

## 動画像符号化におけるレート歪特性改善のための 動きベクトル決定法

夏井 知義<sup>†</sup> 長谷山美紀<sup>†</sup> 北島 秀夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 北海道大学大学院工学研究科  
〒 060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目  
TEL (011)706-7162

E-mail: †{natsui,mikich,kitajima}@media.eng.hokudai.ac.jp

あらまし 一般的なブロックマッチングアルゴリズムにおいて、動きベクトルは、輝度値の平均二乗誤差 (MSE) や平均絶対値誤差 (MAE) が最小となる位置から決定される。しかし背景画像などの輝度勾配が緩やかな部分において、MSE が最小の動きベクトルが最良のレート歪特性を導くとは限らない。そこで、動き補償予測符号化に要する符号量、予測誤差変換符号化に要する符号量、再構成歪の三つの要素に注目して、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定する手法を提案する。H.263 の符号化器を使用時に、従来手法と比較して、提案手法は同 PSNR で総符号量を約 10%~50% 削減可能である。

キーワード 動画像符号化, 動きベクトル, レート歪特性

## A Method to Define Motion Vectors for Improving the Rate-Distortion Performance of Video Coding

Tomoyoshi NATSUI<sup>†</sup>, Miki HASEYAMA<sup>†</sup>, and Hideo KITAJIMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Hokkaido University  
Kita-13 Nishi-8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628 Japan  
TEL + 81-11-706-7162

E-mail: †{natsui,mikich,kitajima}@media.eng.hokudai.ac.jp

**Abstract** In ordinary Block Matching Algorithms(BMA), motion vectors are defined at the point to minimize the Mean Squared Error(MSE) or the Mean Absolute Error(MAE) of the intensity. However, in certain background images, the motion vectors whose MSE is minimum may not yield the best rate-distortion performance. Therefore, we propose a method to define the motion vectors which yield the best rate-distortion performance which is composed of three elements, the bit rate required for motion compensated predictive coding, the bit rate required for prediction error transforming coding, and the reconstruction distortion. If the codec is H.263, the proposed method can reduce the total bit rate approximately 10%~50% with the same PSNR as compared to the conventional methods.

**Key words** video coding, motion vector, rate-distortion performance

## 1. まえがき

動画像符号化における良好なレート歪特性を導く方式として、動き補償予測符号化と予測誤差変換符号化を組み合わせたハイブリッド方式がMPEG-2 [1] やH.263 [2] で採用されている。これらの符号化器は、動き補償予測符号化の段階において、 $x$  軸方向成分と $y$  軸方向成分から構成される動きベクトルを決定する。

動きベクトルは、ブロックマッチングアルゴリズム [3], [4] を用いて、輝度値の平均二乗誤差や平均絶対値誤差で評価される動き補償予測誤差が、動きベクトルの探索範囲内で最小となる位置から決定されるのが一般的である。

しかしながら、動き補償予測誤差が最小の動きベクトルは、レート歪特性が最良の動きベクトルとは限らないという問題がある。

そこで、動き補償予測誤差に加えて、新たに動きベクトルの信頼度を定義し、信頼度の低い動きベクトルを棄却して他の動きベクトルと統合することで、レート歪特性を改善する研究が行われた [5]~[7]。また、文献 [8] では、あらかじめ設定された閾値の範囲内の動き補償予測誤差となる動きベクトルの中から、符号量が最小の動きベクトルを選択することによってレート歪特性を改善している。

しかしこれらの手法によっても、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定する保証はなく、問題の根本的な解決はされていない。この問題は、動きベクトルを決定する指標として、動き補償予測誤差のみしか用いていないことが原因と考えられる。

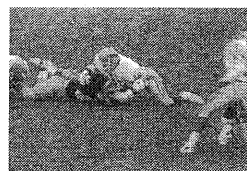
これに対して文献 [9] では、動き補償予測誤差に加えて、動きベクトルの符号量も考慮して動きベクトルを決定している。しかしこの手法であっても、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定する保証はない。

そこで我々は、動きベクトルの評価関数の概念を紹介し、上記の3要素に注目した動きベクトル評価関数を用いることにより、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定する手法を提案する。

