基礎方程式、式(3)によって表される[4]。

$$(\nabla^2 - \frac{\partial}{\partial \tau})f(r, \tau) = 0 \quad (3)$$

ここでは、 τ はボケ量、 $f(r, t)$ は視覚パターンと呼ばれ、原画像 $f(r)$ に対応したボケ画像である。基礎方程式に関連して定まる基礎関数系(エルミート多項式系)はボケに左右されない直行関数系であるとして一意的に定まるものであるが、ここで原画像 $f(r)$ に対して作られる2値変調画像 $f(r)$ で表すものとしよう。そうすれば、 $f(r)$ の基本関数系による有限級数展開式を $f_{MN}(r)$ (これを復元画像という)としたとき、適切な打ち切り項数 $M = M_0$ 、 $N = N_0$ を選ぶことによって、復元画像 $f_{MN}(r)$ を原画像 $f(r)$ に近づけることが既に証明されている。これは視覚モデルによる画像評価法の基礎を与える原理である。評価法の具体的内容は下記に示すとおりである。

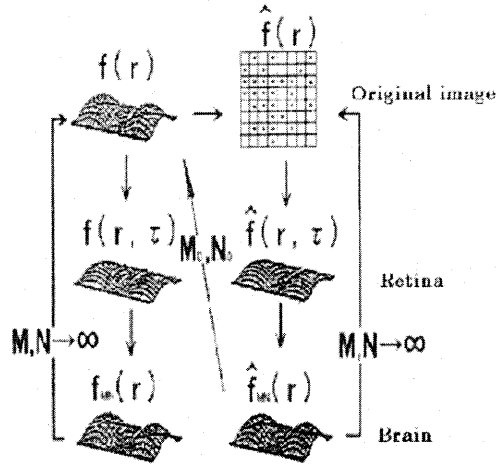


図7 視覚モデルによる評価法の流れ図

各種変調画像の $f(r)$ からの復元画像 $f_{MN}(r)$ を求め、ポケ $\tau \rightarrow 0$ の有限項 $M = M_0$ 、 $N = N_0$ で打ち切ると、

$$f_{MN}(r) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \left(\frac{1}{m!n!} \right) \tilde{B}_{mn} H_m \left(\frac{x-a_0}{\sigma_0} \right) H_n \left(\frac{y-b_0}{\sigma_0} \right) \quad (4)$$

$$\tilde{B}_{mn} = V \sum_{i=1}^{N_p} W(r_0 - P_i, \tau_0) \cdot H_m \left(\frac{P_{ix} - a_0}{\sigma_0} \right) H_n \left(\frac{P_{iy} - a_0}{\sigma_0} \right) \quad (m=0,1,2,\dots), (n=0,1,2,\dots) \quad (5)$$

$$W(r, \tau) = \frac{1}{4\pi\tau} e^{-\frac{r^2}{4\pi}} \quad (6)$$

で表される。ここで N_p は画像全体のパルス数である。更に $H_m \left(\frac{x-a_0}{\sigma_0} \right)$ 、 $H_n \left(\frac{y-b_0}{\sigma_0} \right)$ は、それぞれ m, n のエルミート多項式であり、 M, N はエルミート多項式の項であり、 (a_0, b_0) は視点、 σ_0 は視野である。さて $f(r)$ と $f_{MN}(r)$ の誤差を2乗ノルムで計算し規格化した近似度 η^2 は式(7)で表される。

$$\eta^2 = \frac{\|f(r) - f_{MN}(r)\|^2}{\|f(r)\|^2} \quad (7)$$

この近似度 η^2 が最小になる項数, とする復元画像を求めることが重要であり

$$f(r) \cong f_{M_0 N_0}(r) \quad (8)$$

となる。更に $M = M_0$, $N = N_0$ の η^2 を各種変調法の客観的評価尺度とする。 η^2 はより小さい程 $f(r)$ と $f_{M_0 N_0}(r)$ の差が小さく、 $f_{M_0 N_0}(r)$ は $f(r)$ に近くなり、近似の精度が良いことになる。

5 各種評価法と MOS の比較

表 2, 表 3, 表 4 は Girl, Moon-Surface, Milk-Drop の各種評価法と MOS との比較結果である。

| girl | D | H | P | S | R | 優劣の順 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| MOS | 1.3 | 2.1 | 3 | 3.6 | 5 | D<H<P<S<R |
| PSNR | 0.0403 | 0.1559 | 0.0531 | 0.009 | 0.1363 | S<D<P<R<H |
| WSNR | 0.0034 | 0.0056 | 0.004 | 0.0083 | 0.0086 | D<P<H<S<R |
| 平均値filter | 0.0413 | 0.158 | 0.0562 | 0.0087 | 0.1389 | S<D<P<R<H |
| η^2 | 0.0146 | 0.0178 | 0.0211 | 0.0437 | 0.0472 | D<H<P<S<R |

