

多数決原理に基づくファクシミリの 信号変換処理方式

准 員 鈴木 輝暁†

非会員 竹林 知善†

正 員 今井 秀樹†

Signal Modification Schemes for Facsimile Based on Majority Logic

Teruaki SUZUKI†, Associate Member, Tomoyoshi TAKEBAYASHI†, Nonmember
and Hideki IMAI†, Regular Member

あらまし 最近、ファクシミリのデジタル伝送のためのデータ圧縮が盛んに研究されている。これらのうちには、圧縮率を上げるために、符号化する前にあらかじめ原画像信号を局部的に信号変換処理し、意識的に符号化しやすいようにしてから符号化する方式が幾つか報告されている。本論文では、信号変換処理方式として、多数決原理を基本とする新しい方式を提案する。この方式は、簡単なアルゴリズムで比較的容易に装置化できる。しかも、画質上問題の少ない処理方式であり、高密度標本化が行われている場合には画質改善の効果も期待できる。本論文では、前処理としてこの信号変換処理方式を用いる場合について、エントロピーと理想圧縮率を求めて定量的な検討を行い、かなり圧縮率を向上できることを示す。更に、従来提案されている方式との比較を行う。

1. まえがき

最近、社会における情報化が進むのに伴い、多種多様の情報を高能率に伝送したいという要求が高まってきた。画像伝送の一つであるファクシミリは、これらの需要に応えるものとして脚光をあびており、そのデジタル伝送を高能率に行うための手段としてデータ圧縮が盛んに研究されている。これらのうちには、圧縮率を上げるために、符号化する前にあらかじめ原画像信号を局部的に信号変換処理し、意識的に符号化しやすいようにしてから符号化する方式が幾つか報告されている^{(1)~(4)}。

デジタル化されたファクシミリ信号、すなわち原画像信号を忠実に伝送しようとする方向の研究はかなりの段階にまで到達しており、これ以上の大幅な圧縮率の向上は困難と考えられる。そこで、信号変換という概念が生まれてきた^{(1)~(4)}。この目的は、再生画像のひずみや画質劣化を多少許容することにより、発生ひん度の少ない状態(画素のパターン)を故意に減らし

て、原画像信号の冗長度を増加させることにある。これにより、圧縮率の改善を図ることが可能となるわけである。しかし、従来の信号変換処理方式のうち、論理の簡単な方式は圧縮率をあまり上げることができないか、又は、画質上問題がある。一方、画質を損わないで圧縮率を上げようとする方式は、特定の変換パターンを用意しておく必要があるので、論理が複雑となってしまう傾向がある。

本論文では、信号変換処理方式として、多数決原理を基本とする新しい方式を提案する。この方式は、簡単なアルゴリズムで比較的容易に装置化できる。しかも、画質上問題の少ない処理方式であり、高密度標本化が行われている場合には画質改善の効果も期待できる。本論文では、この信号変換処理方式を圧縮率を高めるための前処理として用いる場合について、定量的な検討を行う。すなわち、種々の確率を測定して、画像情報量であるエントロピーを計算し、その逆数で与えられる理想圧縮率を求める。この理想圧縮率は、理論的に達成し得る圧縮率の限界となる。更に、従来提案されている幾つかの方式との比較を行う。

2. 信号変換処理方式

本章では、始めに、従来の信号変換処理方式につい

†横浜国立大学工学部情報工学科, 横浜市
Faculty of Engineering, Yokohama National University,
Yokohama-shi, 240 Japan
論文番号: 昭 55-17[B-7]