本論文では、2. にて、動き補償予測誤差が最小となる位置から動きベクトルを決定する手法の問題点を明らかにする。3. では、文献 [9] の手法を紹介し、この手法の欠点について説明する。4. では、動きベクトル評価関数の概念について説明し、文献 [9] の手法の二つの欠点を克服した動きベクトル評価関数を用いる手法を提案する。5. では、MSE が最小の位置



参照フレーム



現フレーム

図1 Footballの参照フレームと現フレーム



参照フレーム



現フレーム

図2 Susieの参照フレームと現フレーム

から動きベクトルを決定する手法、文献 [9] の手法、提案手法の三つの手法について、符号化/復号化シミュレーションを行った結果を示す。また、提案手法により決定される動きベクトルを示し、提案手法が2. で説明した問題を解決していることを示す。

## 2. 動き補償予測誤差が最小となる位置から動きベクトルを決定する手法の問題点

一般的なブロックマッチングアルゴリズムにおいて、動きベクトルは、輝度値の平均二乗誤差 (MSE) や平均絶対値誤差 (MAE) で評価される、動き補償予測誤差が最小となる位置から決定される。しかし背景画像などの輝度勾配が緩やかな部分において、MSE が最小の動きベクトルが最良のレート歪特性を導くとは限らないという問題がある。

そこでこの章ではまず、H.263 で用いられている動きベクトル符号化器について説明する。そして、この問題を如実に示す例として、動画像Football (図1) とSusie (図2) を使用した場合の、MSE が最小の位置から決定される動きベクトルを示す。最後にこの問題の原因について考察する。

### 2.1 H.263 で用いられている動きベクトル符号化器

H.263 で用いられている動きベクトル符号化器は、動きベクトルの差分を可変長符号化する。図3に動きベクトルの差分が必要とする符号量を示す。つまり、動きベクトルの差分が $\pm 16$ 画素の範囲であれば、その差分が小さいほど符号量が小さくなるように構成されている。

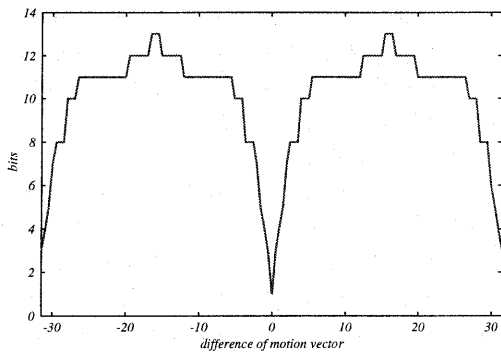
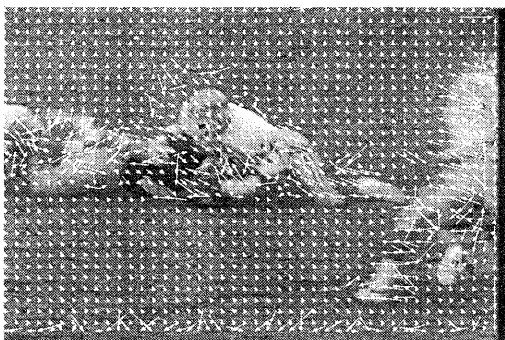
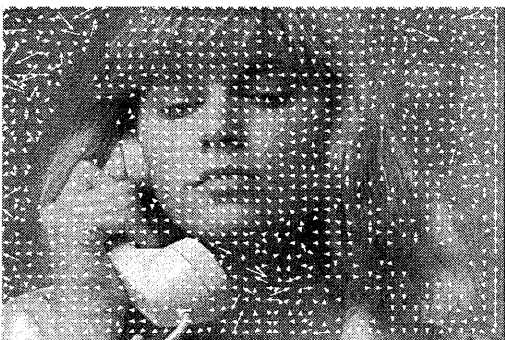


図3 H.263における動きベクトルの差分が必要とする符号量



(a) Footballの場合



(b) Susieの場合

図4 MSEが最小の位置から決定された動きベクトル

## 2.2 MSEが最小の位置から決定される動きベクトル

MSEが最小の動きベクトルが最良のレート歪特性を導くとは限らないという問題を如実に示す例として、MSEが最小の位置から決定される動きベクトルを図4(a)(b)に示す。図4(a)では、動きのある