表 2 各種評価法の比較 (Girl)

| Moon-surface | D | H | P | S | R | 優劣の順 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| MOS | 1.2 | 2.2 | 2.5 | 4.4 | 4.7 | D<H<P<S<R |
| PSNR | 0.0537 | 0.1524 | 0.075 | 0.0063 | 0.1504 | S<D<P<R<H |
| WSNR | 0.0019 | 0.0031 | 0.0044 | 0.0058 | 0.0134 | D<H<P<S<R |
| 平均値filter | 0.0555 | 0.1542 | 0.0829 | 0.006 | 0.1527 | S<D<P<R<H |
| η^2 | 0.0076 | 0.0087 | 0.0094 | 0.0193 | 0.0191 | D<H<P<S<R |

表 3 各種評価法の比較 (Moon-surface)

| Milk-drop | D | H | P | S | R | 優劣の順 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| MOS | 1.2 | 2.6 | 2.7 | 3.7 | 4.8 | D<H<P<S<R |
| PSNR | 0.0475 | 0.1388 | 0.1193 | 0.0236 | 0.1738 | S<D<P<H<R |
| WSNR | 0.0059 | 0.0041 | 0.004 | 0.0226 | 0.0091 | P<H<D<S<R |
| 平均値filter | 0.0482 | 0.1407 | 0.1232 | 0.0234 | 0.1768 | S<D<P<H<R |
| η^2 | 0.0036 | 0.0058 | 0.0079 | 0.0142 | 0.0184 | D<H<P<S<R |

表 4 各種評価法の比較 (Milk-drop)

表 2 の Girl の場合、各種評価法での比較は主観評価 MOS の優劣の順は $D<H<P<S<R$, PSNR では $S<D<P<R<H$, WSNR では $D<P<H<S<R$, 平均値フィルタでは $S<D<P<R<H$, η^2 では $D<H<P<S<R$, であった。上記の各種評価法の内 η^2 は、主観評価の MOS と優劣が一致した。同様に表 3 の Moon-surface の場合、MOS の優劣の順は $D<H<P<S<R$, PSNR では $S<D<P<R<H$, WSNR では $D<H<P<S<R$, 平均値フィルタでは $S<D<P<R<H$, η^2 では $D<H<P<S<R$, であった。同様に表 4 の Milk-drop の場合、MOS の優劣の順は $D<H<P<S<R$, PSNR では $S<D<P<H<R$, WSNR では $P<H<D<S<R$, 平均値フィルタでは $S<D<P<H<R$, η^2 では $D<H<P<S<R$, であった。上記の結果から、従来の

PSNR, WSNR, 平均値フィルタでは、主観評価の MOS と優劣は一致していないが、 η^2 はどれも主観評価の MOS と優劣が一致しており、2 値化された各種変調画像の優劣を評価する上では有効性が明らかになった。

6 まとめ

本論文は、Girl, Moon-surface, Milk-drop の画像を使い、組織的ディザ法、平均誤差最小法、密度 4 分割法、単純 2 値化法、ランダムディザ法の変調方式で変調した画像を従来からの画質評価法である、PSNR, WSNR, 平均値フィルタを掛けた評価法と、我々の提案している画質評価法 η^2 と主観評価の MOS を比較した。

その結果、従来からの評価表である、PSNR, WSNR, 平均値フィルタを掛けた評価法では、MOS の主観評価の優劣と異なるが、視覚モデルの近似度による評価法は主観評価の優劣と一致することが明らかになった。

今後は、評価法の画像の周波数に対する検討、項数 M についても検討していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたりご鞭撻頂いた金沢高専・堀岡雅清校長、山田弘文研究主事並びに、ご協力頂いた研究生の河村洋憲氏(現・金沢工業大学大学院)、北村直人氏(現・金沢工業大学)に深謝いたします。尚、本研究の一部はイヌワシ教育研究資金と渋谷学術文化スポーツ振興財団の助成金によるものです。

文 献

- [1] J.B.O'Neal: "Predictive Quantizing Systems for the Transmission of Television Signals", Bell Syst. Tech. J., 45, 5, pp.689-721, 1966
- [2] 川崎順治, 飯島泰蔵: "視覚モデルによるパルス密度変調画像の復元-視点・視野を考慮した 1 次元モデルの解析法", 信学論, D-II, vol. J-70-D-II, No.4, PP.774-780, Apr-1994
- [3] 川崎順治, 林彬, 飯島泰蔵, "2 次元視覚モデルによる画質評価法と各種変調画像を用いた理論の検証", 信学論, D-II, vol. J85-D-II, No.2, pp228-241, Feb.2002
- [4] 飯島泰蔵: "パターン認識理論", 森北出版, 1989
- [5] Rec. ITU-R, BT.500, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.