

視覚モデルの各種評価法の画像サイズにおける検討

川崎 順治[†] 池田 航将^{††} 岡田 岳大[†] 飯島 泰蔵^{†††}

[†] 金沢工業高等専門学校 〒 921-8601 金沢市久安 2-270

^{††} 金沢工業大学 〒 921-8501 石川県野々市町扇が丘 7-1

^{†††} 北陸先端大/東工大 名誉教授 〒 188-0014 西東京市芝久保町 3-27-9

あらまし 人間は、1画素ごとに白黒の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濃淡画像として認識する視覚モデルの標準評価法と等価近似法、固定型等価近似法を提案した。固定型等価近似法には窓という概念があり、これまで画像サイズによらず、窓のサイズは4×4に固定できることが明らかになっている。本稿の目的は、従来の標準評価法、等価近似法と固定型等価近似法で画像サイズに無関係に主観評価法と一致することを検討することである。4種類の画像で3種類の画像サイズ(128×128, 256×256, 512×512)に関して3種類の評価法(標準評価法、等価近似法、固定型等価近似法)で検討した。その結果、3種類の評価法とも画像サイズによらず主観評価とほぼ一致することが明らかになった。

キーワード 視覚モデル, 標準評価法, 等価近似法, 固定型等価近似法, 画像サイズ, 変調画像

An investigation on image size of various evaluation method using visual model

Junji KAWASAKI[†], Kosuke IKEDA^{††}, Takeo OKADA[†], and Taizo IJIMA^{†††}

[†] Kanazawa Technical College. 2-270, Hisayasu, Kanazawa-shi, 921-8601, Japan, E-mail: kawasaki@kanazawa-tc.ac.jp

^{††} Kanazawa Institute of Technology. 7-1, Ohgigaoka, Nonoichi-machi, Ishikawa-ken, 921-8501, Japan

^{†††} Japan Advanced Institute of Science and Technology/Tokyo Institute of Technology, Professor emeritus. 3-27-9, Shibakubo-tsyo, Nshitokyoshi, 188-0014, Japan

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 presented a theory and experimented results for layered model which extend external world, retina and brain of the visual model, the equivalence approximation method and the fixed equivalence approximation method. The fixed equivalence approximation method has a windows. In 256x256 pixels of image size a window size was fixed 4x4. The purpose of this paper is to investigate that standard evaluation method, equivalent approximation method and fixed equivalence approximation method coincide with subjective evaluation method without any relation to the size of the image. The image size and three kind 128 × 128, 256 × 256, 512 × 512, pixels were examined by three kinds of evaluation methods in four kinds of images. As a result, it was clarified that the three kinds of evaluation method almost coincided with subjective evaluation method without any relation to the size of the image.

Key words Visual model, Standard valuation method, Equivalent approximation method, Fixed equivalence approximation method, Image size, Modulation image

1. まえがき

画質評価法には、主観評価法と客観評価法がある。従来の客観評価法は、客観的な物理量による定量的評価尺度で評価する

が、人間の主観評価と必ずしも良く一致しているとはいえなかった。この理由は、人間の視覚特性が充分考慮されていないことが考えられる。そこで我々は、今までに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



図1 原画像 (Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lena)

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てきた [1], [2]。しかし、評価に必要な最良近似項数 M_0, N_0 の算出に時間がかかった。そこで、一様画像の特性を用いて計算手順を単純化する等価近似法を提案した [3], [4]。しかし、等価近似法には画像を小領域の窓に分割するという作業があるが、窓のサイズが変調方式によって異なるという不便さがある。さらに、窓のサイズを見つけることが困難な変調方式がある。そこで、等価近似法において窓のサイズを予め固定する、より簡便な固定型等価近似法を提案した。このような発想法が生まれた理由は、以下に述べる通りである。筆者の一人が既に確立した視覚パターンの基礎理論によれば [6]、人間が対象とする画像を注視しようとするときには、無意識の中に視点・視野を選択しているものであるが、特に対象が擬似濃淡を表す2値画像である場合、それら2値画像から十分な情報を獲得するに相応しい視野のサイズは、実はほぼ一定値になると考えられるからである。この際、重要な事柄は、この視野のサイズが画像全体の大きさに無関係に定まる、という点であろう。これまで、画像サイズに関係なく窓のサイズが 4×4 に固定できることが明らかになっている [7], [8]。本稿の目的は、従来の標準評価法、等価近似法と固定型等価近似法で画像のサイズに無関係に主観評価と一致するかどうかを検討することである。

