

Title	階層的符号化された文書画像のリアルタイム解像度変換方式
Author(s)	竹内, 功明
Citation	
Issue Date	1997-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1043
Rights	
Description	Supervisor: 日比野 靖, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

階層的符号化された文書画像のリアルタイム解像度変換方式

指導教官 日比野 靖 教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

竹内 功明

1997 年 2 月 14 日

目 次

1	序論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
2	ビットマップイメージ文書	3
2.1	ビットマップイメージによる文書表現	3
2.2	電子ファイリングシステム	5
2.3	ネットワーク環境での画像文書情報の運用	6
2.4	文書画像の符号化方式	10
2.4.1	ランレングス符号化	10
2.4.2	MH 符号化方式	10
2.4.3	MR 符号化方式	11
2.4.4	MMR 符号化方式	11
2.4.5	JBIG 符号化方式	11
3	解像度変換方式	14
3.1	空間領域での間引きと補間による方式	16
3.2	変換領域での帯域制限による方式	16
4	空間領域での間引きと補間による方式	18
4.1	単純サンプリングによる方式	18
4.2	加重平均による方式	19
4.3	面積比による方式	20
4.4	最近隣サンプリングによる方式	23

4.5	最近隣加重平均による方式	24
5	変換領域での帯域制限による方式	26
5.1	周波数領域での間引きによる方式	26
6	各変換方式の評価	28
6.1	変換速度の評価	28
6.2	画質の評価	30
6.2.1	画質評価での基準画像の問題点	31
6.2.2	S/N 比による評価	31
6.2.3	主観評価	33
7	考察	36
7.1	変換速度	36
7.2	主観評価	37
7.3	S/N 比と主観評価の関係	40
7.4	グレースケールの基画像での評価	40
7.5	変換方式の使い分け	41
7.6	CRT モニタ以外への出力	41
7.7	解像度が固定されているデバイスへの応用	42
7.8	画像文書の利用環境の例	42
8	結論	44
8.1	本研究の成果	44
8.2	今後の課題	45
A	S/N 比の測定結果のグラフ	49
A.1	各標準画像毎の方式と解像度の違いによる S/N 比の変化を示すグラフ	49
A.2	各方式毎の標準画像と解像度の違いによる S/N 比の変化を示すグラフ	54
B	S/N 比の測定を行なった画像の例	57
C	ITU-T 標準画像	64

D	主観評価を行なった画像の例	73
E	主観評価で使した評価スケールの例	82
F	主観評価の集計結果	84
G	評価のために作成したプログラム	95
G.1	変換速度の評価のために作成したプログラム	95
G.2	S/N 比による評価のために作成したプログラム	109
G.3	主観評価のために作成したプログラム	112
H	各変換方式に対する各評定者の評定値	129
I	各方式に対する各評定者の評定順位と評定者全体での評定順位	140
J	TIFF	142
J.1	History	142
J.2	Scope	142
J.3	Features	143
J.4	TIFF Structure	143
J.4.1	Image File Header	143
J.4.2	Image File Directory	144
J.4.3	IFD Terminology	145
J.4.4	Fields are arrays	147
J.4.5	Multiple Images par TIFF File	147
J.5	Bilevel Images	148
J.5.1	Required Fields for Bilevel Images	152
J.6	Grayscale Images	152
J.6.1	Differences from Bilevel Images	152

第 1 章

序論

1.1 本研究の背景と目的

文書をイメージデータ化した電子ファイリングシステムをベースに、LAN を用いた自由度の高い検索・閲覧により、組織内の情報を有効に利用しようとする動きが盛んである。

このような環境では紙、CRT、液晶といった様々な出力デバイスにユーザが望む解像度でレスポンス良く表示できることが重要になる。こうした様々な出力デバイスへの対応を目的に、次世代 FAX 用符号化方式として JBIG が提案されている。JBIG は原画像に対して $1/2$ の解像度変換作業を繰り返して階層的画像データを作成し、予測符号化するもので、6bit 程度までのグレースケール画像でも、JPEG 可逆モードより高い圧縮率を有する。また、階層的なデータ構造を持つことで出力デバイスに応じて解像度を使い分けたり、逐次的な表示を実現するソフトコピーが可能となる。

しかしながら、現在利用されている電子ファイリングシステムでは、JBIG のような階層的符号化はまだ行なわれておらず、プリント用と画面表示用の画像データを用意するか、必要に応じて原画像から生成するものがほとんどである。

ユーザの要求に応じて文書画像の解像度を変換するとき、単一の解像度の原画像から変換を行なう場合に比べ、階層的符号化が行なわれている画像を利用すれば、画質と変換速度の両立がより容易になると考えられる。

本研究では、階層的符号化された白黒 2 値の文書画像データから、任意の解像度の画像をリアルタイムに得るための変換方式について検討する。

1.2 本論文の構成

第1章 この章では本研究の目的と背景、本論文の構成について記述する。

第2章 文書をビットマップイメージとして取り扱う利点と欠点について述べ、実際にどのように利用されているかを簡単に記述する。また、ビットマップイメージを対象とした符号化方式について述べ、特に本研究と関連の深い、階層的符号化を行なうJBIGについて簡単に説明する。

第3章 解像度変換方式を空間領域での間引きと補間による方式と変換領域での帯域制限による方式に大きく2つに分け、それぞれの特徴について議論する。

第4章 空間領域での間引きと補間による方式について実際に本研究で検討を行なった変換方式について述べる。

第5章 変換領域での帯域制限による方式について実際に本研究で検討を行なった変換方式について述べる。

第6章 検討した各変換方式に対して、作成したプログラムを用いた、変換速度の評価と画質の評価について、その方法と結果を示す。

第7章 本研究で検討、評価を行なった各方式について考察し、その利用例を示す。

第8章 本研究の成果をまとめ、今後の課題について述べる。

第 2 章

ビットマップイメージ文書

2.1 ビットマップイメージによる文書表現

文書へのアクセス (参照、記録) は、人間の知的作業を支える、最も基本的かつ、重要な活動であると考えられる [1]。

そのため、人間が知的作業を行なう場では報告書、議事録、伝票、パンフレット・カタログ、メモなど多種多様な文書が活用され、重要な位置を占めている。

この文書を整理するために、キャビネット、ドロア、フォルダなどが利用されてきたが、既存の文書を検索するのに手間がかかり、情報の共有や再利用が困難であった。そのため、重複文書や不要文書が多くなり、これらの整合性をとり、管理を行なう労力も膨大なものとなる。

そこで計算機の普及とともに文書を電子的媒体に置き換え、データベースで管理し、共有化と省スペース化を図り、作業効率を高めることが行なわれてきた。

ここで、文書を計算機上で扱う場合、次のような二つの立場がある。

- 文書の構成要素に合わせて計算機上で扱いやすい内部表現で蓄積する。
- 文書をビットマップイメージとして蓄積する。

前者の立場は、文書の各ページをテキスト、図、写真などの構成要素に分解して扱い、後者の立場は、文書の各ページを 1 つの画像として扱う。文書を電子的媒体に置き換え、計算機上で運用する場合、計算機上での扱いやすさから前者の立場で文書を扱うことが多かった。

しかし、一つの文書の各構成要素をオブジェクトとして扱う場合、個々のオブジェクトの内部表現方法は様々であり、いずれも独自の形式を用いる場合が多い。そのため異なるプラットフォーム間での相互運用性が乏しい。プラットフォームに依存しないデジタル文書形式が様々なレベルで提案、実用化されてきてはいるが、これらの形式間での相互運用性の問題もある。

また、文書の利用者の最終出力デバイス（画面、紙など）で作者が想定していたものと全く同じ形で出力されている保証に乏しく、各々のシステムの違いにより、完全な再現は容易ではない。

文書を計算機上で扱いやすい形式にして表現する PostScript の場合では、フォントの問題がその例である。文書の書き手と読み手の間で共通のフォントを持っていない場合がある。このような状況では、作者が想定したものと同一形式で出力される可能性は極めて低い。また、写真のようなものが文書に含まれる場合、その部分はビットマップイメージとなるため、PostScript を利用している価値が低くなる。

また、同様の立場である PortableDocumentFormat(PDF) では、プラットフォームに依存せずに、文書の再現性を高めようという目的で PostScript の弱点に様々な補強が行なわれているが、完全な再現性が実現されたものは存在しない。また、PDF と同様の目的で提案されている他の形式間との相互運用性の問題もある。

さらに、紙などの従来の文書メディアを計算機上で扱いやすい形式で電子的媒体に置き換える作業も、様々なツールを駆使した多大な労力を必要とする。

一方、このような構造的な電子文書形式ではなく、ビットマップイメージを用いて文書を表現すると、ビットマップイメージのコンピュータ内の表現が極めて単純であり、すべてのプラットフォームで統一をとることは容易である。また、ビットマップイメージは最終生成物そのものであるため、文書の作者と利用者の見るものは全く同一である。さらに、紙もハードウェア化されたビットマップイメージであり、スキャナなどを用いることで、容易に電子的媒体に置き換えることが可能である。

しかし、構造を持った電子文書でなくなったことで失うことは極めて多い。特に大きな問題として、

- 検索、編集が困難
- データサイズの増加

があげられる。

ビットマップイメージとして文書を扱うことで、計算機上にデータがあることの最大の利点とも言える検索が一気に困難となる。さらに、データがかさばる。データの再利用という観点からも、テキストエディタやドローツールで編集できるものと比べると利用価値が下がったと考えられる。さらに、出力するデバイスに依存して解像度の変換をしなければならない。これは出力の品質に直接影響を及ぼす。

しかしながら、これらの問題は、何かが「できなくなってしまった」のではなく、「困難になってしまった」に過ぎない [1]。

検索や編集は、人間と同じように、ビットマップイメージを計算機がその都度認識すればよく、このようなビットマップに基づく処理系が研究されている [7, 8, 10]。また、増加したデータは、計算機能力と符号化効率の向上で、動画を計算機上で扱う今日では大きな問題とはなくなってきた。

文書を扱う場合、ユーザに要求されているものは何かと考えたとき、最終生成物は文書という「絵」であり、これを電子的に表現をするのにビットマップイメージは極めて素直で直接的な方法であると言える [1]。

2.2 電子ファイリングシステム

現在の電子ファイリングシステムは紙にかかれた文書をスキャナなどを用いてビットマップイメージデータとして蓄積するものである。主な機能は、文書イメージの入力、管理、検索、表示、印刷などがある。蓄積した文書画像データはそれぞれの文書データを入力した時に登録したキーワードで検索を行なう。表示機能は実際に文書を参照する際の使い勝手を左右し、画面上での表示サイズを変更する拡大・縮小、そして1ページずつ順番に表示をするといった操作が提供されている。

電子ファイリングシステムの例として、リコーの「蔵楽」[11] などがある。これはPC上で画像文書を扱うもので、「キャビネット」、「ボックス」、「文書」の3階層構造で管理を行なっている。

また、電子ファイリングシステムの専用ハードウェアとして独立した Sony の「DATA EATA」がある。これは図 2.1 に示すような可搬型の端末で、内蔵のハードディスク、または MD に画像文書を蓄積する。また PC とのリンクも可能となっている。



図 2.1: DATA EATA

2.3 ネットワーク環境での画像文書情報の運用

最近、前節で述べた電子ファイリングシステムをネットワーク環境で活用しようとする動きかが盛んである。例えば、イントラネットを利用して、http クライアント（ウェブブラウザ等）で画像文書を利用したり、グループウェアの一部として画像文書を利用できる機能を備えたものがある。前者の例として、Sony の「情報ポスト」、そして後者の例として、富士通の「ImageOffice」[16] などがあげられる。



図 2.2: 情報ポスト

「情報ポスト」は WWW サーバ上に画像文書を蓄積する。専用のマークシートと原稿をイメージリーダーに読み込ませることで、画像文書として登録、蓄積する。利用者は図 2.2 の様に WWW ブラウザでこれらをブラウズすることができる。「ImageOffice」の場合、図 2.3 のように独自のブラウザを持っており、同社のグループウェア「TeamOffice」と併用することで画像文書をネットワークを通して共有することが可能となる。

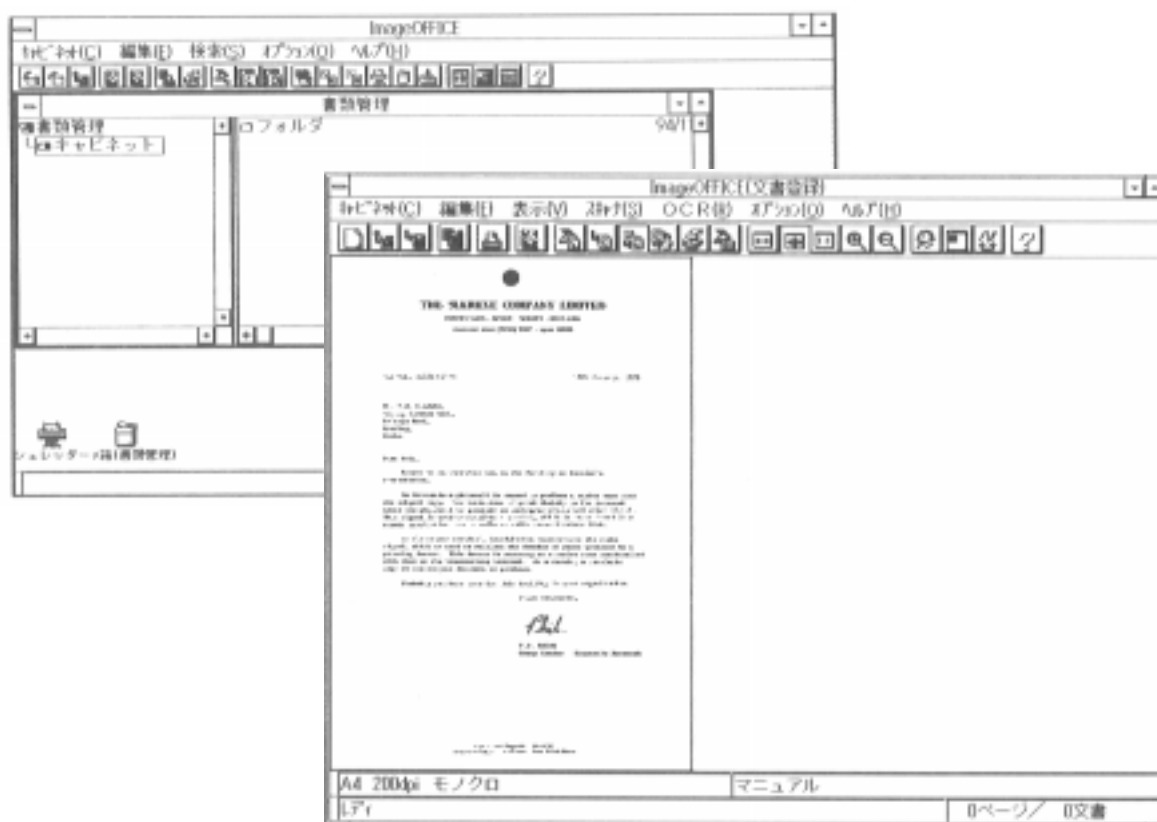


図 2.3: ImageOffice

また、図 2.4に示す日立の光ディスクファイリングシステム「HitFile」[14] はイントラネットでの利用、グループウェアと連携した利用両方をサポートする例である。ワードプロセッサや表計算などのアプリケーションプログラムで作成したデータをイメージ化し、登録することで、使用するアプリケーションプログラムや計算機環境に依存しない長期保存を可能とする。また、ワードプロセッサや表計算などのアプリケーションプログラムに比べ、ページめくりが早くなっている [15]。

