

二値画像の各種拡大／縮小方式の性能評価および 処理速度改良方式†

正 嶋 博^{††} 葛貫 壮四郎^{††} 中島 啓介^{††}
坂東 忠秋^{††} 平沢 宏太郎^{††}

OA の進展により、文字以外の図形や画像をも容易に取扱えるオフィスワークステーションが求められている^{1)~4)}。ここでは2値画像編集機能を実現するために不可欠な各種の2値画像の拡大／縮小方式の定量的な画質評価を行い、最後にその手法の一つである距離反比例法の処理速度改良方式について述べる。2章では代表的な二値画像拡大／縮小方式である論理和法、最近傍法、9分割法¹⁾、投影法²⁾および距離反比例法³⁾を掲げ、そのアルゴリズムと特徴について述べる。3章では、これら画像の拡大／縮小方式についての画質評価を行う。ここでは光学的な拡大／縮小を理想画像として、各アルゴリズムにより処理された画像との相速度を数値的に比較した結果、最近傍法、投影法および距離反比例法が良好な画質を示した。また各方式による画像の黒化(ツブレ)、白化(ヌケ)の度合いについても評価を行った。次に、視覚的な評価を行い、先の数値評価との比較を行っている。4章では、距離反比例法の欠点の一つである処理速度の遅さを向上させる方法について述べる。ここでは4画素を多数の小領域に分け、理論式より得られたデータを各小領域にあてはめ、これをROM化し、処理の高速化を可能とした。また、この高速化の実施後でも画質が、それほど低下しないことを定量的、視覚的に示す。

1. ま え が き

近年オフィスオートメーション(以下OA)が進展するとともに、一般文書作成用日本語ワークステーション(以下WS)には従来の文字だけでなく、図形、画像をも容易に処理あるいは編集する機能が求められている。最近各社より日本語処理機能に図形処理や計算機機能を付加した複合WSが発表され始めた。また一部ではこれらの機能にさらに画像処理機能をもった高機能WSも発表されている。

このようなWSで画像データの自由な編集を行うためには、切貼り、移動、拡大／縮小、回転などの機能が必要であるが、これを実現する場合には一般に補間と呼ばれる処理が必要となる。この補間処理の高品質性と高速性はおのおの画像編集機能の基本要素である。

そこで、本研究の目的は、画像編集に不可欠である高速高品質な画像補間方式を提案し、定量的な画質評価を行うことにある。補間方式としては、論理和法、最近傍法、9分割法¹⁾、投影法²⁾、距離反比例法³⁾がある。このうち距離反比例法³⁾は、画像拡大時の斜め方向の接続が他方式よりも優れていることを特徴の一

つとする補間方式である。これらの5種の画像補間方式について、2章では、そのアルゴリズムの紹介、3章ではこれら5種の方式による画像画質の評価を行っている。この3章では従来視覚的にしか行われなかった画質評価を一步進めて、定量的評価を試みている。これらの画質評価結果より、距離反比例法を選択して4章でこれを高速化する手法について説明している。距離反比例法は多数回の実数演算のため処理に時間を要するが、ROMテーブルを用いることにより、15倍以上の高速化を実現している。

次に、この高速化方式を用いた画像の画質評価を行い画質は若干低下したものの十分実用に耐えることを明らかにした。

2. 補間方式の概要

2.1 補間処理

画像を拡大／縮小、回転する場合にデジタル処理では、補間と呼ばれる処理が必要となる。図1は補間処理を三角形の原画像を2/3に縮小する例を用いて示している。拡大／縮小等の画像変換を行うには、まず原画像上に倍率の逆数の間隔をもつメッシュをかぶせ、その格子点を変換画像上の1画素とする。この図の例では、変換画像上の画素Qは原画像上の点Pに対応する。点Pは原画像上の画素の間にあるため、その明るさは、周囲の画素情報から計算する必要がある。この計算結果を変換画素Qの明るさとするることによ

† Evaluation of Some Binary Image Enlargement and Shrink Methods and Speed-up Method by HIROSHI SHOJIMA, SOUSHIRO KUZUNUKI, KEISUKE NAKASHIMA, TADA AKI BANDO and KOUTARO HIRASAWA (Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所日立研究所