て簡単に説明を行い、次に、本論文で新しく提案する方式について説明する。そして最後に、これらの方式の定性的な比較を行う。

2.1 従来の信号変換処理方式

従来考案されている信号変換処理方式の主なものとして次のようなものがある^{(1),(4)}。但し、 W , B はそれぞれwhite, blackを表す。

[方式(a)] 図1のように、画素 e が孤立した B の場合に、それを W に変換する。

[方式(b)] 図2のように、画素 e が孤立した B の場合に、それを W に変換する。

[方式(c)] 図3のようなパターン(全部で33種類あるが、ここでは2種類だけ挙げる)を準備して、変換の対象となる画素 e をこのパターンにより変換処理する。

これらの方式の振舞については2.3で説明する。

2.2 多数決原理に基づく信号変換処理方式

本論文で提案する方式は、多数決原理を基本とする方式である。すなわち、十字形の図2のパターンにおいて、画素 e を、隣接4点のうち3点以上が W ならば W に、3点以上が B ならば B に変換し、半々ならばそのままに変換しないというものである。この論理を簡単にいうと、次のようになる。すなわち、十字形の図2のパターンの5個の画素 a, b, c, d, e のうち、3個以上が B ならば、 e を B に変換し、 B が2個以下ならば、 e を W に変換する。言い換えると、変換後の e を e' とすれば、

$$e' = f_3(a, b, c, d, e) = \begin{cases} 0 & \{a, b, c, d, e\} \text{中, } 1 \text{ が } 2 \text{ 個以下} \\ 1 & \{a, b, c, d, e\} \text{中, } 1 \text{ が } 3 \text{ 個以上} \end{cases} \quad (1)$$



図1 主走査線方向の孤立点

Fig.1-An isolated point in the main-scanning line.



図2 主走査線・副走査線の双方でみた孤立点

Fig.2-An isolated point in the main-and sub-scanning lines.

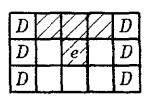
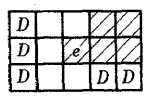


図3 変換パターン(DはWでもBでもよいことを表す)

Fig.3-Modification patterns (D: don't care).



とするのである。但し、ここでは W を0, B を1で表す。

以上述べた多数決原理を基本として、幾つかの方式が考えられる。以下に、2種類の方式を示そう。但し、図2のような2次元的なパターンを考えているので、境界は W であるとする。ファクシミリでは、通常 W の出る確率 $P(W)$ が大きいため、このように境界条件を W とするのは自然な設定である。

[方式(i)] 式(1)に従い、順次1画素ずつ変換を行う。但し、図2のパターンにおける画素 a, b は変換後のものを用いる。

方式(i)は、原画像が十分高密度に標本化されていて、情報として1ドットの細線が存在しない場合に適用できる方式である。なお、この方式の振舞については、次節で説明する。

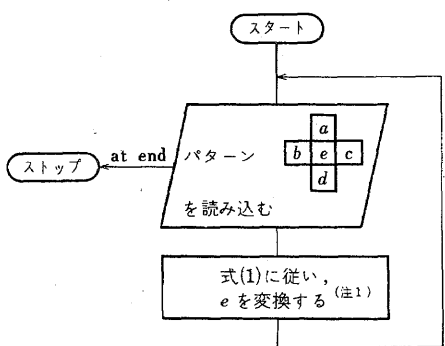
図4に、方式(i)の流れ図を示す。

[方式(ii)] 細線がある場合、または標本化が高密度に行われていない場合、方式(i)では1ドットの細線が消滅してしまうので好ましくない。しかし、方式(i)に簡単な制御を加えることにより、1ドットの細線の消滅を防ぐことが可能となる。これが方式(ii)である。以下、方式(ii)について説明を行うことにする。

式(1)に従って、変換を行う。但し、画素 e が信号変換を受けた場合、すなわち $e' \neq e$ となったとき、図5の画素 c, f, d, g の4個の画素はそのままに変換しない。又、図2のパターンにおける画素 a, b は変換後のものを用いる。

方式(ii)の振舞については、次節で説明する。

図6に、方式(ii)の流れ図を示す。方式(ii)を実現するためには、図5の画素 c, f, d, g の位置を示すフラグ



(注1) a, b は変換後のものとする。

図4 方式(i)の流れ図

Fig.4-Flow chart of scheme (i).