人物部分で対応の動きベクトルが決定され、動きのない背景部分では $x$ 軸方向成分と $y$ 軸方向成分がほぼ0の動きベクトルが決定されている。したがってFootballの場合には、MSEが最小の位置から決定される動きベクトルは、画像本来の動きを十分に反映している。

しかし、図4(b)の背景部分で決定される動きベクトルは、先ほどとは異なり、 $x$ 軸方向成分と $y$ 軸方向成分がほぼ0となっていない。さらに、隣接ブロック間で動きベクトルが大きく異なるために、それらの差分をH.263の符号化器で符号化するならば、MSEが最小の位置から動きベクトルを決定する手法は、無駄に大きな符号量を要する。

## 2.3 問題の原因について

背景部分などの輝度勾配の緩やかな部分における探索範囲内では、どの動きベクトルの動き補償予測誤差もほぼ同じ値となる場合がある。この場合、最小MSEとなる位置は動画像本来の動きと無関係になる可能性がある。

つまりこの問題は、動きベクトルを決定する指標として、MSEなどの動き補償予測誤差のみしか用いていないことが原因と考えられる。したがって、動き補償予測誤差以外の指標も用いて動きベクトルを決定することによって、この問題の根本的な解決が期待される。

## 3. 文献[9]の手法

2.で説明した問題の解決が期待される文献[9]の手法では、動き補償予測誤差、動きベクトルに要する符号量、そして独自に定義された符号化効率に注目して動きベクトルを決定している。

しかし、ハイブリッド方式の動画像符号化におけるレート歪特性は以下の3要素により算出される。

- 動き補償予測符号化に要する符号量
- 予測誤差変換符号化に要する符号量
- 再構成歪（最終的に得られる画像の歪）

したがって、文献[9]の手法は予測誤差変換符号化に要する符号量や再構成歪に関しては直接考慮しないために、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定できる保証がない。

さらに、評価関数の性能を左右する定数の決定方法について言及されておらず、実際の処理ではこれの最適値を繰り返し処理で決定しなければならないため、計算量が膨大になることも問題である。

## 4. 提案手法

動きベクトルの探索範囲内から最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定するために、文献[9]の手法の二つの欠点を克服した手法を提案する。

この章ではまず、動きベクトル評価関数の概念について説明する。そして、提案手法が用いる動きベクトル評価関数について説明する。さらに、評価関数の性能を左右する定数の決定方法について考察する。

### 4.1 動きベクトル評価関数の概念

動き補償予測符号化(以下、MC)と予測誤差変換符号化(以下、DCT)の2段階を経るハイブリッド方式においては、探索範囲内で動きベクトルを決定することによって、以下の値が付随して決定される。

- $d$ : 動き補償予測誤差 (MSE)
- $D$ : 再構成歪<sup>(注1)</sup> (MSE)
- $R_1(d, D)$ : MC に要する符号量 (bits/pixel)
- $R_2(d, D)$ : DCT に要する符号量 (bits/pixel)

つまり、探索範囲内の全ての位置から、これら4要素が算出されるということである。

動きベクトル評価関数とは、これらの情報を代入するような構成で、最小の評価値となる位置から動きベクトルを決定するための関数である。例えば、一般的なブロックマッチングアルゴリズムにおける動きベクトル評価関数は動き補償予測誤差のみで構成される。

我々の研究の目的は、動き補償予測誤差以外の情報にも注目し、それを代入する動きベクトル評価関数を用いることによって、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定することである。

### 4.2 提案手法が用いる動きベクトル評価関数

3.で説明したように、ハイブリッド方式の動画像符号化におけるレート歪特性は $D$ ,  $R_1(d, D)$ ,  $R_2(d, D)$ の3要素が直接関係する。そこでこれら3要素の線形和を動きベクトル評価関数とすることによって、評価値が最小の位置から最良のレート歪特性を導く動きベクトルの決定が期待される。

これら3要素の単位は符号量と歪の2種類なので、これらの和を評価する場合には、単位を合わせるためにどちらかの単位に定数を乗じる必要がある。ここで乗じる定数を $\lambda$ とし、提案手法が用いる動きベクトル評価関数 $C(d, D)$ を式(1)で定義する。

$$C(d, D) = D + \lambda(R_1(d, D) + R_2(d, D)) \quad (1)$$

(注1) : MC と DCT を経て得られる画像と符号化対象画像との MSE.