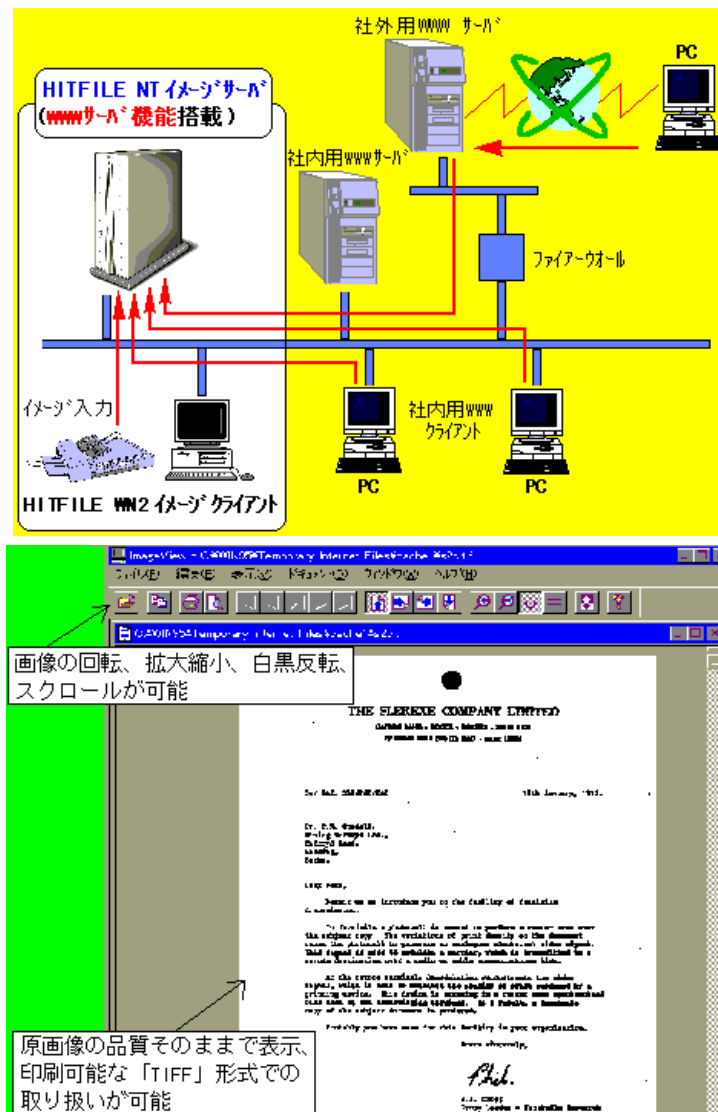


図 2.4: HitFile

2.2節、2.3節で画像文書を扱うシステムの実用化例として述べたものを含め、現在利用されている多くのシステムでは画像文書の蓄積形式に TIFF を用いている。これは TIFF 形式が一つのファイル内に複数の画像が存在可能であるため、書類の複数のページ、すなわち一つの書類を構成する複数の文書画像を一つの TIFF 形式のファイルに収めることができ、一つの書類を一つの TIFF ファイルに対応づけることができるためであると考えられる。この TIFF の簡単な説明を付録 J 章に示す。

しかしながら、現在利用されている電子ファイリングシステムでは、プリント用と画面

表示用の解像度の画像データを用意するか、必要に応じて蓄積された高解像度の画像から生成するものがほとんどであり、JBIG のような階層的符号化を利用したものはない。そのためユーザの望む大きさの画像を提供しようとする画質と表示速度の両立が困難となる。

2.4 文書画像の符号化方式

ビットマップイメージのデータ量を減少させるため様々な符号化方式が提案されている。ここで、2 値の文書画像の符号化方式として広く利用されてきたランレングス符号化、それを応用した MH, MR, MMR 符号化方式、そして本研究と関連のある、階層的符号化を行なう JBIG について簡単に説明する。

2.4.1 ランレングス符号化

2 値の画像は白画素あるいは黒画素がある程度固まって出現する場合が多い。そこで、1 次元方向に白あるいは黒の連続する画素のひとかたまりを符号化の単位とし、その長さを符号化する。白または黒の連続した 1 つのかたまりをランといい、その連続した画素数をラン長 (ランレングス) という。白画素のランのあとは必ず黒ランであり、逆も成り立つので、各走査線の先頭ランの種別が分かれば各ランに対する色の情報は不要である。

2.4.2 MH 符号化方式

MH(Modified Huffman) 符号化は基本的にランレングス符号化である。この方式は画素数 1728 に対して、0 から 1728 までのラン長を 64 ごとのグループに分け、

$$l = 64m + t$$

と表している。各グループを表す make up 符号 m と、そのグループ内のどの長さのランかを表す terminating 符号 t との組み合わせでラン長を表すようにしたものである。 m と t は、各符号の使用される確率を用いハフマンの手法により符号語が定められている。符号語の種類は $64 + 1728/64 = 91$ 個であるが、白ランと黒ランで確率分布が異なるので、それぞれに別々の符号語を用い、また各走査線の終わりに EOL 符号 (end of line) を使うので、全部で 183 個となる。

2.4.3 MR 符号化方式

MR(Modified READ) 方式は 2 次元の符号化方式である。符号化は既に符号化された一つ上の参照走査線と、現在符号化しようとしている符号化走査線のデータを用いて行われる。これにより、MH 符号の 53% から 72% の符号量で符号化ができる。

MR 符号化の場合、参照走査線を用いて符号化が行われるので、参照走査線の符号語を伝送する際、伝送誤りが生ずると、その影響が以後の符号化に及ぶこととなる。これを避けるために MR 符号化では、 K 走査線に一度 MH 符号化を挿入し、誤りが広く伝搬することを防ぐ。この K のことを K ファクタと呼ぶ。MH・MR 符号化では、各走査線の終わりに EOL 符号が入るので、EOL 符号間の画素数を調査すれば、伝送誤りを検出することができる。伝送誤りが生じた場合は、一つ前の走査線をその走査線の情報とする手段がよくとられる。

2.4.4 MMR 符号化方式

MMR(Modified Modified READ) 符号化方式は、G4 ファクシミリ装置に適用されている符号化標準で、原理的には前述の MR 符号化方式と同じである。

MR 符号化方式では、伝送誤りを考慮して走査線 $K - 1$ 本 ($K = 2$ ないし 4) おきに 1 次元符号化を行なっているが、G4 ファクシミリ装置では HDLC 手順等による誤り訂正機能を適用しているため、伝送誤りに対する符号化段階での考慮が必要なくなり、MMR 符号化方式では全ての走査線に対して 2 次元符号化を行なっている。すなわち、MR 符号化方式で $K = \infty$ にした場合と等価である。ただし、MR 符号化で使用している走査線同期信号 (EOL)、フィル、制御復帰信号は使用しない。

MMR 符号化方式では、走査線毎の同期を取る EOL 符号を採用しない代わりに、符号化されたファクシミリ情報の最後に、ファクシミリ符号化データの終了を示すファクシミリ・ブロック終端符号 (EOFB) が付加される。

2.4.5 JBIG 符号化方式

様々な出力デバイスへの対応を目的に、次世代 FAX 用符号化方式として JBIG[2] が提案されている。図 2.5、図 2.6 に示したように、JBIG では画像縮小方式 PRES で原画像に対して $1/2$ の解像度変換作業を繰り返し、それぞれの解像度で予測、算術符号化を行な

い、階層的画像データを作成する。階層的符号化されたデータを利用する場合、目的の解像度の画像は、その解像度の階層を復号化したデータと、その解像度の1つ下の解像度の画像データを使用して生成される。

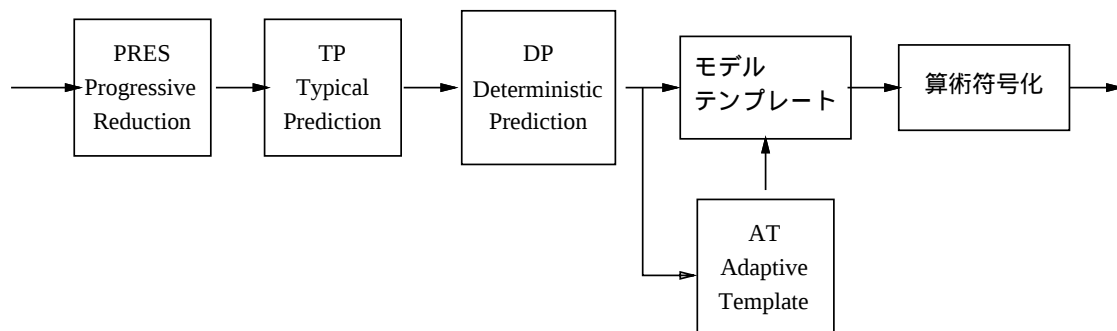


図 2.5: JBIG 符号化方式ブロック図

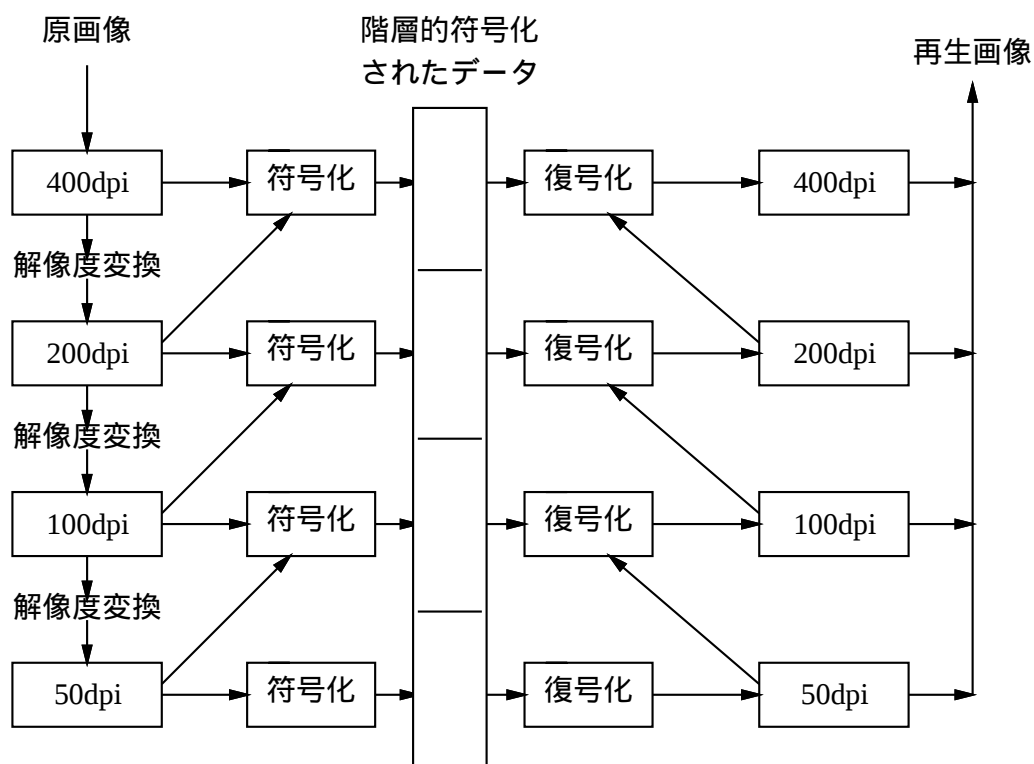


図 2.6: 階層的画像データの符号化と復号化

JBIG は、G4 FAX で用いられている MMR に比べ、通常の文書画像で 10 ~ 50%程度、圧縮率が向上し、ディザ画像では 20 ~ 30 倍もの圧縮率となることもある。また、6bit 程度までのグレースケール画像でも、JPEG 可逆モードより高い圧縮率を有する。

階層的なデータ構造を持つことで出力デバイスに応じて解像度を使い分けたり、逐次的な表示を実現するソフトコピーが可能となる。

この JBIG 符号化方式を利用した FAX 機である松下グラフィックコミュニケーションシステムの「Panafax B80」[12] では、MMR に比べ標準原稿でデータ量が 4/5 に減少した。また、写真などの混在した原稿で従来の約 1/4 ~ 1/5 に伝送時間が短縮された [13]。

しかし、JBIG 符号化方式では利用できる解像度は原画像の $1/2^n$ 倍に限定される。そのため、様々な出力デバイスにユーザの望む解像度で出力しようとするとき、そのままでは必要とする解像度を得られないことが多く、JBIG で得られる限定された解像度の間の任意の解像度の画像を生成する必要がある。

第 3 章

解像度変換方式

JBIG 符号化方式での画像縮小 (解像度変換) 方式 PRES により原画像の $1/2^n$ 倍の解像度を持った複数の画像を得ることができる。本研究では、これらを基に、その間の任意の解像度を補間する方式を検討する。ここで、JBIG 符号化方式での画像縮小 (解像度変換) 方式 PRES により得られる原画像の $1/2^n$ 倍の解像度を持った複数の画像をそれぞれ基画像と呼び、解像度変換によって得られた画像を変換画像と呼ぶことにする。図 3.1 に解像度変換の概念図を示す。