4種類の画像 (Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lena) で3種類の画像サイズ (128×128 , 256×256 , 512×512) において従来の視覚モデルによる標準評価法、等価近似法と固定型等価近似法を比較、検討したので報告する。

2. 各種変調画像と主観評価 [2]

2.1 各種変調画像

図1は、実験で使用した原画像 Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lena である。原画像は 128×128 画素、 256×256 画素、 512×512 画素で256階調である。図2-図6は、順にこれら3種類の画像の、階調数 $L=2$ 、ディザマトリクス $n_d = 4 \times 4$ で要素係数 $k=8$ の量子化ディザ画像、平均誤差最小画像、パルス密度4分割画像、単純2値化画像、ランダムディザ画像の擬似濃淡の2値画像である。

2.2 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、図7-図9は、主観評価実験の15名の主観的平均順位 MOS (Mean Opinion Score. 1はより原画像に近く濃淡が出ている。5はより離れて濃淡が出ていない。) の結果である。組織的ディザ画



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



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



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



図5 (S) 単純2値化画像 (Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lena)



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

表1 主観評価実験の条件

変調画像	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の順位をつける
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

像、平均誤差最小画像、パルス密度4分割画像、単純2値化画像、ランダムディザ画像をそれぞれ D, H, P, S, R と表記する。主観評価を行なった結果、4種類の画像ともに優劣の順位は $D > H > P > S > R$ の結果になった。

3. 視覚モデルによる評価法の概要 [2]

図10は、提案している視覚モデルの概要図である。各種変

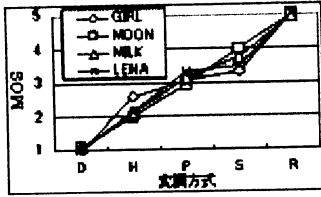


図7 主観的平均順位 MOSの結果 (128 × 128)

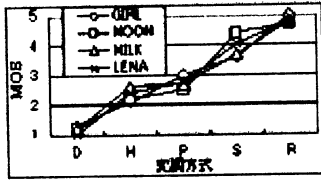


図8 主観的平均順位 MOSの結果 (256 × 256)

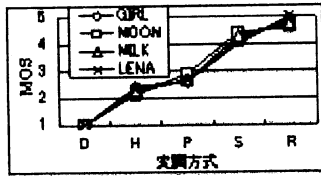


図9 主観的平均順位 MOSの結果 (512 × 512)

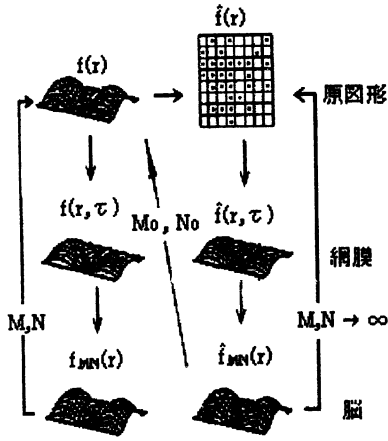


図10 視覚モデルの概要図

調画像 $\hat{f}(r)$ からの復元画像 $\hat{f}_{MN}(r)$ を求める。そうすれば、

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

$$\hat{B}_{mn} = V \sum_{i=1}^{N_p} W(r_0 - P_i, \tau_0) \cdot H_m \left(\frac{P_{ix} - a_0}{\sigma_0} \right) H_n \left(\frac{P_{iy} - b_0}{\sigma_0} \right) \quad (2)$$