探索範囲内の各位置において算出された  $D$ ,  $R_1(d, D)$ ,  $R_2(d, D)$  を式(1)に代入し、最小の評価値となる位置から、最良のレート歪特性を導く動きベクトルの決定が期待される。

### 4.3 定数 $\lambda$ の決定

式(1)が最良のレート歪特性を導くように定数 $\lambda$ を決定する必要がある、その手法は2通りある。ひとつは $\lambda$ にさまざまな値を代入して最適値を推定する手法である。しかしこの手法では、動画像の種類や符号化条件が異なる場合に対応できず、再計算するにしても計算量が膨大になってしまう問題がある。

もうひとつの手法は、式(1)を以下のように解釈することによって解析的に定数 $\lambda$ を決定する手法である。つまり、符号量要素 $R_1(d, D)$ と $R_2(d, D)$ の和が一定という拘束条件の下での再構成歪 $D$ の最小化問題を、ラグランジュの未定係数法で解く途中の式として式(1)を解釈する。

以下では、 $R_1(d, D)$ と $R_2(d, D)$ について考察した上で、解 $(d_0, D_0)$ を与える $\lambda$ の導出過程について説明する。

#### 4.3.1 $R_1(d, D)$ について

再構成歪 $D$ が $R_1(d, D)$ に与える影響について考察する。参照フレームは $D$ と同様な歪を持つと考えられるが、この値が極めて大きい場合を除けば、 $D$ は動き補償予測誤差 $d$ とは関係がないと仮定できる。つまり、 $D$ が $R_1(d, D)$ に与える影響は小さいと考えられる。したがって、

$$\frac{\partial}{\partial D} R_1(d, D) \approx 0 \quad (2)$$

とする。

#### 4.3.2 $R_2(d, D)$ について

式(1)を扱う上で、動き補償予測誤差 $d$ がガウス分布に従う無記憶情報源であると仮定すると、 $R_2(d, D)$ はRate Distortion関数[10]を用いて式(3)のように記述可能である。

$$R_2(d, D) = \frac{1}{2} \log_2 \frac{d}{D} \quad (3)$$

#### 4.3.3 解 $(d_0, D_0)$ を与える $\lambda$

式(2)(3)を用いて、 $C(d, D)$ を $D$ で偏微分した結果を0とした式を以下に示す。

$$\frac{\partial}{\partial D} C(d, D) = 1 + \lambda \left( 0 - \frac{1}{2D \log_e 2} \right) = 0 \quad (4)$$

式(4)から、解 $(d_0, D_0)$ を与える $\lambda$ は

$$\lambda = 2D_0 \log_e 2 \quad (5)$$

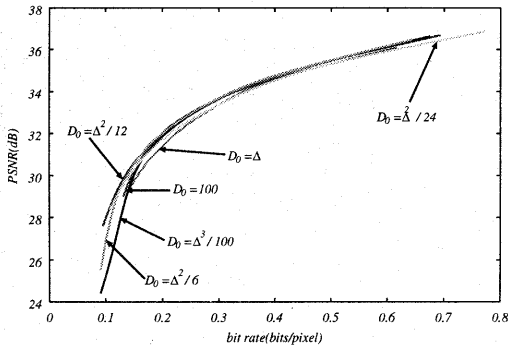


図5 様々な  $D_0$  によるレート歪特性

となる。

ここで、式 (5) 中の  $D_0$  を  $\Delta^2/12$  と近似することによって、式 (1) で用いる  $\lambda$  とする。なお  $\Delta$  は、動き補償予測誤差から得られる DCT 係数の量子化の際に設定される量子化ステップである。

#### 4.3.4 $D_0 \approx \Delta^2/12$ の妥当性の検証

この近似は、量子化ステップ  $\Delta$  で一様量子化した場合の量子化誤差が  $\Delta^2/12$  となることと、DCT 係数の量子化誤差が逆変換後の再構成歪とはほぼ変わらないことが理由である。しかし実際に符号化/復号化した場合に、この近似が妥当であるかどうか検証する必要がある。