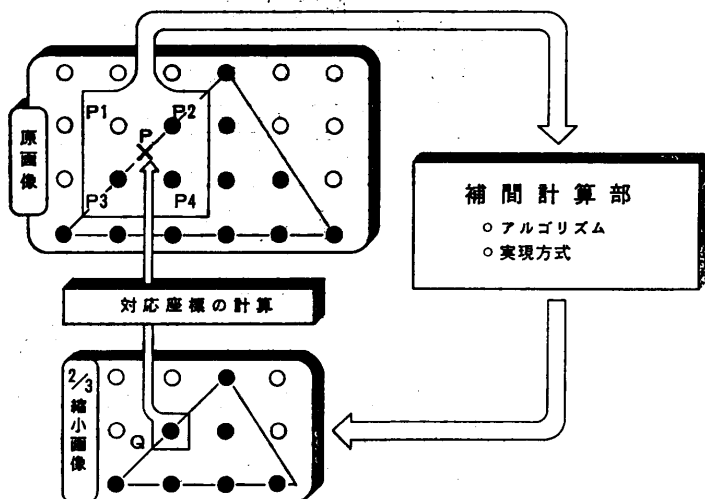


図1 補間計算
Fig. 1 Interpolation.

り、変換画像が作成される。この処理を補間という。

2.2 各方式概要

2.2.1 論理和法

明るさが不明な点 P の周囲 4 画素 $P_1 \sim P_4$ のうち、少なくとも一つの画素が“1”ならば点 P の値を“1”とする方式で、拡大/縮小時にツブレを生じる欠点があるが、以下に述べる方式と比較して処理が簡単であるため高速処理が可能であること、また画像縮小時に画素データが消失しにくく、データの保存性が良いことなどの利点がある。

次式は、論理和法による明るさの数式表示である。

$$I(P) = \bigcup_i I(P_i) \quad (2.1)$$

ここで $I(P)$, $I(P_i)$ はおのおの点 P, 画素 P_i の明るさ、 \cup は論理和記号である (ただし, $i=1, 2, 3, 4$)。

2.2.2 最近傍法

これは点 P に最も近い周囲画素の明るさを点 P の明るさとして与える方式で、縮小時にヌケが目立ち、拡大時には画像が滑らかでなくなる欠点がある。一

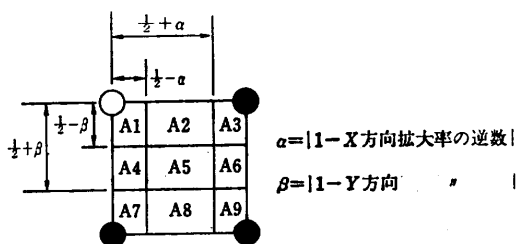


図2 9分割法
Fig. 2 9-Segment method.

方、原画像の白黒比をよく保存するという特徴をもっている。

次式は最近傍法の数式表示である。

$$I(P) = I(P_i(\min r_i)) \quad (2.2)$$

ここで r_i は点 P と画素 P_i との距離である。

2.2.3 9分割法¹⁾

これは図2に示すように点 P の周囲 4 画素間を X, Y 3 分割すなわち 9 個の領域 $A1 \sim A9$ に分け、各領域に式(2.3)~(2.11)で示されるような論理式を与えて点 P の明るさを決定する方式である。この方式の特徴は拡大率に応じて分割領域の面積比を変更することで、拡大率 $\leq 2/3$ のとき論理和法と同様にデータのツブレを生じさせ、データの消失を防ぐと

いう利点があるが、一方拡大率 ≥ 2 でも同様にツブレを生じるため、画像拡大時には画像が劣化する、という欠点がある。

$$P \in A1 \Rightarrow I(P) = I(P_1) \quad (2.3)$$

$$P \in A2 \Rightarrow I(P) = I(P_1) \cup I(P_2) \quad (2.4)$$

$$P \in A3 \Rightarrow I(P) = I(P_2) \quad (2.5)$$

$$P \in A4 \Rightarrow I(P) = I(P_1) \cup I(P_3) \quad (2.6)$$

$$P \in A5 \Rightarrow I(P) = I(P_1) \cup I(P_2) \cup I(P_3) \cup I(P_4) \quad (2.7)$$

$$P \in A6 \Rightarrow I(P) = I(P_2) \cup I(P_4) \quad (2.8)$$

$$P \in A7 \Rightarrow I(P) = I(P_3) \quad (2.9)$$

$$P \in A8 \Rightarrow I(P) = I(P_3) \cup I(P_4) \quad (2.10)$$

$$P \in A9 \Rightarrow I(P) = I(P_4) \quad (2.11)$$

2.2.4 投影法²⁾

投影法では明るさを画素ではなく面として対応づける。すなわち図3の場合、原画像は白黒二つの領域で表されている。このとき点 P とその領域を原画像上に図のように投影し、領域内部の白黒の平均値をあるしきい値で 2 値化したものを点 P の明るさとする。特徴としては、これまで説明した他方式と比較して計算が複雑になるが倍率 < 2 では比較的画質が良い。しかし倍率 ≥ 2 では最近傍法と同様に、画像の滑らかさが失われる。