ビット列が1ライン+1ビット分必要となる。

ここで、方式(ii)の流れ図について説明しよう。画素 e に対応するフラグが“1”ならば、 e はそのままを変換を行わない。そして、 e に対応するフラグが“0”ならば、式(1)に従い e を変換する。その結果、 $e' \neq e$ となったとき、図5の画素 c, f, d, g に対応するフラグを“1”にして、次の画素から処理を続ける。 $e' = e$ となったときは、何も処理しないで、次の画素から処理を続ける。

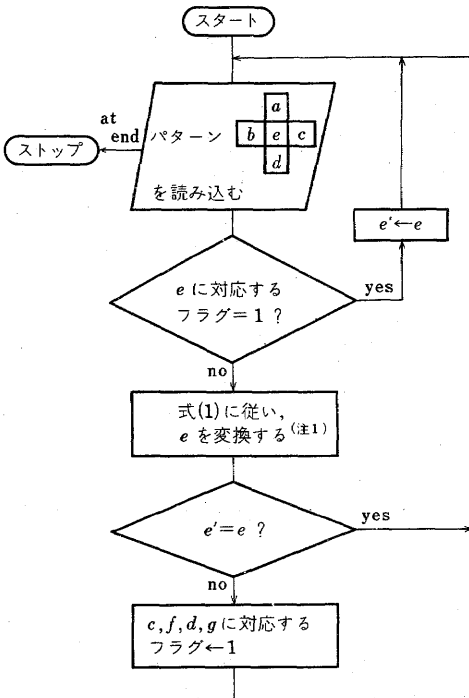
2.3 各信号変換処理方式の定性的な比較

ここで、従来の方式(a), (b), (c)と本論文で新しく提案する二つの方式(i), (ii)との定性的な比較を表1に示す。なお、メモリ数は必要最小限の数を挙げる。又、細線の消滅、ならびに輪郭線上の画素の変換の項については、以下に例を挙げて説明する。



図5 画素の位置

Fig.5-The location of picture elements.



(注1) a, b は変換後のものとする。

図6 方式(ii)の流れ図

Fig.6-Flow chart of scheme (ii).

表1 各信号変換処理方式の定性的な比較

方式	細線の消滅			輪郭線上の画素の変換	背景の孤立したBの変換	メモリ数
	縦	横	斜め			
(a)	有り	無し	有り	B:横のみ	有り	2ビット
(b)	無し	無し	有り	無し	有り	2ライン
(c)	短縮化	無し	有り	有り	無し	2ライン+4ビット
(i)	有り	有り	有り	有り	有り	2ライン
(ii)	短縮化	短縮化	点線化	有り	有り	3ライン+1ビット

まず、細線の消滅について説明しよう。方式(a), (b)については、原理から容易に分かるであろう。方式(c)については、1ドットの縦、ならびに横の細線の消滅がないように、変換パターンを設定している。しかし、図7のような1ドットの斜線では、右下の1点以外が消滅してしまう。方式(i)については、図2の画素 a, b は変換後のものを用いて、逐次的に変換処理を行うので、1ドットの細線は消滅してしまう。従って、方式(i)は高密度標本化が行われている場合以外は、適用が困難であると思われる。方式(ii)については、1ドットの縦、ならびに横の細線の上下、あるいは左右の端2ドットが消滅し、線が短縮化されることになる。又、図7のような斜線は、図8のように1標本点おきに交換され点線となる。

次に、輪郭線上の画素の変換について説明しよう。これは方式間において振舞が微妙に異なり、評価が非常に難しい。方式(c)は、デジタル化されたファクシミリ信号、すなわち原画像信号にできるだけ忠実となるように、且つ、データ圧縮に都合のよいように、変換パターンを用意して変換を行う方式である。しかしながら、図9のようなパターンに対しては、方式(c)はそのまま変換しない。これに対し、方式(i), (ii)は、図10のように変換する。すなわち、 B が変換され、 B のランレングスが長くなる。これにより、圧縮率の向上が期待できる。又、背景の孤立した B の変換についても同様なことが言える(表1参照)。

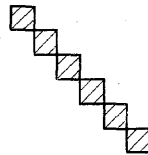


図7 1ドットの斜線
Fig.7-A slash of one dot in width.

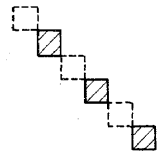


図8 方式(ii)による斜線部の信号変換
Fig.8-Modification of a slash using scheme (ii).