($m = 0, 1, 2, \dots$) ($n = 0, 1, 2, \dots$)

$$W(r, \tau) = \frac{1}{4\pi\tau} e^{-\frac{r^2}{4\tau}} \quad (3)$$

で表される。ここで N_p は画像全体のパルス数である。なお、パルスは濃淡画像を2値化する際に各画素の白黒を、パルスの有無に対応させたものである。パルス数はこのパルスの数である。さらに $H_m(\frac{x-a_0}{\sigma_0})$, $H_n(\frac{y-b_0}{\sigma_0})$ は、それぞれ m, n 次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数であり、 (a_0, b_0) は視点、 σ_0 は視野である。さて、原画像 $f(r)$ と $\hat{f}_{MN}(r)$ の間の誤差を2乗ノルムで計算し、規格化した2乗誤差率 η^2 は式(4)で表される。

$$\eta^2 = \frac{\|f(r) - \hat{f}_{MN}(r)\|^2}{\|f(r)\|^2} \quad (4)$$

この2乗誤差率 η^2 が最小になる項数を $M = M_0, N = N_0$ とする復元画像 $\hat{f}_{M_0N_0}(r)$ を求めることが重要であり

$$f(r) \cong \hat{f}_{M_0N_0}(r) \quad (5)$$

となる。さらに $M = M_0, N = N_0$ の場合の η^2 を各種変調方式の客観的評価尺度とする。 η^2 は小さい程、 $f(r)$ と $\hat{f}_{MN}(r)$ の差が小さく、 $\hat{f}_{MN}(r)$ は $f(r)$ に近くなり、近似の精度が良いことになる。

4. 等価近似法

等価近似法[4]は、任意の入力画像の最良近似項数 M_0, N_0 を簡単に求めるための便法として、典型例である等価的な様画像の場合の最良近似項数を用いることによって、良好な復元画像を求める方法である。各変調方式において、窓のサイズを小さい方から順次変化させ、窓の内部にパルスが存在しない度数(以下単に度数という)を調べていく。その数が急激に変化した所に着目して、最終的な窓のサイズを求める。このサイズの窓にそれぞれ1個のパルスが存在するような様画像を考え、画像全体のパルス数を N_p とする。一様画像の $M_0, N_0 = 0.4N_p$ という既に得られている関係より求めた M_0, N_0 を用いて、当初の入力画像の2乗誤差率 η^2 を計算するものである。なお、図11は窓を2×2にしたときの画像の走査の例である(パルスは、小さい黒丸で表示)。

5. 固定型等価近似法

窓のサイズが変調方式によって異なる不便さを解決するとともに、窓のサイズを見つけることが困難な場合でも、評価できるようにするために窓のサイズを固定し、その窓より簡便に最良近似項数 M_0, N_0 の値を算出して、評価する方法である[8]。一般に、窓のサイズを大きく取りすぎると画像の特徴が失わ

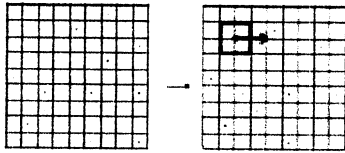


図 11 窓による画像走査(窓のサイズ2×2の場合)

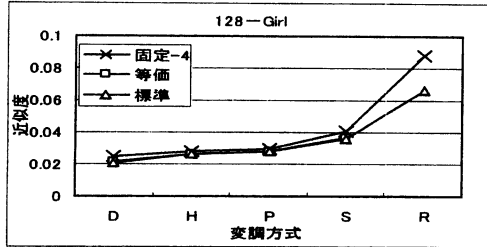


図 12 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Girl, 128 × 128)

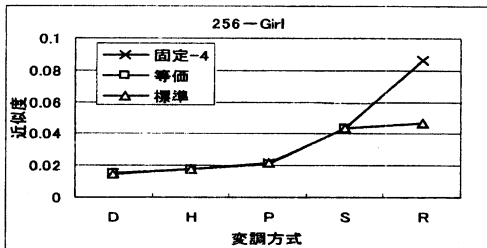


図 13 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Girl, 256 × 256)