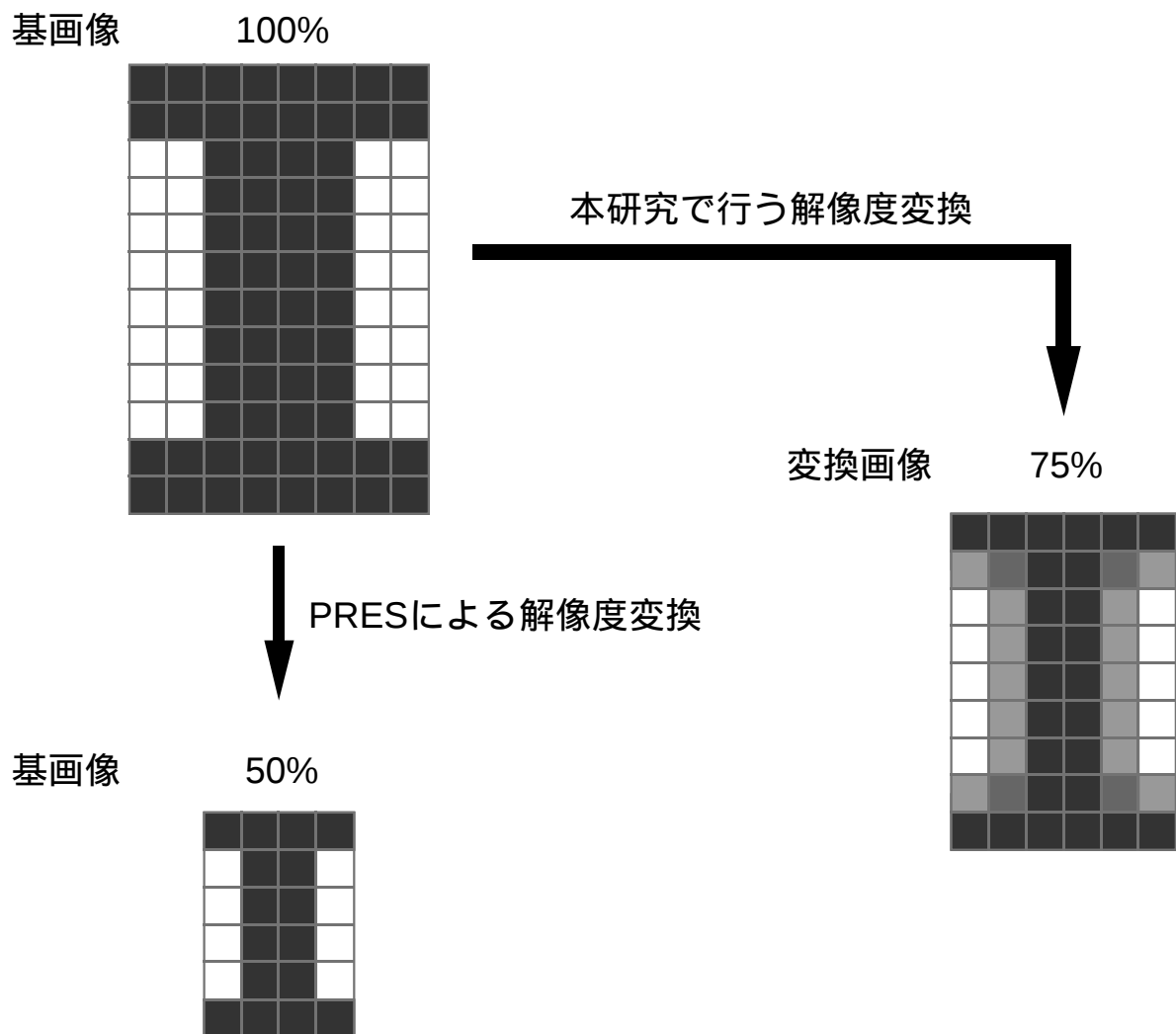


図 3.1: 解像度変換概念図

本研究では基画像から変換画像を得る方式として、大きく分けて、

- 空間領域での間引きと補間による方式
- 変換領域での帯域制限による方式

を検討した。3.1節と 3.2節でそれぞれの方式の特徴を簡単に述べる。

3.1 空間領域での間引きと補間による方式

要求された解像度に応じて基画像を選び、変換画像に対する単純な画素のマッピングを行なう。本研究では画素のマッピングを固定して行なう方式と、面積比を利用して変化させる方式を検討した。また、変換画像の各画素の値はマッピングに従って、基画像の 1 画素を代表させ、その画素の値をそのまま使用する方式と、基画像での近傍画素の重み付き平均を取る方式を検討した。

画素のマッピングを固定し、代表させたがその値をそのまま使用する場合、単純な演算で変換画像の画素の値が決定できるため、計算量が少なく高速な解像度変換が可能となることが予測される。しかし、基画像から単純な画素の間引きを行ない変換画像を作成するため、エリアシングを起こしやすい。これを防ぐため、近傍画素との加重平均を取ったり、面積比を利用しマッピングによる代表画素を変化させることでエリアシングを抑えることが可能であると考えられる。

本研究では空間領域での間引きによる方式として、

1. 単純サンプリングによる方式
2. 加重平均による方式
3. 面積比による方式
4. 最近隣サンプリングによる方式
5. 最近隣加重平均による方式

を検討した。

各々の詳細は次章で述べる。

3.2 変換領域での帯域制限による方式

要求された解像度に応じて基画像を選び、これを N 点 ($n \times n$) のブロック毎に区切り、 N 点 DCT を行なう。これにより得られた N 個の係数から低域の M 個を取り出す。この M 点にのみ IDCT を行なうことで M 点 ($m \times m$) の画素を持つブロックを得る。これにより $N : M$ の解像度の変換を行なう。

この方式は帯域制限を伴うことになり、よりエリアシングが抑えられると期待される。しかし画像をブロックに区切って行なうためブロック歪みが発生する。また、DCT と IDCT を行なうため、空間領域での変換に比べて変換速度が遅くなる。

本研究ではこの方式を、

6. 周波数領域での間引きによる方式

として、検討を行なった。

この方式について 5 章で具体的に説明する。

第 4 章

空間領域での間引きと補間による方式

空間領域での解像度変換方式として検討した各方式について具体的に述べる。
ここで、各方式で共通の記号表記を、

$p_{x,y}$: 基画像の座標 (x, y) での画素の値

$\hat{p}_{x',y'}$: 変換画像の座標 (x', y') での画素の値

$x \geq 0, y \geq 0$ の整数

$x' > 0, y' > 0$ の整数

K : 基画像の解像度

L : 変換画像の解像度

と定義する。

4.1 単純サンプリングによる方式

変換後の画像のある画素を対応する基画像の領域内の 1 点で代表させる。

$$\hat{p}_{x',y'} = p_{x,y}$$

ここで、画素のマッピングは、

$$x = \lfloor (x' - 1) \frac{K}{L} \rfloor, \quad y = \lfloor (y' - 1) \frac{K}{L} \rfloor$$

とする。

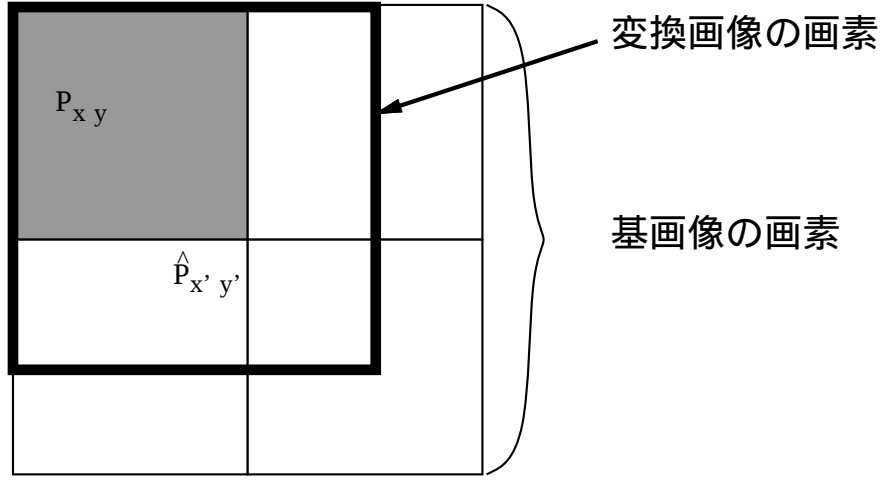


図 4.1: 単純サンプリングによる方式

図 4.1のように代表させる画素は左上の画素に固定する。

基画像と変換画像のマッピングが単純であるため、計算量が少なく本研究で検討を行った方式の中で最も高速に解像度変換ができると考えられる。

しかし、マッピングされない画素があるため、画質の劣化が大きいと考えられる。

4.2 加重平均による方式

単純サンプリングによる方式で代表させた画素とその 8 近傍の加重平均を用いる。

$$\begin{aligned}\hat{p}_{x',y'} = & \frac{1}{4}p_{x,y} + \frac{1}{16}p_{x-1,y-1} + \frac{1}{8}p_{x,y-1} + \frac{1}{16}p_{x+1,y-1} + \frac{1}{8}p_{x-1,y} \\ & + \frac{1}{8}p_{x+1,y} + \frac{1}{16}p_{x-1,y+1} + \frac{1}{8}p_{x,y+1} + \frac{1}{16}p_{x+1,y+1}\end{aligned}$$

ただし、

$$x = \lfloor (x' - 1) \frac{K}{L} \rfloor$$

$$y = \lfloor (y' - 1) \frac{K}{L} \rfloor$$

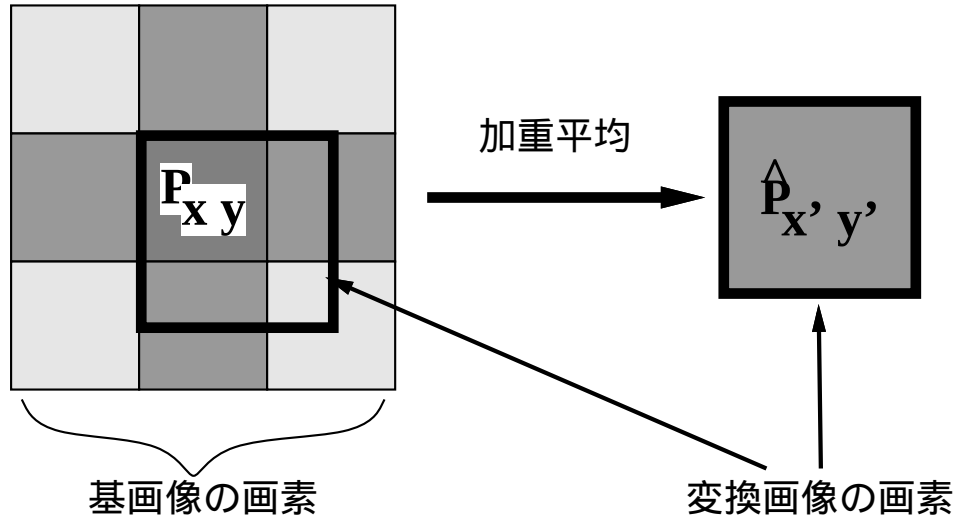


図 4.2: 加重平均による方式

図 4.2のように基画像の代表させた画素とその 8 近傍の画素の加重平均を行ない濃度を計算するため、単純サンプリングより計算量は増える。

マッピングされない画素が無くなるため、単純サンプリングより画質の劣化を抑えることが可能であると考えられる。

4.3 面積比による方式

変換後の画像のある画素が対応する基画像の領域の画素を含む面積比を用いる。

$$\begin{aligned} \hat{p}_{x',y'} = & \{p_{x1_{x'},y1_{y'}}l1_{x'}m1_{y'} + p_{x2_{x'},y1_{y'}}l2_{x'}m1_{y'} + p_{x1_{x'},y2_{y'}}l1_{x'}m2_{y'} + p_{x2_{x'},y2_{y'}}l2_{x'}m2_{y'} \\ & + f_{x'}(p_{x1_{x'}+1,y1_{y'}}m1_{y'} + p_{x1_{x'}+1,y2_{y'}}m2_{y'}) + f_{y'}(p_{x1_{x'},y1_{y'}+1}l1_{x'} + p_{x2_{x'},y1_{y'}+1}l2_{x'}) \\ & + f_{x'}f_{y'}p_{x1_{x'}+1,y1_{y'}+1}\} \\ / & \{l1_{x'}m1_{y'} + l2_{x'}m1_{y'} + l1_{x'}m2_{y'} + l2_{x'}m2_{y'} + f_{x'}(m1_{y'} + m2_{y'}) + f_{y'}(l1_{x'} + l2_{x'}) + f_{x'}f_{y'}\} \end{aligned}$$

ただし、

$$x1_{x'} = \lfloor (x' - 1) \frac{K}{L} \rfloor$$

$$\begin{aligned}
y1_{y'} &= \lfloor (y' - 1) \frac{K}{L} \rfloor \\
x2_{x'} &= \lfloor x' \frac{K}{L} \rfloor \\
y2_{y'} &= \lfloor y' \frac{K}{L} \rfloor \\
l1_{x'} &= x1_{x'} + 1 - (x' - 1) \frac{K}{L} \\
m1_{y'} &= y1_{y'} + 1 - (y' - 1) \frac{K}{L} \\
l2_{x'} &= x' \frac{K}{L} - x2_{x'} \\
m2_{y'} &= y' \frac{K}{L} - y2_{y'} \\
f_{x'} &= x2_{x'} - x1_{x'} - 1 \\
f_{y'} &= y2_{y'} - y1_{y'} - 1
\end{aligned}$$

図 4.3のように $x1_{x'}, y1_{y'}, x2_{x'}, y2_{y'}$ は変換画像の画素の座標 x', y' を用いて対応する基画像の画素の座標を表す。また、 $l1_{x'}, l2_{x'}, m1_{y'}, m2_{y'}$ は変換画像の画素に対応する基画像の画素に対する辺の比で、これらを掛け合わせるにより面積比を求める。求めた面積比を重みとして対応する基画像の画素の値に乗じて合計し、この値を変換画像の画素の値とする。さらに、図 4.4のように対応する基画像の画素で、左上、右上、左下、右下の画素の間にさらに対応する画素が加わった場合は $f_{x'}, f_{y'}$ が 1 となる。

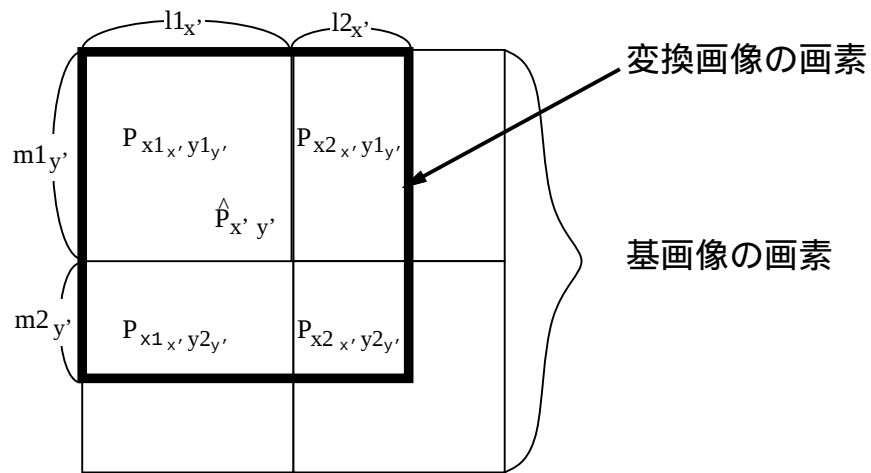


図 4.3: 基画像と変換画像の面積比 1

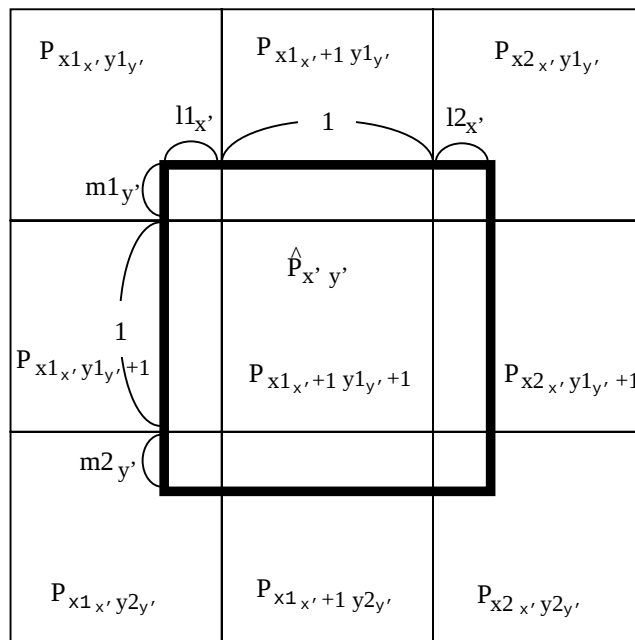


図 4.4: 基画像と変換画像の面積比

この方式では面積比を利用して重づけを行ない加重平均を行なう。前に述べた加重平均による方式では参照画素に対する重みを固定していたが、この方式では面積比により重

図 4.5: 最近隣サンプリング

図 4.5のように、この方式は前に述べた面積比による方式で求めた面積から最大のものを探し、その画素を代表させ濃度を与える。単純サンプリングによる方式では代表させる画素を常に左上に固定したが、この方式では代表させる画素が基画像と変換画像のマッピングが面積比により変化する。そのため単純サンプリングによる方式に比べて、基画像と変換画像との画素のマッピングのための計算量は増える。また、求めた面積から最大のもの