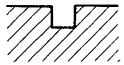


図9 パターンの一例
Fig.9-An example of the patterns.

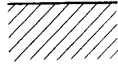


図10 変換後のパターン
Fig.10-The pattern after modification.

今まで、信号変換を圧縮率向上のための前処理としてとらえてきた。ここで、信号変換を行った場合の画質の問題について考えてみることにしよう。高密度に標準化されている文字や図形は、それ自体に冗長性があるので、局部的に信号を変換しても実用上さしつかえない場合が多い。更に、情報として1ドットの細線が存在しない場合には、信号変換処理により、背景の孤立したBの除去、輪郭線の平滑化を行うことができる。すなわち、画質改善の効果も期待できる。細線が存在する場合には、信号変換処理の適用に注意を要することはいうまでもない。

3. 2次元符号化における理論的境界⁽⁶⁾

本章では、定量的な検討を行うための手段として、2次元N次マルコフモデルについて説明する。

画像情報量を測定するためには、画像信号の確率モデルを設定する必要がある。ここでは画像の2次元的な相関をも考慮し、画像信号は2次元マルコフ過程に従うとする。この確率モデルは、図11に示すように、画素 X_0 がWであるかBであるかの確率が、既に走査済みの周囲N個(図11では $N=4$)の画素 $X_1 \sim X_N$ の状態によって定まるとするものである。このモデルによれば、1画素当りのエントロピーは、

$$H_{pe1} = - \sum_{X_0} \dots \sum_{X_N} P(X_0, X_1, \dots, X_N) \log P(X_0 | X_1, \dots, X_N) \quad (2)$$

で与えられる[†]。但し、 $P(X_0, X_1, \dots, X_N)$ は結合確率、 $P(X_0 | X_1, \dots, X_N)$ は条件つき確率を表す。

理想圧縮率は、エントロピーの逆数 $1/H_{pe1}$ で与えられる。これは、理論的に達成し得る圧縮率の限界となる。

4. 実験結果

本章では、各信号変換処理方式の定量的な比較を行うことにしよう。すなわち、種々の確率を測定して、式(2)からエントロピーを計算する。そして、エントロピーの逆数で与えられる理想圧縮率を求める。なお、

[†] pe1: picture elementの略で、画素を意味する。

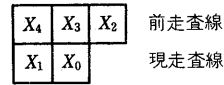


図11 2次元N次マルコフモデル
Fig.11-Two-dimensional Nth order Markov model.

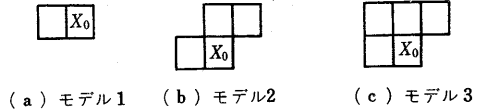


図12 情報源モデル
Fig.12-Source models.

情報源モデルとして、図12の3種類を用いることにする。

用いたデータは、次の7種類である。但し、原稿1~3では、文字の大きさは縦×横: 6×6~7×7mmとした。これは、実用上必要な解像度は1字当り約25×25画素といわれており⁽⁶⁾、実験で用いたファクシミリでは、主走査分解能4ドット/mm、走査線密度3.85ライン/mmであるからである。

- 原稿1 片仮名(手書き)
- 原稿2 英文字(手書き)
- 原稿3 英文字(レタリング)
- 原稿4 楽譜
- 原稿5 回路図1
- 原稿6 回路図2
- 原稿7 絵

以下、図13、14に、原稿3、5の原画像ならびに各信号変換処理を適用した画像を示す。又、表2にBの出る確率 $P(B)$ を示す。

原稿1~3のように解像度が十分な場合には、方式(i)と方式(ii)はほぼ同程度の画質であるといえよう。又、方式(a)、(b)では輪郭線上の画素が変換されておらず、方式(c)では背景の孤立したBが変換されていない。原稿4~7のように標準化密度が必ずしも十分でなく、1ドットの細線が存在する場合、方式(a)、(i)では細線の消滅が生じてしまっていることが分かる。これに対し、方式(ii)では1ドットの細線は短縮化、または点線化されるが、元の情報は一応残されることになる。

次に、それぞれの原稿の原画像、ならびに各信号変換処理後の画像について、三つの情報源モデル(図12参照)を仮定した場合の理想圧縮率を図15~17に示す。

図15~17から、信号変換処理を行うことにより、

FACSIMILE

(1) 原画像

FACSIMILE

(2) 方式(a)を適用した画像

FACSIMILE

(3) 方式(b)を適用した画像

FACSIMILE

(4) 方式(c)を適用した画像

FACSIMILE

(5) 方式(i)を適用した画像

FACSIMILE

(6) 方式(ii)を適用した画像

図13 原稿3: 英文字(レタリング)
Fig.13-Data 3: English characters.