そこで、様々な  $D_0$  を用いた提案手法によって得られるレート歪特性を図 5 に示す。なお設定に関しては、後述のシミュレーションと同じである。動画像は Football を用いた。図 5 より、この近似は妥当であると考えられる。

## 5. シミュレーション

本章では、提案手法の有効性を検証するために、MSE が最小の位置から動きベクトルを決定する手法、文献 [9] の手法、提案手法の三つの手法について、符号化/復号化シミュレーションを行った結果を示す。また、提案手法により決定される動きベクトルを示し、提案手法が 2. で説明した問題を解決していることを示す。

### 5.1 シミュレーションの設定

シミュレーションには動画像 Football, Susie を使用する。動画像は  $352 \times 240$  画素で 8 ビット階調であり、フレームレートは 30 分の 1 秒である。連続する 2 つのフレームを参照フレームと現フレームとし、参照フレームは符号化器・復号化器ともに非圧縮の状態保持しているものとする。

シミュレートする符号化器は、参照フレームを用いて現フレームを動き補償予測符号化するための動きベクトルを決定して符号化し、動き補償予測誤差を DCT で直交変換し、DCT 係数を同一の量子化ステップで量子化し、量子化された DCT 係数を符号化する。

また、シミュレートする復号化器は、参照フレームと動きベクトルを用いて現フレームを動き補償予測し、量子化された DCT 係数を IDCT して予測誤差画像を得て、それらを合わせることによって現フレームを再構成する。

なお再構成歪とは、符号化器が持つ符号化の対象である現フレームと、復号化器で再構成された現フレームとの差異によって生じる歪である。また、動きベクトルの差分と量子化された DCT 係数は、H.263 の可変長符号化テーブルを用いて符号化する。したがって動きベクトルは半画素精度で、 $x$  軸・ $y$  軸方向ともに  $-16.0 \sim +15.5$  画素の範囲となる。また、ブロックサイズは、動き補償予測符号化、予測誤差変換符号化ともに  $8 \times 8$  画素とする。画質は PSNR ( $10 \log_{10} \frac{255^2}{D}$ ,  $D$  は再構成歪の MSE) で評価する。

### 5.2 シミュレーション結果

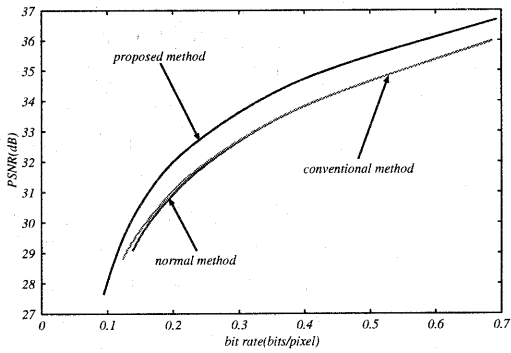
MSE が最小の位置から動きベクトルを決定する手法 (normal method)、文献 [9] の手法 (conventional method)、提案手法 (proposed method) の三つの手法について、シミュレーションを行った結果、得られたレート歪特性を図 6 (a) (b) に示す。なお、このレート歪特性は量子化ステップを 10 から 80 まで変化させることによって得られた。どちらの動画像においても、提案手法のレート歪特性が、MSE が最小の位置から動きベクトルを決定する手法や文献 [9] の手法のそれを上回っていることが確認できる。特に Susie において提案手法はレート歪特性を大幅に改善していることが確認できる。

### 5.3 提案手法により決定される動きベクトルについて

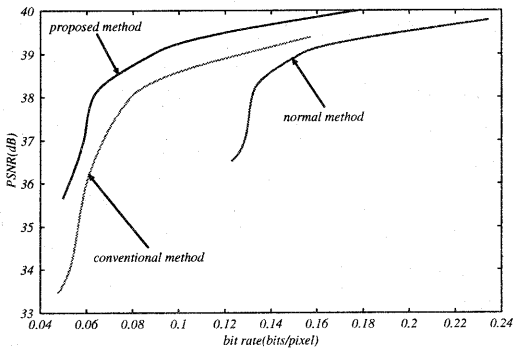
提案手法により決定される動きベクトルを図 7 (a) (b) に示す。図 4 (a) (b) よりも、図 7 (a) (b) の方が、動きベクトルの差分が小さくなっていることが確認できる。したがって、提案手法によって、動きベクトルの符号量が無駄に増加せず、動画像本来の動きを決定できることがわかる。