のを決定するため、面積比による方式より解像度変化の時間は増加すると考えられる。

このように代表させる画素を変化させることで、単純サンプリングによる方式と比べて画質にどのように影響が出るかを調べるためにこの方式を検討した。

4.5 最近隣加重平均による方式

変換後の画像のある画素が、対応する基画像の領域で含まれる面積が最大の画素と、その8近傍の加重平均を用いる。

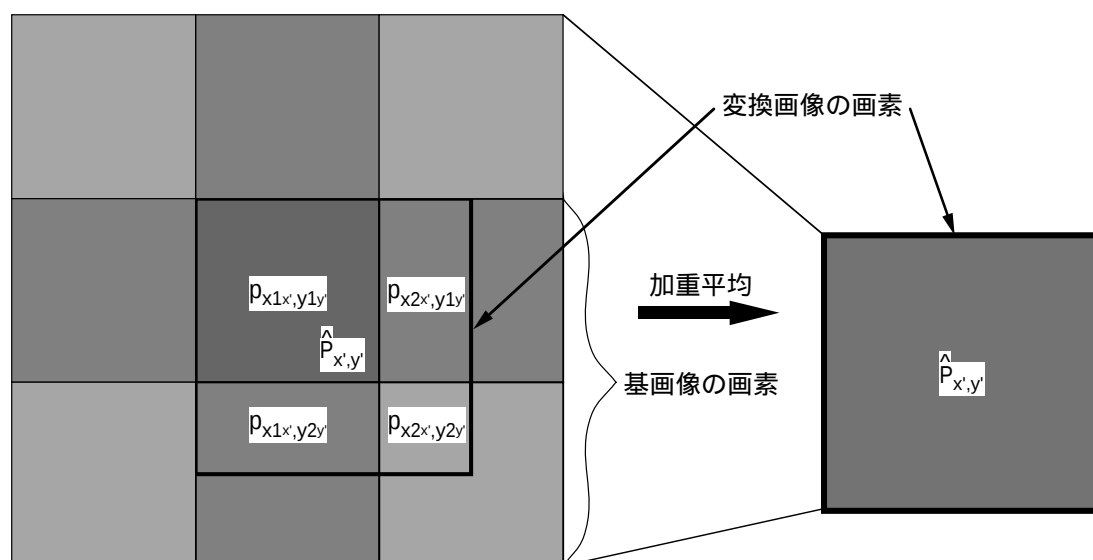


図 4.6: 最近隣加重平均

この方式も前に述べた面積比による方式で求めた面積から最大のものを探し、その画素を代表させる。さらに、図 4.6に示したように、代表させた画素とその8近傍の画素との加重平均を固定した重みで行ない、その値を変換画像のがその濃度とする。

加重平均による方式では代表させる画素を単純サンプリングによる方式と同様に常に左上に固定したが、この方式でも最近隣サンプリングによる方式と同様に代表させる画素が基画像と変換画像のマッピングが面積比により変化する。そのため加重平均による方式

に比べて、基画像と変換画像との画素のマッピングのための計算量は増える。また、求めた面積から最大のものを決定し、加重平均を行なうため、面積比による方式より解像度変化の時間は増加すると考えられる。

この方式も、最近隣サンプリングによる方式と同様に代表させる画素を変化させることで、単純サンプリングによる方式と比べて画質にどのように影響が出るかを調べるために検討した。

第 5 章

変換領域での帯域制限による方式

5.1 周波数領域での間引きによる方式

入力数列 $x(n)$ を N 点のブロック毎に区切り、 N 点 DCT を行なう。

第 n ブロックの第 i 係数 $F_n(i)$ は、

$$F_n(i) = \sum_{k=0}^{N-1} c_{i,k} \cdot x(Nn + k)$$

ただし、

$$c_{i,k} = \sqrt{2/N} \alpha(i) \cos \frac{(2k+1)i}{2N} \pi$$

$$\alpha(0) = 1/\sqrt{2}$$

$$\alpha(i) = 1 \quad (i \neq 0), \quad i \in [0, N-1]$$

これにより得られた N 個の係数から低域の M 個を取り出し、変換画像の第 a ブロックの第 j 係数として $F_a(j)$ (ただし、 $j \in [0, m-1]$) に M 点 IDCT を行なうと、

$$\bar{x}(Na + k) = \sum_{j=0}^{M-1} c'_{j,k} \cdot F_a(j)$$

ただし、

$$c'_{j,k} = \sqrt{2/M} \alpha(j) \beta \cos \frac{(2k+1)j}{2M} \pi$$

$$\beta = \sqrt{M/N}. \quad i \in [0, N-1]$$

以上のように周波数領域での解像度変換を行なう。

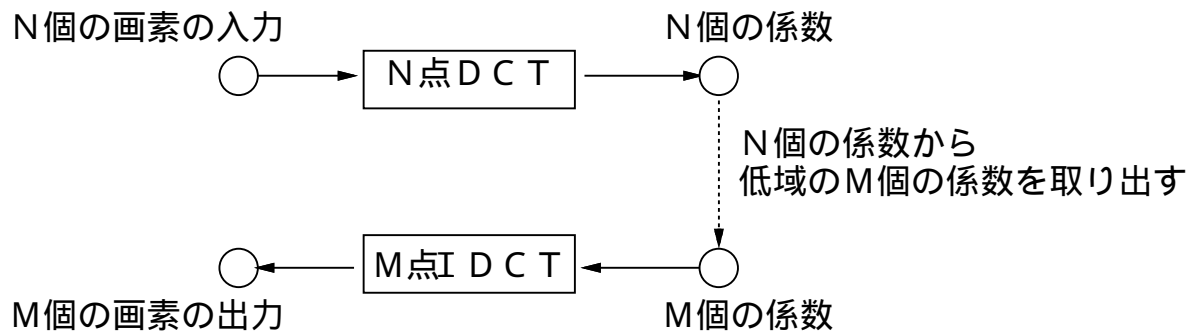


図 5.1: 周波数領域での間引きによる方式のブロック図

この方式は DCT, IDCT を行なうため、空間領域での方式に比べて計算量のはるかに多く、リアルタイムに解像度変換を行なうのは困難であると考えられる。最近では JPEG, MPEG などの符号化をリアルタイムで行なうハードウェアが多く開発、運用されており、これを利用することで、DCT, IDCT を行なうこの解像度変換方式をリアルタイムで行なえる可能性があるが、現在このようなハードウェアを備えたシステムは少ない。

この方式は岩橋らにより、画質に対して評価されている [4]。ここでは、2:1 に解像度変換を、

1. 変換領域での間引き

N 点 DCT の結果、得られた N 点の係数の内、低域の M 点のみに M 点 IDCT を施す。

2. 空間領域での間引き

N 点 DCT の結果、得られた N 点の係数の内、低域の M 点はそのまま保存し、広域の $N - M$ 点を零に置き換えてから N 点 IDCT を施す。その後、空間領域にて 2:1 にサブサンプルする。

として、2 方式で行ない、S/N 比により比較を行なった場合の結果が示されている。この結果より、「変換領域での間引き」の方式の方が変換誤差が少なく画質は良好なものが得られることが報告されている。

しかし、計算量が多く、リアルタイムでの解像度変換が困難であると考えられるため、本研究ではこの方式を空間領域での間引きと補間による方式との画質での比較対象として検討を行なった。

第 6 章

各変換方式の評価

本研究で検討を行なった変換方式について、プログラムを作成し、変換速度と画質の主観評価を行なった。評価にはITU-T 標準画像を用いた。評価に用いたITU-T 標準画像を図 C.1 ~ 図 C.8に示す。

6.1 変換速度の評価

変換速度の評価方法 変換速度の計測では、JBIG で階層的符号化された ITU-T 標準画像から 200dpi(1664 × 2338 pixel) と 100dpi の画像を基画像として利用し、56, 62, 68, 75, 81, 87, 93, 112, 124, 136, 150, 162, 174, 186 (単位: dpi) に解像度変換を行なうプログラムを作成した。測定は作成したプログラム中で、メモリ上にある基画像のビットマップイメージに対して解像度変換を行ない、メモリ上に変換画像を作成する部分に対して行なった。測定は作成したプログラム中で times 関数を使用した。変換時間の評価に使用したプログラムは付録の G.1節に示す。使用した計算機は SGI の INDY で、プロセッサは R4400SC200MHz である。

変換速度の評価結果 測定により得られた変換時間は図 6.1、図 6.2の通りである。また空間領域での間引きと補間による方式のみを取り出したグラフを図 6.3に示す。

図 6.2: 各方式の解像度変換時間

図 6.3: 空間領域での間引きと補間による方式の解像度変換時間

図 6.1、図 6.2に示したように、周波数領域での間引きによる方式が最も変換時間が長いことが分かる。また、図 6.1、図 6.3より、空間領域での間引きと補間による方式では、単純サンプリング<加重平均<面積比<最近隣サンプリング<最近隣加重平均の順で変換時間が長くなっていることが分かる。

考察は次章で行なう。

6.2 画質の評価

本研究では、物理的に基の画像を出すのではなく、文書の読みやすさという観点で再現することが目的である。また、次節で述べるように、本質的に「正解」となる画像がない。従って、画質の評価は主観評価で行なうべきである。

しかし、本研究では様々な解像度への変換を行なうが、多数の解像度での主観評価は困難である。そこで、50～400dpi の間で S/N 比を測定し、主観評価の予備評価とした。この結果に基づき、主観評価を行なう解像度を決定した。

6.2.1 画質評価での基準画像の問題点

画質の評価では、S/N 比の測定と主観評価を行なうが、これらを行なうためには必ず画質の基準となる画像が必要である。さらにこの基準画像は各方式で解像度変換を行なった画像と同じ解像度のものが必要となり、様々な解像度で画質の評価を行なうためには、様々な解像度で基準となる画像が必要となる。従って、何らかの方式を用いて基準画像の解像度変換を行ない、評価画像と同じ解像度の基準画像を作成しなければならない。検討を行なった基準画像の作成方法と、その問題点は以下の通りである。

- JBIG の PRES で得られた画像を基準にする。

問題点:

解像度が $1/2^n$ 倍に限られるため、それ以外の解像度では比較できない。

- 本研究で検討した方式の中で最も画質が良いと考えられる、周波数領域での間引きによる方式で得られる画像を基準にする。

問題点:

周波数領域での間引きによる方式の画質劣化特性に近い方式の評価が上がる。

- スキャナで複数の解像度の画像を作成する。

問題点:

スキャン毎の誤差の影響がある。また、解像度により評価対象の画像と全体的に位置がずれる、画素数が少し異なるなどの誤差が出る。

また、いずれの方法で基準画像を作成しても、その画像があらゆる解像度で最も良い画質であるとは言えない。

以上のような問題点を考慮し、各評価で使用する基準画像を決定する必要がある。

6.2.2 S/N 比による評価

各変換方式で、解像度により画像の性質が変化する場合が考えられる。ある解像度で画質が大きく変化することがあれば、その解像度も画質の主観評価に含まれる必要がある。従って、主観評価の予備評価として、解像度と画質の変化の様子を調べるために S/N 比の測定を行なった。

S/N 比は基準画像と評価画像のそれぞれの画素の濃度値を比較し、その差が少ないほど大きな値となる。S/N 比は以下の方法で求められる。

$$S/N = 20 \log_{10} \frac{(\text{最大階調値})}{(\text{全画素の階調値の 2 乗誤差和})}$$

$$\text{全画素の階調値の 2 乗誤差和} = \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{(S_k - E_k)^2}$$

ただし、

S_k : k 番目の基準画像の階調値

E_k : k 番目の評価画像の階調値

多くの文書画像では 80% 以上が白画素で、いずれの方式で解像度変換を行なっても白画素となる。実際に S/N 比に影響を及ぼすのは白画素と黒画素の変化点でのグレーの画素の濃度値の違い、マッピングの差異による白画素と黒画素の変化点の位置の違いである。特に基準画像と評価画像の間で全体的に画像がずれていると、画質に関係なく S/N 比に大きく影響する。

また、S/N 比の測定は各方式間での画質の違いを測定するのではなく、各方式で解像度の違いによる画質の変化を見ることが目的であるため、マッピングの差異がより少なく、良好な画質が得られるとされている周波数領域での間引きによる方式を基準画像とした。

S/N 比による評価方法 周波数領域での間引きによる方式を基準画像として、空間領域での間引きと補間による方式に対して測定を行なった。画像は ITU-T 標準画像の 1～8 を使用した。例として周波数領域での間引きによる方式で作成した基準画像と空間領域での間引きと補間による方式で作成した評価画像を付録の図 B.1～図 B.6 に示し、S/N 比の測定に使用したプログラムを付録の G.2 節に示す。

S/N 比の測定結果 測定結果を用いて、標準画像毎に各変換方式が、解像度の違いにより S/N 比がどのように変化するかをグラフに表した。このグラフを付録の図 A.1～図 A.8 に示す。

このグラフより、面積比 > 最近隣加重平均 > 最近隣サンプリング > 加重平均 > 単純サンプリングの順で S/N 比が小さくなる。S/N 比が小さくなるほど基準画像との差が大きい

ので、基準に用いた周波数領域での変換による方式が良好な画像であると仮定すると、上で述べた順で画質が低下していると言える。しかし、S/N 比の測定では基準画像との誤差を測定したに過ぎず、方式間での画質の優位性は決定できない。

次に、測定結果より、変換方式毎に各標準画像に対して、解像度の違いにより S/N 比がどのように変化するかをグラフに表した。このグラフを付録の図 A.9 ~ 図 A.13 に示す。