次式は投影法の数式表示である。

$$I(P) = \{\sum S_i \times I(P_i)\} / \sum S_i \quad (2.12)$$

ここで S_i は点 P を囲む領域を周囲画素の領域で分割した面積を示す。

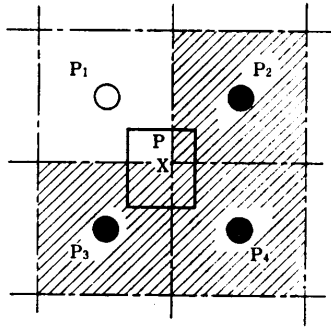


図 3 投影法
Fig. 3 Projection method.

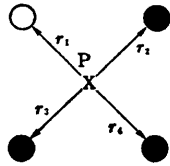


図 4 距離反比例法
Fig. 4 Inverse distance method.

2.2.5 距離反比例法⁷⁾

明るさを求める点から周囲画素への距離の逆数を重みとして点Pの明るさを求める“距離反比例法”について以下説明する。

図4は距離反比例法の原理を示したものである。点Pから周囲画素P₁~P₄への距離r₁~r₄を求める。この距離の逆数を重みとして周囲画素の明るさを加えたものを適当なしきい値で2値化し、これを点Pの明るさとする。

次式は距離反比例法の数式表示である。

$$I(P) = (\sum r_i^{-K})^{-1} \times \sum \{I(P_i) \times r_i^{-K}\} \quad (2.13)$$

ここでr_iは点Pと周囲画素P_iとの距離、Kは距離の寄与率を示す。パラメータKは筆者らの実験の結果2付近が最適であることがわかっていて、また、ここでは参照する周囲画素をP₁~P₄の4点としているが、筆者らの実験では画像の縮小時に参照点数を16点に増加しても顕著な効果は現れなかったので以降の評価では処理時間が短い4点参照のみを行っている。

3. 画像の画質評価

3.1 DIP法による定量的画質評価法⁷⁾

従来、画像画質の評価は視覚による定性的評価のみであったため客観性に欠けていた。そこで、今回画質の定量的評価の一手法を提案する。

DIP (Difference from Photo image) 法とは光学

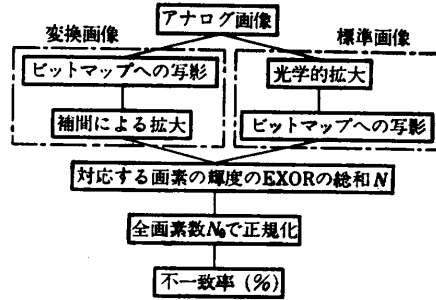


図 5 DID (Difference from Photo image) 法.
Fig. 5 DIP (difference from photo image) method.

的な拡大/縮小画像を理想画像として、これと2章で述べた各補間方式による変換画像の相違を評価値とするもので、以下にその詳細を述べる。

3.1.1 DIP法

図5にDIP法の流れを示す。

評価の対象となる変換画像は、まず

- ① 原画像をビットマップ上に展開する。
- ② ①で得られたデジタル画像を各補間方式で変換する。

一方、評価の基準となる理想画像は

- ③ 原画像を光学的に変換する。
- ④ ③で得られた画像をビットマップ上に忠実に展開する。

⑤ ②および④で得られた画像のおおの対応する位置の画素の明るさを比較し、値が異なる点の総和を求め、これを画質の評価値とする。

すなわち、評価値がゼロであれば、変換画像は理想画像と完全に一致していることを意味し、評価値が大きいほど画質が劣化していることを意味する。

3.1.2 定量的画質評価結果

本評価法を用いた各補間方式による変換画像の画質評価結果を図6に示す。この図は横軸に拡大率、縦軸に全画素数で正規化した評価値を示す。単位はパーセントである。また評価に用いた原画像は、ファクシマリの画質評価用標準画像の一つである放射状線群を用いた。