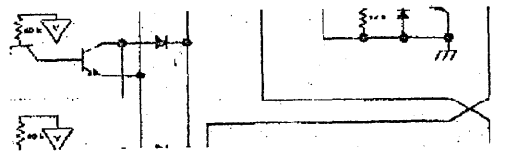
圧縮率の向上が得られることが分かる。ここで、圧縮率における改善度を次のように定義する。

$$\text{改善度} = \left(\frac{\text{信号変換処理後の画像の理想圧縮率}}{\text{原画像の理想圧縮率}} - 1 \right) \times 100\% \quad (3)$$

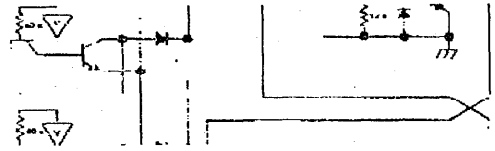
各信号変換処理方式について、図15~17から改善度を計算し、それらの平均を求めた結果を図18に示す。

多数決原理を基本とする信号変換処理方式は、画像の2次元的な相関を考慮しているので、1次元的なモデル1よりも2次元的なモデル2、3の方がより圧縮率が改善されていることが分かる。特に、モデル3で改善度の平均が39%前後であることは注目すべきことであろう。

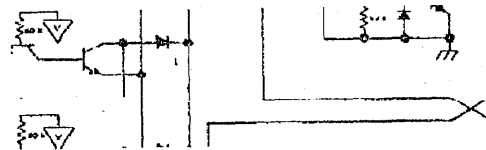
ここで、方式(i)と方式(ii)を比べてみよう。改善度の平均で4~9%程度、方式(i)の方が上回っている。しかし、方式(i)は画質の点で劣るので、一概には評価できない。高密度標本化が行われていて、情報として1ドットの細線がない場合には、圧縮率の高い方式(ii)を用いればよい。そして、細線のある場合には、画質の点で優れている方式(i)を用いるのが適当である。方式(ii)を装置化すれば、方式(i)の装置化は含まれる。つま



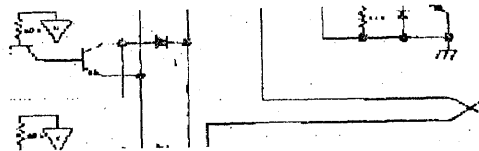
(1) 原画像



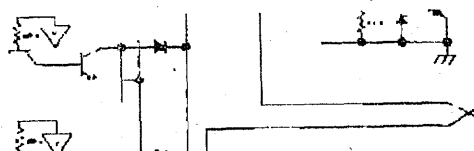
(2) 方式(a)を適用した画像



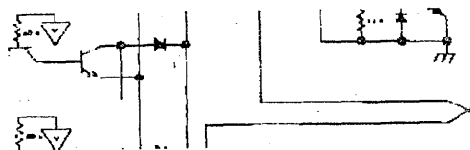
(3) 方式(b)を適用した画像



(4) 方式(c)を適用した画像



(5) 方式(i)を適用した画像



(6) 方式(ii)を適用した画像

図14 原稿5: 回路図1
Fig.14-Data 5: Circuit diagram-1.