このグラフより、いずれの方式も JBIG で得た基画像の解像度が低くなると S/N 比が下がる傾向があることが分かる。また、いずれの方式も変換画像の解像度が低くなるにつれて S/N 比も低下する。これらは、解像度が低くなり、S/N 比に影響する白画素と黒画素の変化点が減少し、わずかな誤差が大きく影響するためであると考えられる。

また、単純サンプリングと最近隣サンプリングの 2 方式、おおび加重平均と最近隣加重平均の 2 方式を組にし比較すると、どちらの組も後者の方が S/N 比はより高くなっている。それぞれの組の中の 2 方式間の違いは、マッピング方式の違いにより代表画素が異なることである。これより面積比を用いて代表画素を決定するマッピングが周波数領域での間引きによる方式で得られた画像により近いと考えられる。このことは、面積比による方式の S/N 比が高いことから分かる。

このように、基画像の解像度で S/N 比が下がること、全体的に解像度が低いほど S/N 比が低下すること、基画像の解像度が低くなる場合以外の解像度で大きく S/N 比が変化することはないこと、そしてモニタの解像度が 75 ~ 100dpi 程度であることを考慮に入れて、主観評価は 50 ~ 200dpi の間で行なうこととした。

6.2.3 主観評価

主観評価の方法 主観評価は ITU-R 勧告 BT.500 の規定に沿って行なった [3]。評価法は 2 重刺激連続品質尺度法 (DSCQS) とした。評価は文書の読みやすさという観点で行なうようにした。実際の評価ではモニタに 1 つのウィンドウを表示し、そこに基準画像とテスト画像のいずれかを表示し、評定者がマウスのクリックにより自由に切替えることとした。これを 1 組とし、1 組の評価が終った時点で評定法に規定された評価スケールに評価結果を記録し、次の組の評価に移るようにした。評価スケールの例は付録の図 E.1 に示す。全体で 252 組ある画像を 6 セットに分割し、評定者 1 人あたり、42 組の画像について評価を行った。一人あたりの評価時間は 20 ~ 30 分であった。主観評価は一人ずつ計 18 人に対して行なった。使用した機器はモニタが NANA O の EIZOE-57T、計算機は SGI の

INDY を使用した。モニタは自動調節で設定を行なった。室内は照明を消し、外光のない状態にした。主観評価で利用したプログラムを付録の G.3 節に示す。

基準画像は、テスト画像と比較した場合、人間の目で見えた画像の全体的な位置のわずかなずれは S/N 比の測定の場合とことなり、大きく影響しない。また、主観評価では方式間での画質を比較するため、本研究で検討した方式を基準画像にはできない。従って、様々な解像度で安定した画質が得られると考えられるスキャナで基準画像を作成することとした。

基準画像は 300dpi で紙に印刷した ITU-T 標準画像を 200dpi から 50dpi の範囲で評価画像の解像度に近くなるようにスキャナで縮小率を指定しながら 8 ビットグレースケールでスキャンしたものを利用した。テスト画像は 200dpi 白黒 2 値でスキャンした画像を原画像とし、これを JBIG で階層的符号化を行ない、200dpi と 100dpi の基画像を作成した。これに対して検討を行なった 6 種類の解像度変換方式で 75, 81, 87, 93, 112, 124, 136, 150, 162, 174, 186 (単位: dpi) に解像度変換を行なった。スキャナでスキャンした原画像と、評価時の基準画像と評価画像の例を付録の図 D.1 から図 D.8 に示す。使用したスキャナは EPSON GT-6000 である。

主観評価には ITU-T 標準画像の 1, 5, 7 を用いた。

主観評価の結果 主観評価により得られた各方式の評定値は以下の図 6.4、図 6.5 の通りである。評点は基準画像の評定値から評価画像の評定値を減ずることと求める。従って評点は、基準画像の評定値が 0、評価画像の評定値が 100 の場合の -100 から、基準画像の評定値が 100 評価画像の評定値が 0 の場合の 100 の範囲をとり、0 が基準画像と同等の画質で値が小さいほど良いことになる。

	面積比	周波数領域での間引き	最近隣加重平均	加重平均	最近隣サンプリング	単純サンプリング
評点	10	12	19	22	30	31

図 6.4: 主観評価の評定値

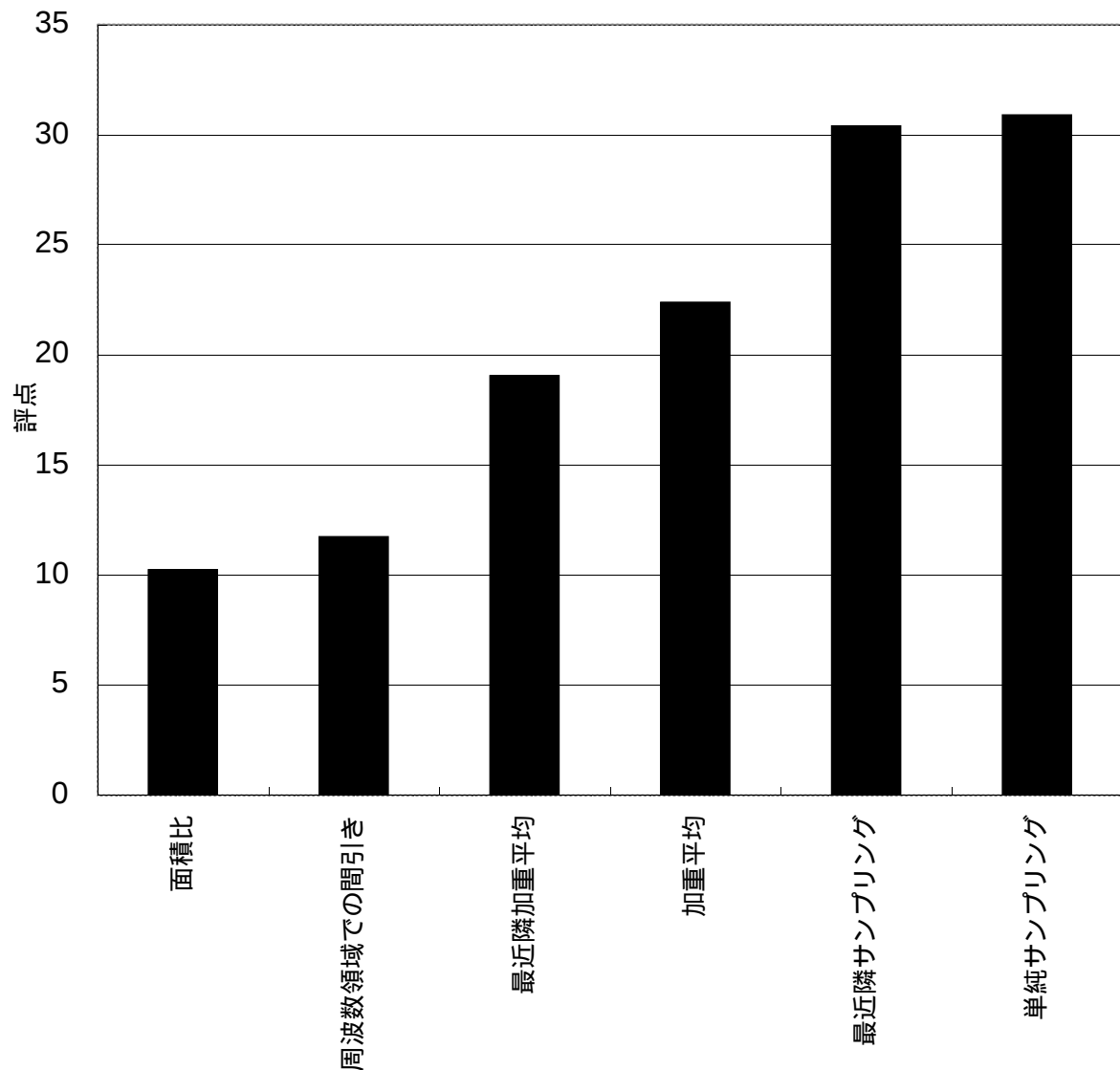


図 6.5: 各方式の主観評価結果の比較

これより、画質は面積比＞周波数領域での間引＞最近隣加重平均＞加重平均＞最近隣サンプリング＞単純サンプリングの順であることが分かる。これより、面積比による方式が最も画質が良好で、周波数領域での間引きによる方式もほぼ同等の画質であることが分かる。また、最近隣加重平均による方式、加重平均による方式の両者の画質がほぼ同じで、最近隣サンプリングによる方式、単純サンプリングによる方式の2組の画質が近いことも分かる。

次章で、この主観評価の結果について考察する。

第 7 章

考察

本研究では階層的符号化された画像を基画像として利用し、その間の任意の解像度への変換方式として空間領域での間引きと補間による方式と変換領域での帯域制限による方式について検討し評価を行なった。6章で示した結果を基に本章でこれらについて考察を行なう。

7.1 変換速度

変換速度についてみると、空間領域での間引きと補間による方式に比べて、変換領域での帯域制限による方式では大きく差がついた。これは計算量の違いからも予測された。ここで、各変換方式の変換時間と各変換方式が変換画像の 1 画素の濃度値を決定するために必要な乗除算の回数を単純サンプリングによる方式を 1 とした場合の簡単な整数比で図 7.1 に示す。

	単純サンプリング	加重平均	面積比	最近隣サンプリング	最近隣加重平均	周波数領域での間引き
変換時間の比	1	4	11	11	18	607
乗除算の回数の比	1	5	16	7	12	580

図 7.1: 各方式の変換時間の比

このように、各方式の変換時間は最近隣加重平均による方式、最近隣サンプリングによる方式を除いて乗除算の回数の比とほぼ一致する。最近隣加重平均による方式、最近隣サンプリングによる方式が乗除算の回数の比とくらべて変換時間の比が面積比による方式

より大きくなっているのは、変換画像の画素が対応する基画像の画素の面積比を求めたあと、その中で最大の面積のものを決定する必要があるためであると考えられる。

本研究で測定を行なった変換時間は1画像全体の解像度変換が完了する時間である。そのため、解像度が上がるにつれ変換時間が長くなるが、モニタなどに表示する場合、表示領域のみ解像度変換を行なうことで、高解像度の画像に対しても変換時間の増加を抑えることが可能であると考えられる。

例えば、200dpi から 186dpi(1560×2197 pixel) に解像度変換を行なった場合を考えると、変換画像の画素数は 3,427,320 pixel である。ここで、モニタの表示領域が 1024×768 pixel であったとすると、画素数は 786,432 pixel である。これより、解像度変換を行なって得られる変換画像の領域を表示領域に限定することで、生成する変換画像の画素数が約 $1/5$ になることが分かる。従って、変換時間もこの割合に近い値で減少させることができる可能性がある。

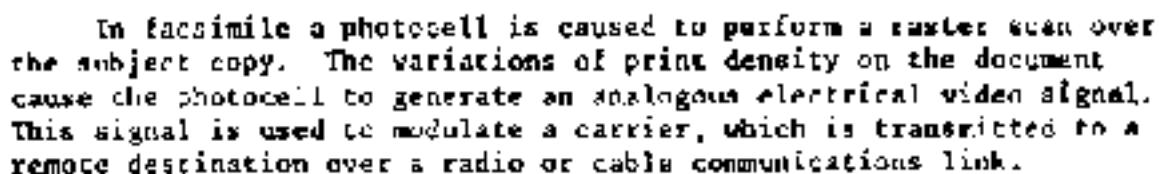
さらに、実装方法の改良を行なうことで、空間領域での間引きと補間による方式の中で最も変換時間が長かった面積比による方式でも、リアルタイム性が得られる可能性があると考えられる。

また、リアルタイム MPEG(Moving Picture coding Experts Group) デコーダや、マルチメディア拡張命令を備えたプロセッサのような、画像処理などを高速化するハードウェアが利用可能となりつつある。前者は DCT をハードウェアで行なうもので、これを応用することで周波数領域での間引きによる方式の変換時間を短縮できる可能性がある。後者のハードウェアは基本的に SIMD(Single-Instruction Multiple-Data) 型のアーキテクチャをベースにしており、本研究で検討を行なった全ての方式に対して、変換時間を短縮することが可能であると考えられる。

7.2 主観評価

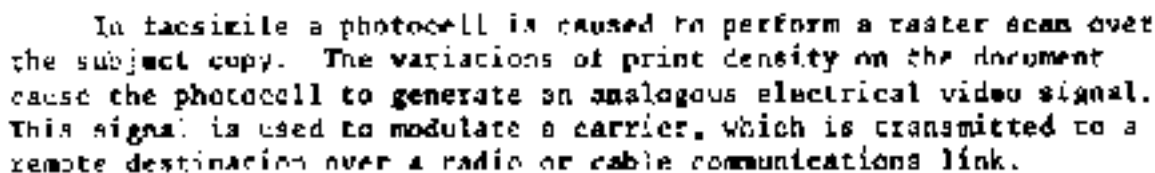
主観評価による画質の評価結果から、面積比による方式と、周波数領域での間引きによる方式が共に良好な画質が得られており、最近隣加重平均による方式、加重平均による方式はそれらより劣る。また、最近隣サンプリングによる方式、単純サンプリングによる方式では、さらに劣っている。図 6.4 で示した評点を考えると、方式間で画質の違いが見られるが、面積比による方式、周波数領域での間引きによる方式、最近隣加重平均による方式、加重平均による方式は、利用可能な画質が得られたと言える。

解像度が低い場合は基準画像や本研究で検討を行なったいずれの方式でも文書として読むには困難となる。しかし、図 7.2 から図 7.7 に示したように、通常モニタでテキストファイルを表示し、読む場合と同等の文字の大きさとなる解像度では面積比による方式、周波数領域での間引きによる方式、最近隣加重平均による方式、加重平均による方式では読むことができるが、最近隣サンプリングによる方式、単純サンプリングによる方式では読むことができない文字がある。また、付録の図 D.3 から図 D.8 の例のように、高解像度ではいずれの方式でも読めない文字はなくなる。従って、解像度が高い場合は最近隣サンプリングによる方式、単純サンプリングによる方式も利用可能であると考えられる。



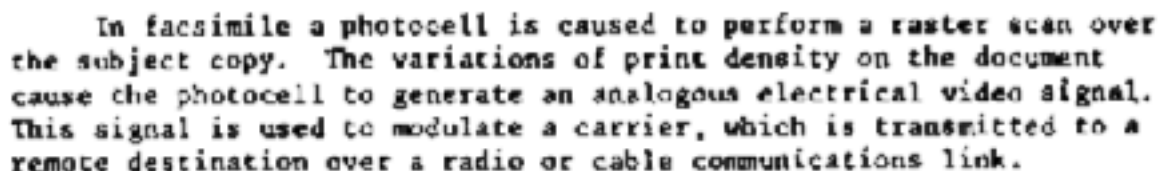
In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.2: 単純サンプリングによる方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)



In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.3: 最近隣サンプリングによる方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)



In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.4: 加重平均による方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.5: 最近隣加重平均による方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.6: 面積比による方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

図 7.7: 周波数領域での間引きによる方式 (ITU-T 標準画像 1、75dpi)