図より

① 論理和法はシミュレーションの範囲で評価値が10%以上である。これは2章の原理のところでも述べたように画像のツブレによるものと考えられる。

② 最近傍法は評価値が4%程度であり、他の補間法と比較しても相違が小さい。

③ 9分割法は拡大率が2/3以下あるいは2倍以上では論理和法と同程度の評価値となる。

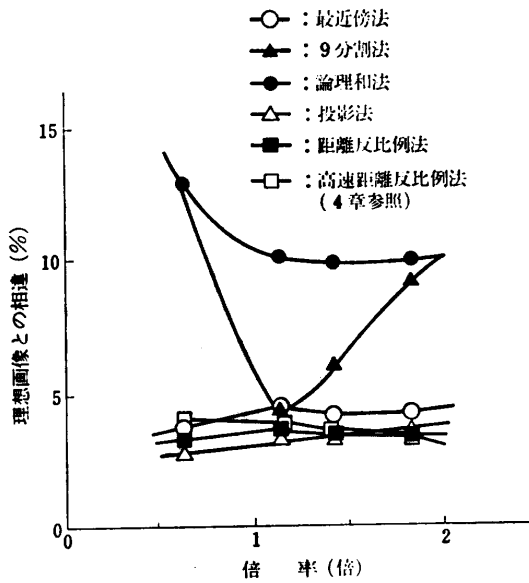


図 6 画質の定量的評価結果

Fig. 6 Quantitative evaluation of converted images.

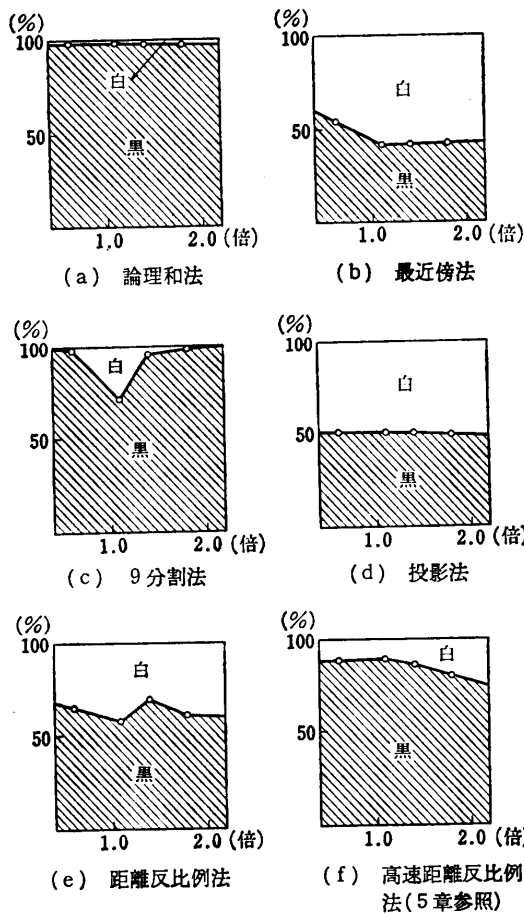


図 7 画像の黒化度

Fig. 7 Blackening of converted images.

④ 投影法は評価値が 3~4% で、拡大率 2 以上では原理的に最近傍法と同じになる。

⑤ 距離反比例法は、評価値が 3~4% で、④ の投影法とほぼ同程度であり画像の再現性が良いことがわかる。

一般に変換画像は理想画像に対してヌケとツブレが混在しているが、これらについても評価を行った。このことはとくに細い線画 (たとえば文字図形) の拡大/縮小に重要な評価値となりうる。すなわち、細い線画の場合、ある一つの線分や一つの点の欠落あるいは付加が、その画像画質を大きく左右するためである。

今回の評価では、各方式でのヌケ、ツブレの割合は図 7 のようになる。図より

① 論理和法では、すべてツブレとなり、画質の劣化原因は画像のツブレによるものであることがわかる。

② 最近傍法は、ヌケ、ツブレはほぼ 50% ずつで

録 像	録 像	録 像	録 像	録 像
集 住	集 住	集 住	集 住	集 住
論理和法	最近傍法	9分割法	投影法	距離反比例法

(1) 0.6 倍

録 像	録 像	録 像	録 像	録 像
集 住	集 住	集 住	集 住	集 住
論理和法	最近傍法	9分割法	投影法	距離反比例法

(2) 0.8 倍

録 集	録 集	録 集	録 集	録 集
論理和法	最近傍法	9分割法	投影法	距離反比例法

(3) 1.8 倍

録 像 集 住

原画像

図 8 各方式による画像の拡大/縮小例
Fig. 8 Enlargement and shrink example by each method.