## 6. むすび

本論文では、動きベクトルの探索範囲内から、最良のレート歪特性を導く動きベクトルを決定する手

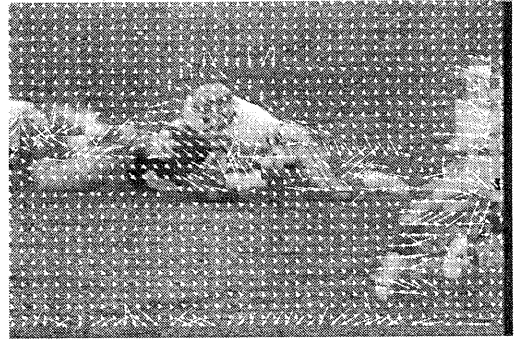


(a) Football の場合

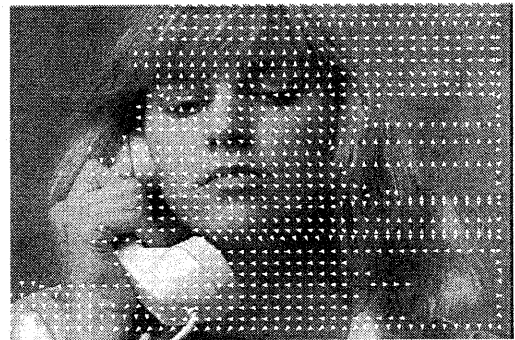


(b) Susie の場合

図 6 三つの手法によるレート歪特性



(a) Football の場合



(b) Susie の場合

図 7 提案手法により決定される動きベクトル

法を提案した。H.263 の符号化器を使用時に、従来手法と比較して、提案手法は同 PSNR で総符号量を約 10%~50%削減することができた。

今後の課題としては、提案手法の計算量を削減するために、予測誤差変換符号化に要する符号量と再構成歪に関して、実測値ではなく近似値を用いる手法について考察する予定である。また、提案手法を複数フレーム（例えば 30 フレーム程度）に適用した場合に、どの程度レート歪特性を改善できるかを調べる予定である。

## 文 献

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "ISO/IEC CD13818: Information technology," *MPEG-2 Committee Draft*, Dec. 1993.
- [2] International Telecommunication Union, "Video codec for low bitrate communication," *ITU-T Draft H.263*, May 1996.
- [3] T. Koga et al., "Motion compensated interframe coding for video conferencing," *NTC '81, National Telecommun. Conf.*, pp. G5.3.1-G5.3.5, New Orleans, LA, Nov.-Dec. 1981.
- [4] J. R. Jain and A. K. Jain, "Displacement measurement and its application in interframe image

coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 1799-1808, Dec. 1981.

- [5] 吉田, 宮本, 酒井, "動画像の動きベクトルに対する信頼度関数とその応用," *電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J80-D-II, No. 5*, pp. 1192-1201, May 1997.
- [6] 西原, 吉田, 酒井, "信頼度に基づくブロック統合を用いた動画像の高精度動きベクトル推定とその応用," *映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No. 1*, pp. 148-156, 1999.
- [7] 岩谷, 清水, 渡部, 坂田, "補償範囲内の誤差変動に基づく動きベクトル統合化の簡便法," *電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J84-D-II, No. 2*, pp. 425-428, Feb. 2001.
- [8] 夏井, 長谷山, 北島, "低ビットレート動画像符号化のための動きベクトルの選択法に関する考察," *電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 100, No. 210, DSP2000-79, SST2000-38*, pp. 19-24, Jul. 2000.
- [9] Lurug-Kuo Liu, "Rate-constrained motion estimation algorithm for video coding," *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 811-814, 1997.
- [10] 有本 卓, *現代情報理論*, 電子情報通信学会, p. 190, 1978.