ただし、画質の主観評価では、同じ標準画像、同じ解像度、そして同じ変換方式の画像を評価したのはそれぞれ 3 人であるため、解像度毎の評価は行なえない。解像度毎の画質を主観評価するためにはさらに多くの人数で評価を行なう必要がある。

また、4 章でも述べたが、最近隣サンプリングによる方式、最近隣加重平均による方式はそれぞれ単純サンプリングによる方式、加重平均による方式とのマッピングの違いによる画質の差を比較するために検討したが、図 6.4 で示した評点から、画質にほとんど差が無いことが分かる。従って、変換時間の長い最近隣サンプリングによる方式および最近隣加重平均による方式は利用価値が無いといえる。

7.1 節、7.2 節からモニタに低解像度で出力する場合は主観評価で画質の良いとされた面積比による方式を用いることでリアルタイム性を失うことなく行なうことができ、モニタ

に高解像度で出力する場合でも、解像度変換を行なう領域を表示領域に限定することでリアルタイム性を維持することが可能であると考えられる。

7.3 S/N 比と主観評価の関係

本研究では、各変換方式について、それぞれの標準画像が解像度の違いで画質がどのように変化するかを調べるために S/N 比の測定を行なった。6.2.2 節で述べたように、S/N 比の測定で基準とした画像が最も良い画像であるとはいえないため、S/N 比のみで各方式間の画質の優劣は決定できない。

しかし、S/N 比の測定で得られた結果と主観評価の結果を比較してみると、画質が最も良いと評価された方式から最も悪いと評価されたものまで、順番がほぼ一致している。通常、文書画像では 2 つの画像を比較し S/N 比を測定した場合、画像の全画素のわずかな部分である文字のエッジ部の違いに大きく左右されるため、文書画像の画質は S/N 比で評価することは困難であり、主観評価の結果と一致することは稀である。本研究で得られた S/N 比の測定で得られた結果と主観評価の結果が近いものとなったのは、S/N 比の測定で用いた基準画像の特性によるものであると考えられる。

本研究で S/N 比の測定に用いた基準画像は周波数領域での間引きによる方式で作成したものであった。離散コサイン変換を使用したこの方式で得られた画像は、人間の視覚特性上高い評価を得るために重要な成分を多く含んだものと考えられ、これに近い画像（すなわち S/N 比の結果が良い画像）が主観評価でも優れた結果であったのではないかと考えられる。

7.4 グレースケールの基画像での評価

本研究で各変換方式の評価のために作成したプログラムは、基画像、変換画像共に、メモリ中に 1 画素あたり 8 ビットのデータとして蓄積されたものに対して解像度変換を行なう。従って、基画像がグレースケールである場合においても、変換速度は変化しない。

しかし、画質は、本研究での結果と異なる可能性がある。そのため、実際に画質を評価し、本研究で得られた評価結果と比較し、画質の変化を調べる必要がある。

7.5 変換方式の使い分け

文書画像に対して解像度変換を行なう場合、その出力環境、処理能力、解像度に応じて方式を切替えながら使用することが考えられる。特に、高解像度の場合、処理を行なうシステムの能力に応じて、変換時間の短い加重平均による方式、そして単純サンプリングによる方式などに切替を行ない、さらに、変換方式の切替えを行なう解像度を变化させることでリアルタイム性を維持することが可能であると考えられる。

変換方式を切替える場合、それを行なう解像度をどのように決定するかが問題となる。この問題に対応するために、例えば、ユーザが画質や変換時間に対する個人の主観により、方式の切替を行なうタイミングを設定しておくことで、対応する方法が考えられる。さらに、計算機側で、様々な解像度に対する変換時間や画質の評価値のテーブルを保持し、ユーザの主観的評価値を予測して自動的に方式の切替を行なうことで対応する方法が考えられる。

7.6 CRT モニタ以外への出力

本研究で検討を行なった方式の中で、単純サンプリングによる方式および最近隣サンプリングによる方式を除いた各方式は高解像度の白黒 2 値の文書画像の解像度を下げ、その結果作成された画像をグレースケールとすることで見かけの解像度を向上させようとしたものであると考えられる。従って、グレースケールを扱えない白黒プリンタ等の出力デバイスではこの効果が利用できない。そのためグレースケールの変換画像をプリンタで紙に出力を行なうと、モニタ上で行なった主観評価の結果とは一致しないであろうと予測される。

また、本研究では、CRT モニタ上でのみ主観評価を行なったが、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイなど他の出力デバイス上での評価は行なっていない。ただし、グレースケールが表示可能である場合、CRT モニタ上での表示色と整合性が保たれていれば、評価に大きな差はでないと予測される。しかし、グレースケールを利用できないデバイスもあり、これらでは、白黒 2 値のプリンタの場合と同じような問題が発生する。

7.7 解像度が固定されているデバイスへの応用

解像度が固定されているデバイスの例として、液晶ディスプレイ、液晶プロジェクタなどが上げられる。これらのデバイスに表示を行なう場合、ソースがアナログの場合、再サンプリングを行ない解像度変換をすることで対応できるが、デジタル画像の場合、ソースの解像度を個々のデバイス固有の解像度にリアルタイムで変換する方式が必要がある。

本研究で評価を行なった結果、最も利用価値が高いと考えられる面積比による方式を利用することで、画質の劣化を抑えたリアルタイムでの解像度変換を行なうことができる可能性があるため、このような問題にも応用可能であると考えられる。

7.8 画像文書の利用環境の例

本研究では文書をイメージとして扱い、モニタなどの表示デバイスで画像文書を利用することを目的として幾つかの解像度変換方式を検討した。実際に画像文書を利用するシステムとしては、サーバあるいはローカルに画像文書を JBIG を用いて階層的符号化したものを蓄積し、WWW ブラウザなどでブラウズするようなものが考えられる。このようなシステムでは、http を利用できるネットワークに接続されている計算機であればどこからでも蓄積された画像文書を利用でき、情報の共有も容易である。JBIG で階層的符号化された文書画像をネットワークを通して必要とする解像度に近い解像度まで受け取り、端末でビットマップイメージに変換後、解像度変換を行なうためネットワーク上を通過する情報量の増加を抑えることが可能であると考えられる。

また将来的には無線ネットワークを利用した携帯端末を利用することで紙に印刷された文書に近い可搬性を維持した利用環境をつくり出すことが可能であろう。ITU-R で検討されている将来の移動・携帯通信 FPLMTS では 2Mb/s を超えるサービスを目指している [9]。

有線ネットワークではネットワークを構成する物理的なデバイスをワイヤーからファイバーへ変更することでネットワークの帯域幅を向上させることができるように、将来的にさらなる広帯域幅のネットワークが期待できる。また、情報を処理するプロセッサも将来的にさらに高能力を有するものが利用できるようになると予想される。しかし、無線ネットワークでは電波のもつ帯域幅が周波数で物理的に固定されており、将来さらに帯域幅が向上することはない。従って、JBIG のような高効率符号化方式で符号化を行なった文書

画像を無線ネットワーク上で利用し、高性能なプロセッサを用いた携帯端末で端末の表示デバイスに応じて解像度変換をリアルタイムで行ない画像文書をブラウズするといったような利用形態が考えられる。

第 8 章

結論

8.1 本研究の成果

本研究では文書画像をリアルタイムで任意の解像度へ変換を行なう解像度変換方式について検討を行なった。画質の劣化を抑えながらリアルタイムで任意の解像度へ変換を行なうために JBIG で階層的符号化された画像を基画像として利用することにした。

解像度変換方式として空間領域での間引きと補間による方式と変換領域での帯域制限による方式について検討を行なった。これらの方式で解像度変換の時間を測定し解像度と変換時間の変化を示した。これより空間領域での間引きと補間による方式ではリアルタイムでの解像度変換を行なえる可能性が十分あることが分かった。

また、周波数領域での間引きによる方式に対する S/N 比を測定し、画像と解像度の違いによる S/N 比の変化を示した。これより基画像の解像度が下がると S/N 比が低下すること、変換画像の解像度が下がるにつれ S/N 比が低下することが分かった。

検討を行なった各変換方式の画質を評価するため、画質の主観評価を行なった。その結果面積比による方式、周波数領域での間引きによる方式の画質が良好であるという結果を得た。

これらより、面積比による方式が最も利用価値が高いことが分かった。

最後に、各変換方式の評価で得られた結果より、文書画像のリアルタイム解像度変換を行なう場合、解像度や処理能力に応じて方式を切替えて使用することを提案した。また、システムへの適用例を示した。

8.2 今後の課題

- 本研究では CRT モニタ上でのみ画質の主観評価を行なった。表示デバイスが変化すると画像の見え方が変わるので、他の表示デバイスでの主観評価を行なう必要がある。
- さらに、基画像がグレースケールである場合も画質の変化が予想されるため、これらにおいても、画質の主観評価を行なう必要がある。
- 各変換方式の実装方法の改良を行ない、解像度変換の範囲をモニタの表示領域に限定した場合での変換時間の測定を行ない、効果を調べる。
- 変換方式の切替えを行なう場合の解像度を検討する。
- WWW ブラウザなどの、実際のシステムへの実装を行なう。

謝辞

本研究を進めるに当たり、適切な助言をして頂いた横田 治夫 助教授、阿部 亨 助教授、小谷 一孔 助教授に感謝します。

また、主観評価を快く引き受けて頂いた日比野研究室、横田研究室の皆様感謝します。

最後に、本研究を大きく支援して頂きました、日比野 靖 教授、丹 康雄 助手に心より感謝します。

参考文献

- [1] 丹 康雄, 遍在計算機環境における文書配布システム, 夏のプログラミング・シンポジウム「モバイル&ユービキタスコンピューティング」報告集, 情報処理学会, 1995.
- [2] 安田 浩, マルチメディア符号化の国際標準, 丸善.
- [3] 安田 浩, MPEG/マルチメディア符号化の国際標準, 丸善.
- [4] 岩橋 政宏, 大山 公一, DCT スケーリング・デコードによる 2:1 解像度変換, 信学技法, IE92-90.
- [5] 松村 正吾, 貴家 仁志, 変換符号化された画像に対する任意の有理数倍率の解像度変換方法, 信学論 (A), Vol. J77-A, No. 3, pp. 369-378, 1994.
- [6] 飯沢 篤志, 文書画像データベースシステム, 情報処理, Vol. 33, No. 5, pp. 497-504, 1992.
- [7] 原田 康徳, ビットマップ場:完全な直接操作インタフェース, コンピュータソフトウェア, Vol. 11, No. 6, pp. 75-82, 1993.
- [8] 原田 康徳, 角野宏司, 小杉 尚子, 福田 健介, ビットマップ計算 - 賢いペンと普通の紙, In *WISS'94*, 1994.
- [9] 吉田 進, 移動体情報ネットワークの最近の研究動向, 京都大学.
- [10] Scott Kim, Viewpoint: Toward a Computer for Visual Thinkers, Stanford University, 1988.
- [11] PC ImageFile KURARA for Windows V1 (KURARA mini for Windows V1), Ricoh Company, Ltd., 1995, 1996, <http://www.ricoh.co.jp/swd/file/index.html>

- [12] Panafax Super G3FAX, 松下電送株式会社, 1996,
<http://www.mei.co.jp/mgcs/productj/b80/>
- [13] Panafax B80, 松下電送株式会社, 1996,
<http://www.mei.co.jp/mgcs/productj/b80/sg32.html>
- [14] 日立光ディスクファイリングシステム, Data Storage & Retrieval Systems Division, Hitachi, Ltd., 1996, <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/storage/hitfile/index-j.html>
- [15] <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/storage/hitfile/wn201ve.html>
- [16] ImageOFFICE for Windows V1.3 ユーザーズガイド, 富士通株式会社, 1995.

図 A.1: ITU-T 標準画像 1 での各方式の S/N 比

図 A.3: ITU-T 標準画像 3 での各方式の S/N 比

図 A.5: ITU-T 標準画像 5 での各方式の S/N 比

図 A.7: ITU-T 標準画像 7 での各方式の S/N 比

図 A.8: ITU-T 標準画像 8 での各方式の S/N 比

図 A.9: 単純サンプリングによる方式での各標準画像の S/N 比

図 A.11: 面積比による方式での各標準画像の S/N 比

図 A.13: 最近隣加重平均による方式での各標準画像の S/N 比

第 B 章

S/N 比の測定を行なった画像の例

図 B.1 ~ 図 B.6 に S/N 比の測定に用いた画像を示す。これらの画像は、 1620×2227 [単位: pixel] で 300dpi で出力した。



THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET . BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 55617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. F.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2039
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Essex.

図 B.1: 基準画像 (周波数領域での間引きによる方式)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 53417 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. F.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2039
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Surrey.

図 B.2: 単純サンプリングによる方式

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 53417 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2039
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Surrey.

図 B.3: 加重平均による方式

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET . BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 55617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2039
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Essex.

図 B.4: 面積比による方式

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET . BH25 8ER
TELEPHONE BOOLE (045 13) 55617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. F.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 00390
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Essex.

図 B.5: 最近隣サンプリングによる方式

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET . BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 55617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

F.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 00390
Registered Office: 60 Victoria Lane, Epsom, Essex.