あり、画像の白黒比は保たれることがわかる。

③ 9分割法は、倍率1付近ではツブレは、ほぼ60%であるが、その他の倍率では論理和法と同様にツブレが大部分となっていることがわかる。

④ 投影法では最近傍法と同様に白黒比をほぼ保存している。

⑤ 距離反比例法ではツブレが60~70%となっており若干ツブレが多いことがわかる。

3.2 視覚的な画質評価

図8は文字を原画像として、これを2章で述べた補間法を用いて拡大/縮小した例である。これらのシミュレーションは汎用16ビットパソコンを用いている。文字は32×32ドットのものを用いた。

図より画像縮小時では、

(1) 論理和法と9分割法では画像のツブレが目立つ。

(2) 最近傍法はヌケが生じている。

(3) 距離反比例法、投影法は文字0.6倍時にヌケが生ずるものの他方式と比較して画像の再現性が良好である。

画像拡大時では、

(1) 論理和法と9分割法は縮小時と同様に画像のツブレが目立つ。

(2) 最近傍法と投影法では画像のエッジ部が階段状になり滑らかさが失われる。

(3) 距離反比例法では、線が太り気味であるものの水平垂直ストロークだけでなく斜めストロークも他

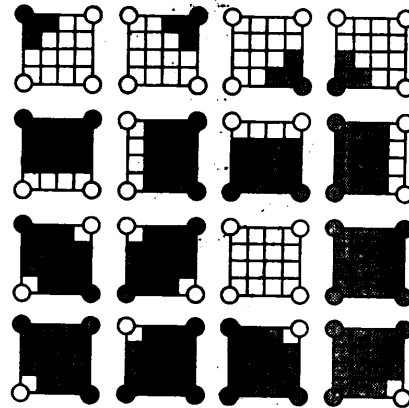


図10 4点間16分割パターン例
Fig. 10 Table pattern example of 16 segmented area.

の4方式より滑らかになっている。

以上、3.1節、3.2節で述べた画質評価結果より距離反比例法は、まず定量的評価から、一般図形に対し理想画像とのずれが小さく、また、細線画像に対してもデータの消失や過剰な付加が少なく、視覚的评价から画像が滑らかである等の特徴を有していることがわかった。

しかし、処理時間的に見ると、他方式と比較して5倍から10倍の時間を要す。したがって次章では、距離反比例法の高速化について述べる。

4. 高速化

4.1 16分割テーブル法

距離反比例法は処理の中に多数回の実数演算を含む

ためデータ処理に時間を要する。一方、点の明るさの決定は拡大率には依存せず、点の位置のみに依存する。そこで、図9に示すように、理論的に得られる周囲画素情報に応じた白黒パターンをあらかじめROM等のテーブルに格納しておき、点の座標データをこのROMのアドレスとして明るさを求めることにより、処理の高速化が図れる。ここで、4画素で囲む領域をX、Y各4分割すなわち16個の領域に分割し、理論的な白黒パターンを近似したものを16分割テーブル法と呼ぶ。この結果、試作した画像編集装置^{5)~7)}において、理論式に比べて約15倍の高速化を達成し、投影法、最近傍法、

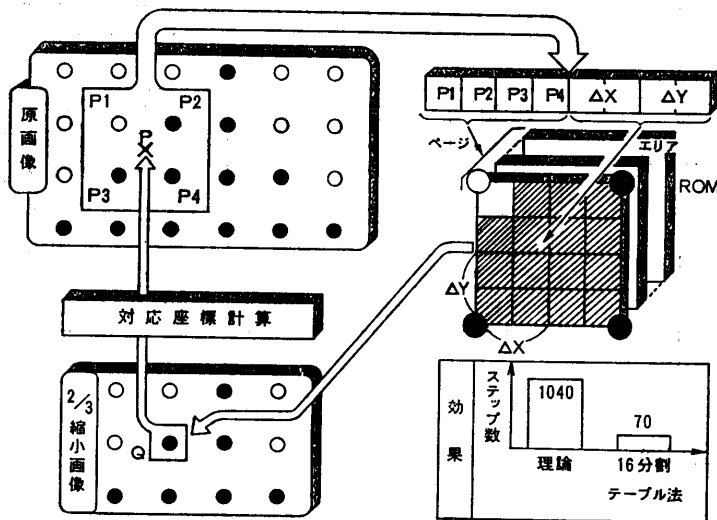


図9 距離反比例法の高速化
Fig. 9 High speed inverse distance method.