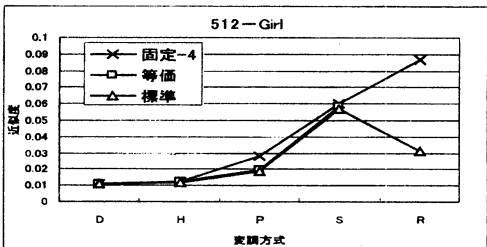


図 14 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Girl, 512 × 512)

れることになるが、小さすぎると変調方式の癖が表面化して、2乗誤差率を悪化させる結果を招くことになる。したがって、窓のサイズには適当な大きさが存在すると考えられる。画像サイズ無関係に窓のサイズ4×4になることが明らかになっている。

固定型等価近似法による M_0, N_0 は以下の手順で求められる。256 × 256 画像を例とすると、窓のサイズ4×4では $64 \times 64 = 4096$ 個の窓ができる。各窓に1個のパルスが存在する一様画像を考え、画像全体のパルス数 N_p を4096とする。したがって、 $M_0, N_0 = 0.4N_p = 0.4 \times 4096 = 1638$ となる。

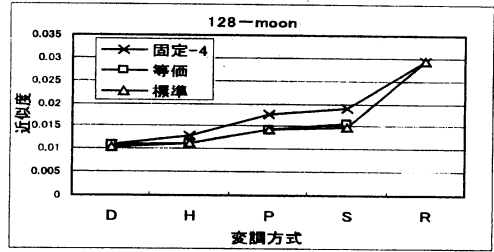


図 15 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Moon, 128 × 128)

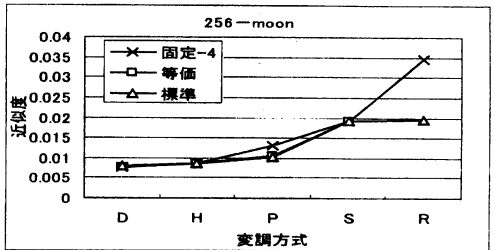


図 16 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Moon, 256 × 256)

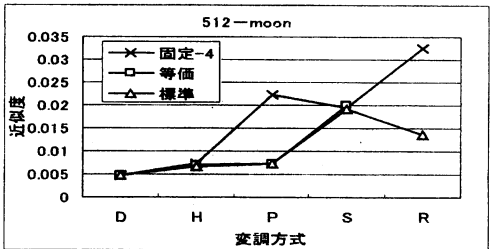


図 17 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Moon, 512 × 512)

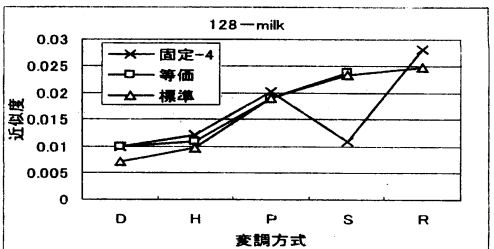


図 18 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Milk, 128 × 128)

6. 各種評価法の画像サイズにおける検討

固定型等価近似法の固定する窓のサイズが4×4である事が、画像サイズに関係なく明らかとなっている[8]。固定型等

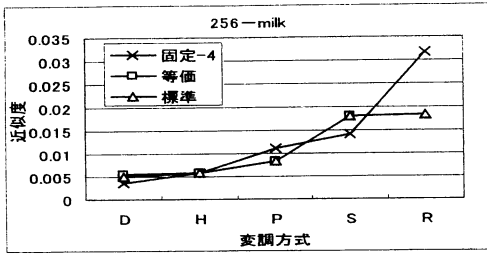


図 19 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Milk, 256 × 256)