図 B.6: 最近隣加重平均による方式

第 C 章

ITU-T 標準画像

図 C.1 ~ 図 C.8 に ITU-T 標準画像を示す。これらの画像は、 1728×2376 [単位: pixel] で 300dpi で出力した。



THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH 25 8 ER

TELEPHONE BOOLE (945 13) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

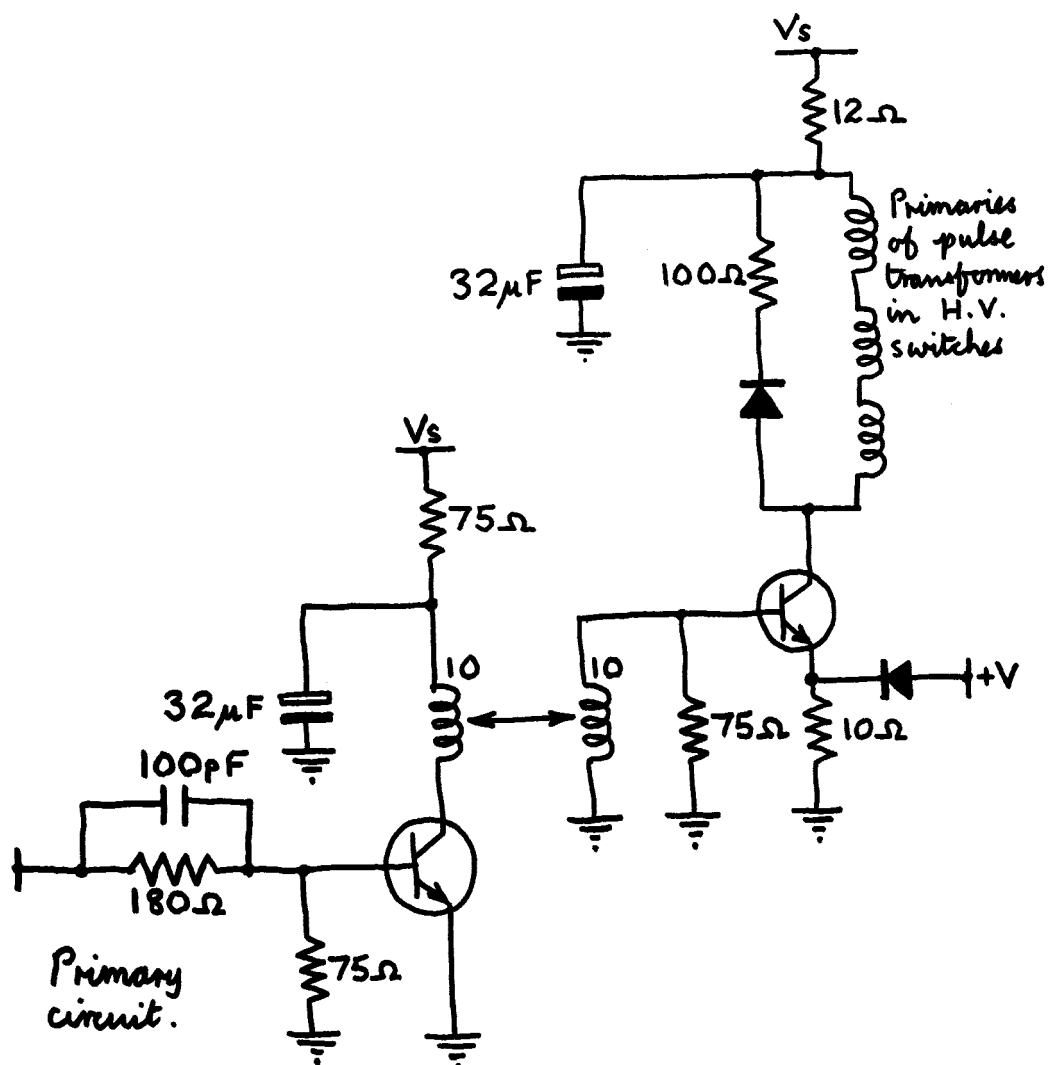
Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2088
Registered Office: 60 Vicars Lane, Ilford, Essex.

図 C.1: ITU-T 標準画像 1



This is current driver circuit.

Phil.

22-9-71

図 C.2: ITU-T 標準画像 2

ETABLISSEMENTS ABCDEFG
 SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 300 000 F
 20, RUE DU XYUTRSTBSL F 00000 NTBCLAG
 Tél. : (35) 24.46.32 Adr. Tg. : NRYLJROLIM
 Téléc. : 31586 F IN : 710490070257
 Transporteur (ou Transitaire)
 M. M. DUPONT Frères
 8 quai des bleds F 0000 NTBCLAG

Not directeur		FACTURE INVOICE		Exemplaire 15
CLASSEMENT		DATE	NUMERO	FEUILLET
CODE CLIENT Z 04599		7-7-74	06	01
Votre commande		du 74-2-2 numéro 438		
Notre offre AZ/B7		du 74-1-1 numéro 12		

LIVRAISON
 5, rue XYZ
 99000 VILLE

FACTURATION
 12, rue ABCD BP 15
 99000 VILLE

DOMICILIATION BANCAIRE DU VENDEUR			PAYS D'ORIGINE	PAYS DE DESTINATION
CODE BANQUE	CODE GUICHET	COMPTE CLIENT	CONDITIONS DE LIVRAISON	DATE 74-03-03
ORIGINE	TRANSPORTS DESTINATION	MODE	LICENCE D'EXPORTATION	NATURE DU CONTRAT (monnaie)
Pays 1	Etat 2	Air	CONDITIONS DE PAIEMENT	FAB (échéance, %...)

MARQUES ET NUMÉROS MARKS AND NUMBERS		NOMBRE ET NATURE DES COLIS : DÉNOMINATION DE LA MARCHANDISE NUMBER AND KING OF PACKAGES: DESCRIPTION OF GOODS		NOMEN- CLATURE STATISTICAL No.	MASSE NETTE NET WEIGHT MASSE BRUTE GROSS WEIGHT	VALEUR VALUE DIMENSIONS MEASUREMENTS
74.21.456.44.2 A		1 Composants		U 123/4	5 kg 8 kg	1400 X 13x10x6
QUANTITÉ COMMANDÉE ET UNITÉ QUANTITY ORDERED AND UNIT	N° ET REF. DE L'ARTICLE	DÉSIGNATION		QUANTITÉ LIVRÉE ET UNITÉ QUANTITY DELIVERED AND UNIT	PRIX UNITAIRE UNIT PRICE	MONTANT TOTAL TOTAL AMOUNT
2	AF-809	Circuit intégré		2	104,33 F	208,66 F
10	S8-T4	Connecteur		10	83,10 F	831,00 F
25	ZIO7	Composant indéterminé		20	15,00 F	300,00 F

Coats	Débours	Inclus	Non inclus
Packing	Emballages		92,14
Freight	Transport		
Insurance	Assurances		
Total Invoice amount	Montant total de la facture		1431,80
Installment	Acomptes		
NET TO BE PAID	NET A RÉGLER		1431,80

図 C.3: ITU-T 標準画像 3

L'ordre de lancement et de réalisation des applications fait l'objet de décisions au plus haut niveau de la Direction Générale des Télécommunications. Il n'est certes pas question de construire ce système intégré "en bloc" mais bien au contraire de procéder par étapes, par paliers successifs. Certaines applications, dont la rentabilité ne pourra être assurée, ne seront pas entreprises. Actuellement, sur trente applications qui ont pu être globalement définies, sixen sont au stade de l'exploitation, six autres se sont vu donner la priorité pour leur réalisation.

Chaque application est confiée à un "chef de projet", responsable successivement de sa conception, de son analyse-programmation et de sa mise en oeuvre dans une région-pilote. La généralisation ultérieure de l'application réalisée dans cette région-pilote dépend des résultats obtenus et fait l'objet d'une décision de la Direction Générale. Néanmoins, le chef de projet doit dès le départ considérer que son activité a une vocation nationale donc refuser tout particularisme régional. Il est aidé d'une équipe d'analystes-programmeurs et entouré d'un "groupe de conception" chargé de rédiger le document de "définition des objectifs globaux" puis le "cahier des charges" de l'application, qui sont adressés pour avis à tous les services utilisateurs potentiels et aux chefs de projet des autres applications. Le groupe de conception comprend 6 à 10 personnes représentant les services les plus divers concernés par le projet, et comporte obligatoirement un bon analyste attaché à l'application.

II - L'IMPLANTATION GEOGRAPHIQUE D'UN RESEAU INFORMATIQUE PERFORMANT

L'organisation de l'entreprise française des télécommunications repose sur l'existence de 20 régions. Des calculateurs ont été implantés dans le passé au moins dans toutes les plus importantes. On trouve ainsi des machines Bull Gamma 30 à Lyon et Marseille, des GE 425 à Lille, Bordeaux, Toulouse et Montpellier, un GE 437 à Massy, enfin quelques machines Bull 300 TI à programmes câblés étaient récemment ou sont encore en service dans les régions de Nancy, Nantes, Limoges, Poitiers et Rouen ; ce parc est essentiellement utilisé pour la comptabilité téléphonique.

A l'avenir, si la plupart des fichiers nécessaires aux applications décrites plus haut peuvent être gérés en temps différé, un certain nombre d'entre eux devront nécessairement être accessibles, voire mis à jour en temps réel : parmi ces derniers le fichier commercial des abonnés, le fichier des renseignements, le fichier des circuits, le fichier technique des abonnés contiendront des quantités considérables d'informations.

Le volume total de caractères à gérer en phase finale sur un ordinateur ayant en charge quelques 500 000 abonnés a été estimé à un milliard de caractères au moins. Au moins le tiers des données seront concernées par des traitements en temps réel.

Aucun des calculateurs énumérés plus haut ne permettait d'envisager de tels traitements. L'intégration progressive de toutes les applications suppose la création d'un support commun pour toutes les informations, une véritable "Banque de données", répartie sur des moyens de traitement nationaux et régionaux, et qui devra rester alimentée, mise à jour en permanence, à partir de la base de l'entreprise, c'est-à-dire les chantiers, les magasins, les guichets des services d'abonnement, les services de personnel etc.

L'étude des différents fichiers à constituer a donc permis de définir les principales caractéristiques du réseau d'ordinateurs nouveaux à mettre en place pour aborder la réalisation du système informatif. L'obligation de faire appel à des ordinateurs de troisième génération, très puissants et dotés de volumineuses mémoires de masse, a conduit à en réduire substantiellement le nombre.

L'implantation de sept centres de calcul interrégionaux constituera un compromis entre : d'une part le désir de réduire le coût économique de l'ensemble, de faciliter la coordination des équipes d'informaticiens ; et d'autre part le refus de créer des centres trop importants difficiles à gérer et à diriger, et posant des problèmes délicats de sécurité. Le regroupement des traitements relatifs à plusieurs régions sur chacun de ces sept centres permettra de leur donner une taille relativement homogène. Chaque centre "gèrera" environ un million d'abonnés à la fin du VIème Plan.

La mise en place de ces centres a débuté au début de l'année 1971 : un ordinateur IRIS 50 de la Compagnie Internationale pour l'Informatique a été installé à Toulouse en février ; la même machine vient d'être mise en service au centre de calcul interrégional de Bordeaux.

Photo n° 1 - Document très dense lettre 1,5mm de haut -
Restitution photo n° 9

図 C.4: ITU-T 標準画像 4

Cela est d'autant plus valable que $T\Delta f$ est plus grand. A cet égard la figure 2 représente la vraie courbe donnant $|\phi(f)|$ en fonction de f pour les valeurs numériques indiquées page précédente.

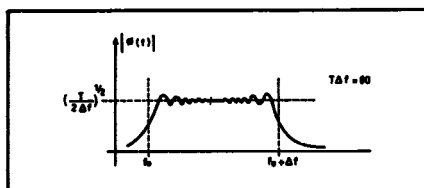


FIG. 2

Dans ce cas, le filtre adapté pourra être constitué, conformément à la figure 3, par la cascade :

— d'un filtre passe-bande de transfert unité pour $f_0 \leq f \leq f_0 + \Delta f$ et de transfert quasi nul pour $f < f_0$ et $f > f_0 + \Delta f$, filtre ne modifiant pas la phase des composants le traversant ;

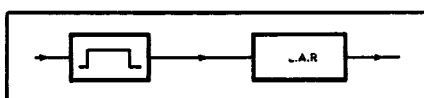


FIG. 3

— filtre suivi d'une ligne à retard (LAR) dispersive ayant un temps de propagation de groupe T_R décroissant linéairement avec la fréquence f suivant l'expression :

$$T_R = T_0 + (f_0 - f) \frac{T}{\Delta f} \quad (\text{avec } T_0 > T)$$

(voir fig. 4).

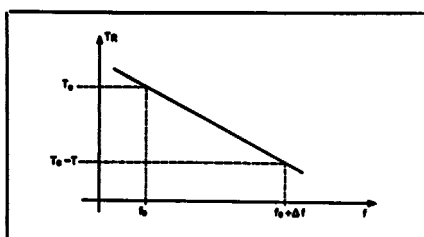


FIG. 4

telle ligne à retard est donnée par :

$$\varphi = -2\pi \int_0^f T_R df$$

$$\varphi = -2\pi \left[T_0 + \frac{f_0 T}{\Delta f} \right] f + \pi \frac{T}{\Delta f} f^2$$

Et cette phase est bien l'opposé de $|\phi(f)|$,

à un déphasage constant près (sans importance) et à un retard T_0 près (inévitables).

Un signal utile $S(t)$ traversant un tel filtre adapté donne à la sortie (à un retard T_0 près et à un déphasage près de la porteuse) un signal dont la transformée de Fourier est réelle, constante entre f_0 et $f_0 + \Delta f$, et nulle de part et d'autre de f_0 et de $f_0 + \Delta f$, c'est-à-dire un signal de fréquence porteuse $f_0 + \Delta f/2$ et dont l'enveloppe a la forme indiquée à la figure 5, où l'on a représenté simultanément le signal $S(t)$ et le signal $S_1(t)$ correspondant obtenu à la sortie du filtre adapté. On comprend le nom de récepteur à compression d'impulsion donné à ce genre de filtre adapté : la « largeur » (à 3 dB) du signal comprimé étant égale à $1/\Delta f$, le rapport de compression

$$\text{est de } \frac{T}{1/\Delta f} = T\Delta f$$

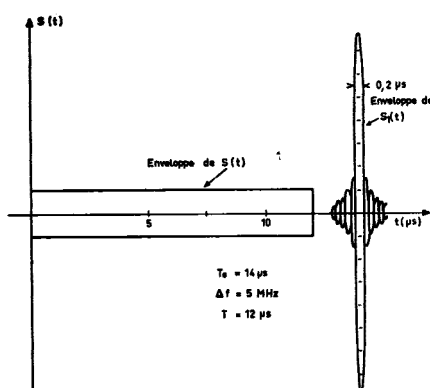


FIG. 5

On saisit physiquement le phénomène de compression en réalisant que lorsque le signal $S(t)$ entre dans la ligne à retard (LAR) la fréquence qui entre la première à l'instant 0 est la fréquence basse f_0 , qui met un temps T_0 pour traverser. La fréquence f entre à l'instant $t = (f - f_0) \frac{T}{\Delta f}$ et elle met un temps

$T_0 - (f - f_0) \frac{T}{\Delta f}$ pour traverser, ce qui la fait ressortir à l'instant T_0 , également. Ainsi donc, le signal $S(t)$