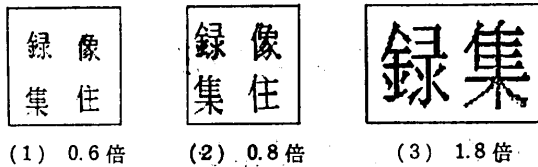


図 11 高速距離反比例法による画像の拡大/縮小
Fig. 11 Image scaling with high-speed inverse distance method.

9分割法と同程度、論理和法の1/2の処理速度を得ることができた。

図 10 に本方式でのテーブルパターン例を示す。

また、図 6、図 7 および図 11 に高速化後の定量的な画質評価結果と、実際の文字拡大/縮小例を示す。図より、16分割テーブル法は、距離反比例法の理論式による出力と比較して、若干理想画像との相違が大きくなっている程度で視覚的な画質は、0.6~1.8倍の範囲で良好であることがわかる。

5. 評価範囲

本論文では文字画像の拡大/縮小の範囲を 0.6~1.8 としているが、これは

- ① 今回評価に用いた文字画像の最小線幅が“1”であるため、0.5 以下の拡大率では、拡大処理後の画像データが保存されない。
- ② 一方 2.0 以上では、もともとの画像データの粗さが現れてくるため、各方式に有意差を認められない。
- ③ 1.0 付近の拡大/縮小の際に原画像のイメージをよく保存できるかどうかの評価である。等の理由による。

6. むすび

以上、画像を拡大/縮小するための補間方式について、定量的、定性的な画質評価とその実現方式について述べたが、結果を要約すると以下ようになる。

(1) 画像の拡大/縮小方式には、論理和法、最近傍法 9 分割法、投影法さらに距離反比例法等があるが、これら各方式を拡大率等のパラメータを変化させて画質を評価し、距離反比例法が他の方式と比較して

優れていることを明らかにした。

(2) 距離反比例法をそのまま実現すると実数演算が多く、処理速度が遅くなる。このため周囲の 4 画素間を 16 個のメッシュに分割し、このメッシュに距離反比例法で得た明るさの分布を“1”、“0”で割当てて 16 分割テーブル法を提案し、画像編集試作機上で約 15 倍の高速化を図った。

(3) また、従来画像の画質評価は人間の視覚による定性的な評価が主であったが、今回、原画像を光学的に拡大/縮小した理想画像との比較による定量的画質評価の手法を立案し、この手法を用いて補間方式の画質評価を試みた。

今後の課題としては、今回の定量的画質評価で判断できなかった画像の滑らかさの定量的評価方式について検討すること、文字を画像データとして取り扱うことによる、マルチサイズフォントへの本拡大/縮小方式の応用等が挙げられる。

謝辞 本研究にあたり、ご指導いただいた木脇部長およびご協力いただいた研究室の皆様には深くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 菊池他：イメージ情報処理システム，日本電気技報，No. 138，pp. 70-75 (1981)。
- 2) 森田他：高速投影法による拡大縮小試作装置，第 13 回画像工学コンファレンス，pp. 183-186 (1982)。
- 3) 中山他：画像情報ファイル装置，東芝レビュー，Vol. 36，No. 3，p. 250 (1981)。
- 4) 井沢他：文書ファイルにおける文書画像表示，電子通信学会全国大会，5-167 (1981)。
- 5) 葛貫他：文字・図形・画像処理機能を有する高精細ビデオ端末システムその 1，情報処理学会全国大会，p. 245 (1983)。
- 6) 中島他：文字・図形・画像処理機能を有する高精細ビデオ端末システムその 2，情報処理学会全国大会，p. 247 (1983)。
- 7) 正嶋他：文字・図形・画像処理機能を有する高精細ビデオ端末システムその 3，情報処理学会全国大会，p. 249 (1983)。

(昭和 58 年 8 月 26 日受付)

(昭和 60 年 3 月 20 日採録)