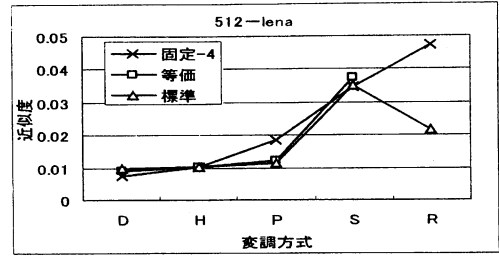


図 23 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Lena, 512 × 512)

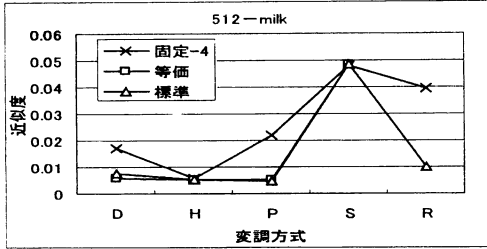


図 20 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Milk, 512 × 512)

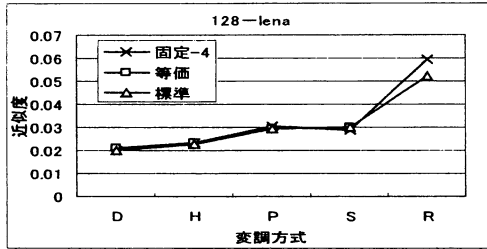


図 21 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Lena, 128 × 128)

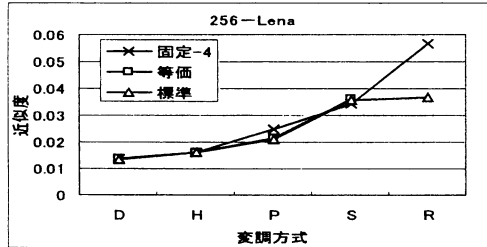


図 22 2乗誤差率 η^2 による各種評価法ごとの比較 (Lena, 256 × 256)

備近似法と比較するため、等価近似法、標準評価法の3種類の評価法に関する検討を進めることにする。Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lenaの4種の画像の、画像サイズ128 × 128, 256 × 256, 512 × 512に関して、5種の変調方式によって検討を行なった。図12-図23は、それぞれ標準評価法、等価近似法、固定型等価近似法を比較した2乗誤差率 η^2 による評価結果である。

各画像の2乗誤差率 η^2 をMOSの主観評価結果と比較したところ、画像サイズが128 × 128では画像Girl, Moon-Surfaceが、画像サイズ256 × 256ではすべての画像において3種類の評価とも主観評価と一致した。しかし、画像サイズが128 × 128ではMilk-DropとLenaの固定型等価近似法が、画像サイズ512 × 512ではGirlにおける標準評価法、Moon-Surfaceにおける固定型等価近似法と標準評価法、Milk-Dropにおいてすべての評価法、Lenaにおける標準評価法が主観評価法と一致しなかった。これは512 × 512画像において元々、固定型等価近似法が最良近似項数 M_0, N_0 を、ある程度精度の出る箇所打ち切る手法であるため、優劣順位が入れ替わる可能性があったためである。128 × 128画像は、Sの結果が非常に良かったため、主観評価と一致しなかった。これは、Milk-Dropは濃淡性の低い画像であり、画像が小さくなった事その特徴が強調されたため、Sの評価が良くなったのではないかと考えている。128 × 128, 512 × 512で上記以外は、3種類の評価法とも主観評価と一致した。

一部主観評価と一致しないものがあるが、全体としては、標準評価法、等価近似法、固定型等価近似法とも画像サイズによらず主観評価法と、ほぼ一致することが明らかになった。