り、方式(i)は、図6でフラグをすべて“0”に固定しておきさえすれば実現できることになる。従って、画像に対して使い分けることにより、信号変換処理を効果的に行うことができるであろう。

表2 Bの出現確率

原稿 \ 方式	原画像	方式(a)	方式(b)	方式(c)	方式(i)	方式(ii)
1	0.02724	0.02697	0.02712	0.02695	0.02697	0.02693
2	0.03910	0.03878	0.03902	0.03876	0.03944	0.03928
3	0.05621	0.05497	0.05587	0.05563	0.05551	0.05551
4	0.2221	0.2168	0.2195	0.2148	0.2108	0.2129
5	0.06527	0.06071	0.06457	0.06450	0.06202	0.06415
6	0.09864	0.09127	0.09812	0.09744	0.09567	0.09739
7	0.1161	0.1123	0.1153	0.1182	0.1187	0.1176

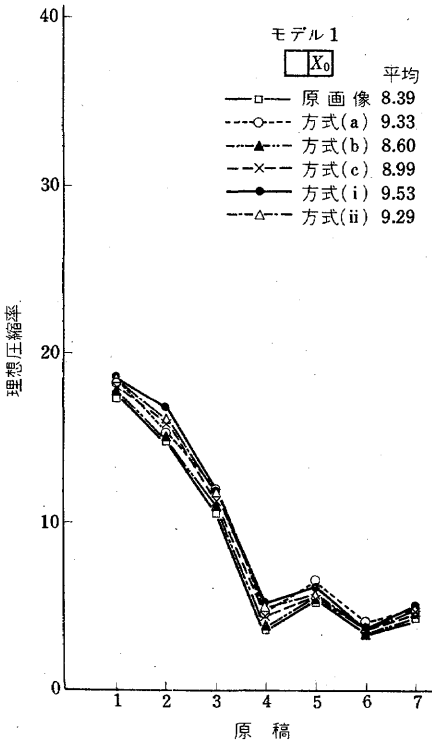


図15 モデル1を仮定した場合の理想圧縮率

Fig.15-Ideal compression ratios for model 1.

方式(i)は、すべての場合において、他の方式よりも改善度の平均が勝っている。又、方式(ii)もおおむね他の方式よりも改善度の平均がよいが、モデル1においてのみ方式(a)より改善度の平均が低くなっている。しかし、方式(a)は細線の消滅という問題があるので、改善度の平均だけでは一概に比較することはできないと考えられる。

以上の実験結果から、次のような結論が得られる。多数決原理を基本とする方式は、方式(c)と比べて、デ

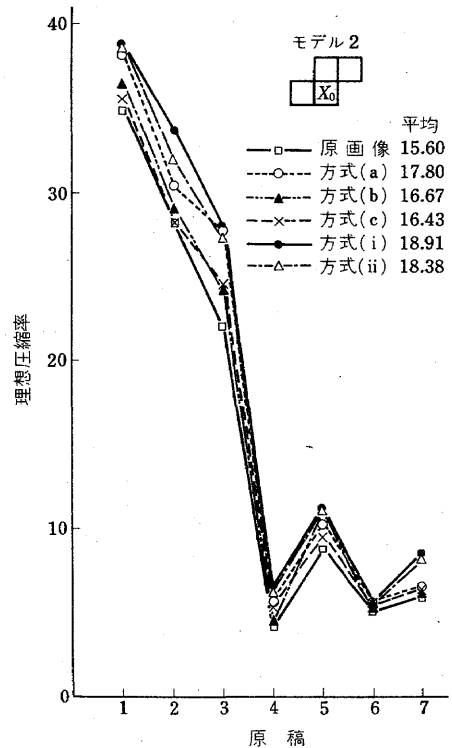


図16 モデル2を仮定した場合の理想圧縮率

Fig.16-Ideal compression ratios for model 2.