7. むすび

これまでに我々は、人間の視覚特性を考慮した評価法を提案した。この評価法を利用する際に必要な最良近似項数 M_0, N_0 の算出に時間がかかるという問題があった。そこで、この問題を解決するために等価近似法を提案した。これにより M_0, N_0 の算出にかかる時間を大幅に縮める事ができた。しかし、対象とする擬似濃淡画像の変調方式によっては、窓のサイズを決定する上で手間取ることが少なくなかった。ところが、こうして求められた窓のサイズに着目してみると、対象毎に種々変動しているとは云いながら、実はほぼ一定値の近傍に留まっていることが確かめられた。そこでこのことに関して、改めて熟考に及んだのだが、その結果本論文の冒頭に述べたように、窓のサイズは実は、本来一定値で在るべきではないか、との発想を得るに至ったのである。上記の発想が妥当であることを確認するため、画像のサイズ3種で検討した結果、窓のサイズ4 × 4が妥当である事が明らかとなり、この方法が固定型等価近似法と名付けた。固定型等価近似法では、窓サイズの探索という作業

が不要となるばかりでなく、これには人間の判断にゆだねる部分も含まれないため、従来の等価近似法に較べてその作業手順は著しく単純化された。この方法では、簡便化が進められた代償として、若干の性能低下を来していることは止むを得ないが、主観評価法と対比した場合、これまで提案してきた評価法にほぼ匹敵する性能が得られていることが確認された。

本論文では、人間が2値の画像を認識するために必要な視野のサイズが、画像の大きさに無関係に定まるという事から、固定型等価近似法と比較するため、等価近似法、標準評価法の3種類の評価法に関して、Girl, Moon-Surface, Milk-Drop, Lenaの4種類の原画像、組織的ディザ法、平均誤差最小法、パルス密度4分割法、単純2値化法、ランダムディザ法の5種類の変調画像を対象に、検討を進めた。その結果、画像サイズ128×128、256×256の2種類の画像においては、予想通り主観評価とほぼ同精度になった。しかし、画像サイズ512×512は、一部評価結果が、僅かな差で入れ替わっていた。これは、固定型等価近似法は M_0, N_0 の算出手順を簡素化した方法のため、評価に若干の誤差が発生し、更にその差が小さかったため、優劣順位が入れ替わったのであらうと考えられる。視覚モデルが濃淡性の低い画像には適用できない事が明らかとなった。しかし、他の画像が固定型等価近似法で評価できたため、濃淡性のある画像に対して、視覚モデルが有効である。

以上により、一部主観評価と一致しないものがあるが、全体としては視覚モデルによる標準評価法、等価近似法、固定型等価近似法とも画像サイズによらず主観評価法と、ほぼ一致することが明らかになった。今後は画像の多値化に関して検討していきたい。

最後に、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、山田弘文研究主事ならびに、金沢工大 林彬教授、加藤燕子教授、東工大 佐藤誠教授と卒研究生の北村直人氏(現・トッパン TDC)に深謝いたします。なお、本研究の一部は、滋谷学術文化スポーツ振興財団の助成金によるものである。

文 献

- [1] 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, J-77-D-II, 4, pp.774-780, (Apr-1994)
- [2] 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, J85-D-II, 2, pp.228-241, (Feb-2002)
- [3] 川崎順治, 飯島泰蔵: "等価近似法による1次元パルス密度変調画像の復元", 信学論, J-80-D-II, 6, pp.1333-1342, (Jun-1997)
- [4] 川崎順治, 飯島泰蔵: "2次元等価近似法による各種変調画像の評価法", 信学論, J82-D-II, 12, pp.2230-2239, (Dec-1999)
- [5] Rec.ITU-R, BT.500, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
- [6] 飯島泰蔵: "パターン認識理論", 森北出版, (1989)
- [7] 川崎順治, 北村直人, 加藤燕子, 飯島泰蔵: "固定型等価近似法による変調画像の評価に関する検討", 情報科学技術フォーラム, LJ-007, pp.221-222 (2004)
- [8] 川崎順治, 北村直人, 加藤燕子, 飯島泰蔵: "変調画像を簡便に評価する固定型等価近似法" 映像学会誌, Vol.59, No.2, pp.318-323(2005)
- [9] 北村直人, 川崎順治, 池田航将, 加藤燕子, 飯島泰蔵: "固定型等価近似法の画像サイズと多値化に関する検討" 信学技報, NLC2004-117, PRMU2004-199, pp.7-11(2005)