ィジタル化されたファクシミリ信号に対する忠実性は劣るが、多くのパターンを用意しておく必要がない。そして、この方式は簡単なアルゴリズムで比較的容易に装置化できる。又、この方式は画質上問題の少ない処理方式であり、高密度標本化が行われている場合には画質改善の効果も期待できる。

5. む す び

本論文では、ファクシミリ信号の変換処理方式とし

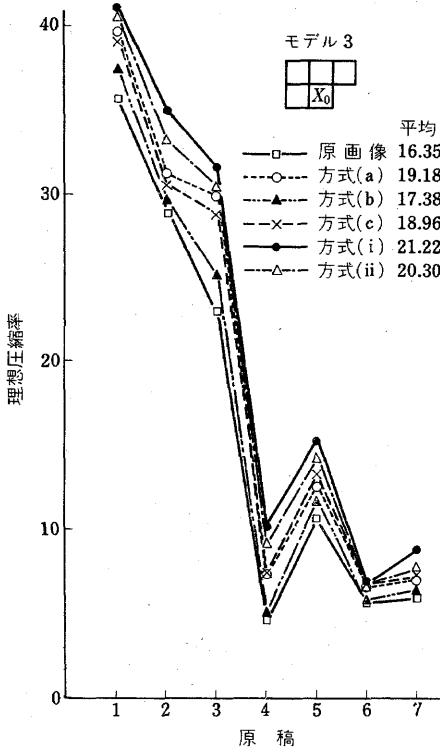


図17 モデル3を仮定した場合の理想圧縮率
Fig.17-Ideal compression ratios for model 3.

て、多数決原理を基本とする新しい方式を提案した。この方式は簡単なアルゴリズムで比較的容易に装置化できる。しかも、画質上問題の少ない処理方式であり、高密度標本化が行われている場合には画質改善の効果も期待できる。本論文では、データ圧縮の前処理としてこの信号変換処理方式を用いた場合に、種々の確率を実際に測定して、エントロピー及び理想圧縮率を求めた。その結果、かなりの圧縮率の向上が得られることが分かった。

本論文では、ランレングス符号化などの現実的な符号化を行った場合の圧縮率については論じなかった。これについては、今後、検討を行う必要があるであろう。又、今後残された問題として、各方式間のより統一的な評価をどのように行ったらよいかということが挙げられる。更に、理論的な課題として、信号変換処理を2次元的なSliding Block Code⁽⁷⁾としてとらえ、

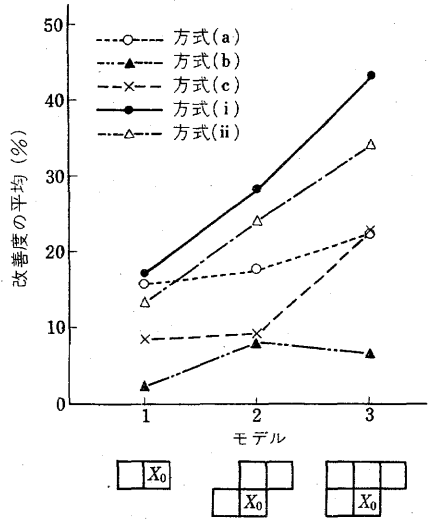


図18 改善度の平均
Fig.18-Average ratios of improvements.

情報理論と結びつけていくことが考えられよう。

謝辞 本研究の実験に御協力頂いた本学佐々木実、鈴木英孝、大久保昌哉、長坂康司の各氏に深謝致します。

文 献

- (1) 安田, 古賀: "擬似ランダム順序入替えによるファクシミリ帯域圧縮多重伝送方式", 画電学誌, 1, 1, p.6 (昭47-04).
- (2) 川出, 中川: "ファクシミリ符号化における孤立点除去, ブリッジングの効果", 昭51 信学総全大, 1027.
- (3) 高木, 津田: "信号変換処理によるファクシミリ帯域圧縮", 信学論 (A), J60-A, 2, p.147 (昭52-02).
- (4) 高木, 津田: "画質を重視した3ライン変換ファクシミリ帯域圧縮方式", 信学技報, IE75-8 (1975-05).
- (5) Preuß, D.: "Twodimensional facsimile source encoding based on a Markov model", Nachrichtentech. Z., 28, 10, p.358 (1975).
- (6) 山本, 荒川: "ファクシミリにおける解像度と文字品質に関する検討", 画電学誌, 2, 2, p.63 (昭48-06).
- (7) Gray, R.M., Neuhoff, D.L. and Ornstein, D.S.: "Nonblock source coding with a fidelity criterion", The Annals of Probability, 3, 3, p.478 (1975).
(昭和54年3月29日受付, 8月20日再受付)