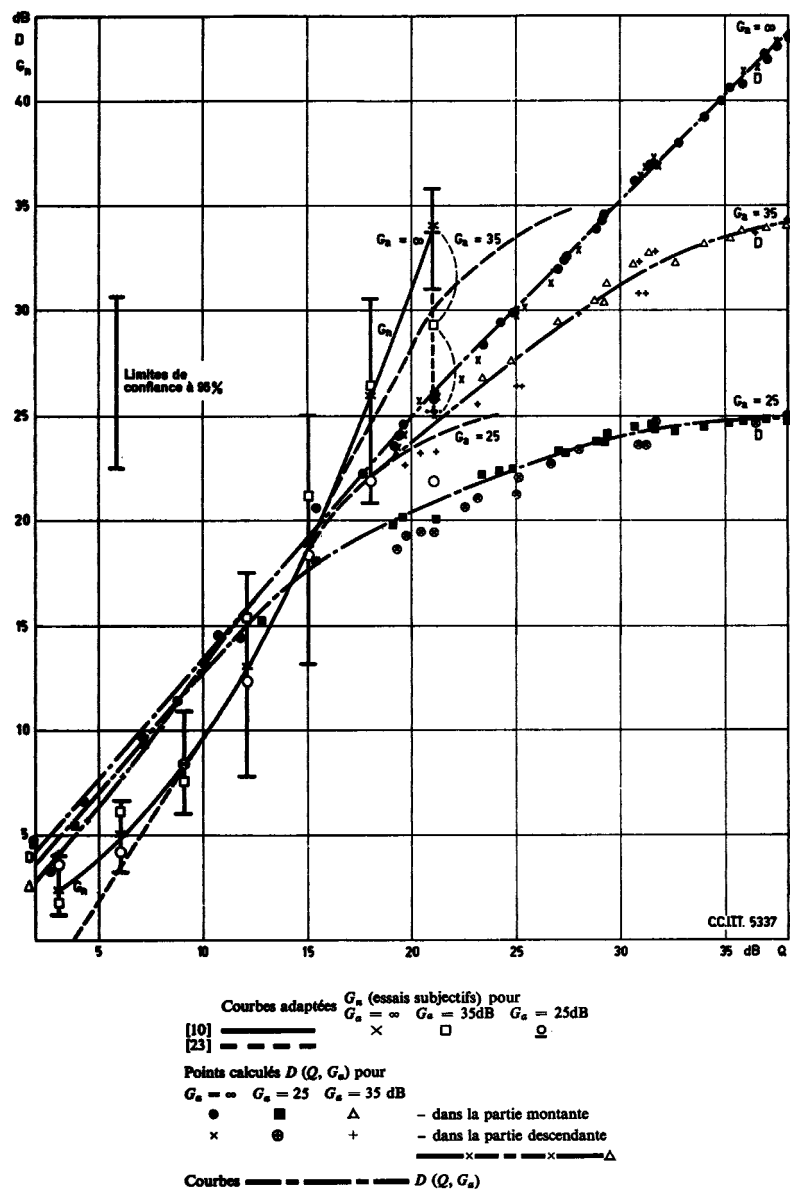


FIGURE 3

TOME V — Question 18/XII, Annexe 6

図 C.6: ITU-T 標準画像 6

CCITTの概要

沿革

CCITTは、国際電気通信連合（ITU）の四つの常設機関（事務総局、国際周波数登録委員会、CCIR、CCITT）の一つとして、ITUの中でも、世界の国際通信上の諸問題を真先に取上げ、その解決方法を見出して行く重要な機関である。日本名は、国際電信電話諮問委員会と称する。

CCITTの前身は、CCIF（国際電話諮問委員会）とCCIT（国際電信諮問委員会）である。CCIFは、1924年にヨーロッパに「国際長距離電話通信諮問委員会」が設置され、これが1925年のパリ電信電話会議のとき、正式に、「国際電話諮問委員会」として万国電信連合の公式機関となったものである。CCITは、同じく1925年の会議のとき、CCIFと併立するものとして設置された。

そして、CCIFは、1956年の12月に第18回総会が開催されたのち、CCITは、同年同月に第8回総会が開催されたのち、併合されて現在のCCITTとなった。このCCITTは、CCIFとCCITが解散した直後、第1回総会を開催し、第2回総会は、1960年にニューデリーで、第3回総会は、1964年、ジュネーブで、第4回総会は、1968年、アルゼンチンで開催された。

CCIFとCCITが合併したのは、有線電気通信の分野、とくに伝送路について電信回線と電話回線とを技術的に分ける意味がなくなってきたこと、各国とも大體において、電信部門と電話部門は同一組織内にあること、CCIFの事務局とCCITの事務局の合併による効率増進等がおもな理由であった。

CCITTは、上述のように、ヨーロッパ内の国々によって、ヨーロッパ内の電信・電話の技術・運用・料金の基準を定め、あるいは統一をはかっていたので、現在でも、その影響を受け、会合参加国は、ヨーロッパの国が多く、ヨーロッパで生起する問題の研究が多い。たとえば、1960年のCCITT勧告の中で、技術上配慮する距離は約2,500kmであったが、これはヨーロッパ内領域を想定したものである。

しかしながら、1956年9月に敷設された大西洋横断電話ケーブルは、大陸間電話通信の自動化および半自動化への技術的可能性を与え、CCITTがこの問題を取り上げるに及び、CCITTの性格は漸次、汎世界的色彩を實質的に帯びるに至った。この汎世界的性格は第2次世界大戦後目まぐるしくなったアジア・アフリカ植民地の独立に伴ってITUの構成員の中にこれらの国が加わり、ITUの中に新しい意見が導入されたことにも起因して、技術面、政治面の双方から導入されてき

た。CCITTの汎世界化は、1960年の第2回総会がニューデリーで開催されたことにもあらわれている。この総会までは、CCITCCIFのいずれにしろ、アメリカやアジアで総会が開催されたことがなく、CCITT委員長も、ニューデリー総会の準備文書で、この点には注目すべきであるとのべている。

任務

ITUは、全権委員会、主管庁会議を始めとして、七つの機関をもち、それぞれの機関の権限と任務は国際電気通信条約に明記されている。そこで条約を参照してみるならば、CCITTの任務は、つぎのとおりとなっている。

「国際電信電話諮問委員会（CCITT）は、電信および電話に関する技術、運用および料金の問題について研究し、および意見を表明することを任務とする。」（1965年モントルー条約第187号）

「各国国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たって、新しい国または発展の途上にある国における地域的および国際的分野にわたる電気通信の創設、発達および改善に直接関連のある問題について研究し、および意見を作成するように妥当な注意を払わなければならない。」（同第188号）

「各国国際諮問委員会は、また、関係国の要請に基づき、その国内電気通信の問題について研究し、かつ、勧告を行なうことができる。」（同第189号）

上記第187号と第188号にいわゆる「意見」とは、フランス語の *avis* から訳したもので、英語では、「勧告（Recommendation）」となっている。CCITTの表明する意見は、国際法的には強制力をもたないものであって、この点が、条約、電信規則、電話規則等各国を拘束する力をもっているものと異なる。もつとも意見とは称しても、技術的分野では、電信規則のとき、各国政府が承認してその内容を実施する強制規則をもたないので、実際にある機器の仕様を定める場合には、多くの国の意見が統一されたこの「意見」に従わなければ、円滑な国際通信を行なうことができない場合が多い。この意見（または勧告）は、国際通信を行なう場合各国が直面する問題について、具体的意見を表明するもので、たとえば、大陸間ケーブルで大陸間通話を半自動化しようとする場合、その信号方式や取り扱う通話の種類および料金は、どのようにするかを研究して意見を表明する。したがって、CCITTの活動は、つねに時代の最先端を行くもので、CCITTの活動方向は、そのまま世界の国際通信の活動方向であるともいえる。

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごとく、数年以上の間隔をもつて開催される主管庁会議というような大会議の決定をまたなくとも表明することができ、また、その改正も容易であるので、現在のように進歩の早い国際通信界では、関係国の意見を統一した国際的見解としては非常に便利である。

図 C.7: ITU-T 標準画像 7

memorandum

FROM: A. P. Spriggs Research	TO: G. V. Smith Project Planning
FILE DIRM/2041	DATE: 1-9-71

We know that, where possible, data is reduced to alphanumeric form for transmission by communication systems. However, this can be expensive, and also some data must remain in graphic form. For example, we cannot key-punch an engineering drawing or weather map.

I think we should realize that high speed facsimile transmissions are needed to overcome our problems in efficient graphic data communication. We need research into graphics data compression.

Any comments?

Albert.

WELL, WE ASKED FOR IT!

図 C.8: ITU-T 標準画像 8

第 D 章

主観評価を行なった画像の例

図 D.1は紙に印刷された ITU-T 標準画像 1 をスキャナでスキャンした白黒 2 値の原画像である。この画像に対して JBIG で階層的符号化を行なった。この画像は、 1664×2338 [単位:pixel] で 300dpi で出力した。

図 D.2はスキャナで 93%に光学的な縮小をした 8bit グレースケールの基準画像の一つである。この画像は、 1552×2174 [単位:pixel] で 300dpi で出力した。

図 D.3 ~ 図 D.8は図 D.1を本研究で検討した各変換方式で解像度変換を行なった評価画像の一部で、図 D.2の基準画像と比較し、主観評価を行なった。これらの画像は、 1560×2191 [単位:pixel] で 300dpi で出力した。



THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH 25 8 ER

TELEPHONE BOOLE (945 13) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2038
Registered Office: 60 Vicars Lane, Ilford, Essex.

図 D.1: スキャナで作成した原画像 (ITU-T 標準画像 1)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH 25 8ER

TELEPHONE BOOLE (945 13) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.N. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 0038
Registered Office: 80 Victoria Lane, Ilford, Essex.

図 D.2: スキャナで作成した基準画像

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE . DORSET . BH25 4ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 51667 - TELEX 125456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Feeding,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2038
Registered Office: 80 Vines Lane, Harlow, Essex.

図 D.3: 単純サンプリングによる方式 (評価画像)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE . DORSET . BH25 4ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 51667 - TELEX 125456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Feeding,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2038
Registered Office: 60 Vines Lane, Harlow, Essex.

図 D.4: 加重平均による方式 (評価画像)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET - BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2008
Registered Office: 40 Vines Lane, Ilford, Essex.

図 D.5: 面積比による方式 (評価画像)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/FJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2008
Registered Office: 40 Vines Lane, Ilford, Essex.

図 D.6: 最近隣サンプリングによる方式 (評価画像)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE - BOOLE - DORSET - BH15 8ER

TELEPHONE BOOLE (04513) 51617 - TELEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2008
Registered Office: 60 Vines Lane, Ilford, Essex.

図 D.7: 最近隣加重平均による方式 (評価画像)

THE SLEREXE COMPANY LIMITED

SAPORS LANE . BOOLE - DORSET - BH25 8ER

TELEPHONE BOOLE (045 13) 51617 - TELEEX 123456

Our Ref. 350/PJC/EAC

18th January, 1972.

Dr. P.W. Cundall,
Mining Surveys Ltd.,
Holroyd Road,
Reading,
Berks.

Dear Pete,

Permit me to introduce you to the facility of facsimile transmission.

In facsimile a photocell is caused to perform a raster scan over the subject copy. The variations of print density on the document cause the photocell to generate an analogous electrical video signal. This signal is used to modulate a carrier, which is transmitted to a remote destination over a radio or cable communications link.

At the remote terminal, demodulation reconstructs the video signal, which is used to modulate the density of print produced by a printing device. This device is scanning in a raster scan synchronised with that at the transmitting terminal. As a result, a facsimile copy of the subject document is produced.

Probably you have uses for this facility in your organisation.

Yours sincerely,

Phil.

P.J. CROSS
Group Leader - Facsimile Research

Registered in England: No. 2008
Registered Office: 40 Vines Lane, Ilford, Essex.

図 D.8: 周波数領域での間引きによる方式 (評価画像)

第 E 章

主観評価で使⽤した評価スケールの例

評定者は図 E.1 に示した評価スケールに評定値を記録する。スケールは連続スケールで、評定値はスケール上の任意の位置を連続的にとることができる。スケールの長さを 100 とし、て評点を求める。

図 B.1: 評価スケール

実験番号	1	2	3	4				
	A	B	A	B	A	B	A	B
きわめて良い								
良い								
普通								
悪い								
きわめて悪い								

第 F 章

主観評価の集計結果

画質の主観評価で得た値を図 F.1 から図 F.6 に示す。また、これらを集計した表を図 F.7 から図 F.10 に示す。

一つのグループを 6 セットに分けて 1 セットを 1 人の評価者が評価を行なった。評価者は合計 18 人であるため、同じ標準画像、同じ変換方式、同じ解像度の画像を異なる評価者が 3 回評価したことになる。評価者が与えた基準画像と評価画像の評点からそれぞれの組で差を求め、各方式について各標準画像毎にそれらの平均値と標準偏差を示した。さらに各方式について評価を行なった 3 つの標準画像全体での基準画像と評価画像の評定値の差の平均値と標準偏差も示した。また各方式について全グループでの基準画像と評価画像の評定値の差の平均値と標準偏差を図 F.10 に示した。それを四捨五入したものを今回の主観評価での評定値として用いた。

図 F.1: 主観評価の評定値（評定者 1 ～ 評定者 3）

図 F.2: 主観評価の評定値（評定者 4～評定者 6）

図 F.3: 主観評価の評定値（評定者 7～評定者 9）

図 F.4: 主観評価の評定値（評定者 10～評定者 12）

図 F.5: 主観評価の評定値（評定者 13～評定者 15）

図 F.6: 主観評価の評定値（評定者 16～評定者 18）

図 F.7: 主観評価の集計結果（グループ 1）

図 F.8: 主観評価の集計結果（グループ 2）

図 F.9: 主観評価の集計結果（グループ 3）

図 F.10: 主観評価の集計結果（全グループ）

第 G 章

評価のために作成したプログラム

本研究で検討した各変換方式の評価のために使用したプログラムを示す。JBIG での符号化、復号化を行なうために JBIG kit を利用した。

G.1 変換速度の評価のために作成したプログラム

ここで示すプログラムは JBIG で階層的符号化された画像を各変換方式で 15/16, 14/16, 13/16, 12/16, 11/16, 10/16, 9/16 に解像度変換を行ない、それぞれの解像度への変換時間を表示する。また、変換した画像はビットデプスが 8 のグレースケールで、これを pgm 形式のビットマップイメージデータとしてファイルへ出力する。プログラムは各変換方式毎に分かれている。-x、-y のオプションを指定することで、それぞれ x 方向、y 方向の最大画素数を指定することができ、この最大画素数に収まる基画像が JBIG で階層的符号化された画像ファイルより読み込まれる。この基画像とこの 1/2 の解像度の基画像を利用して上で述べた比で解像度変換を行なう。従って 1 つの JBIG で階層的符号化された画像のファイルから 14 の異なる解像度の pgm 形式のビットマップイメージファイルが作成される。

使用例 JBIG で階層的符号化された画像のファイル名が ITU-T1.bie とすると、

```
% a.out -x 2000 ITU-T1.bie
```

の様に実行すると、

ITU-T1_ ' 変換方式' _ 'x 方向の画素数' x 'y 方向の画素数' .pbm

の様に pgm 形式のビットマップイメージファイルが作成される。同時に、変換時間が表示される。

ソースコード C で記述した各変換方式のソースコードを示す。

G.2 S/N 比による評価のために作成したプログラム

ここで示すプログラムは前節の変換速度の評価のために作成したプログラムで得られた pgm ビットマップイメージファイルを比較し S/N 比を表示し、テキストファイルとして出力するものである。-g オプションを必要とし、比較する pgm ビットマップイメージファイルのビットデプスを指定する。比較する pgm ビットマップイメージファイルの画素数は x 、 y ともに同じである必要がある。

使用例 得られた画像のファイル名が ITU-T1_’ 変換方式 1’_’ x 方向の画素数’ x ’ y 方向の画素数’.pbm、ITU-T1_’ 変換方式 2’_’ x 方向の画素数’ x ’ y 方向の画素数’.pbm で、ビットデプスが 8 であるとする、

```
% a.out -g 8 ITU-T1_’ 変換方式 1’ ITU-T1_’ 変換方式 2’
```

の様に実行する。その結果、

```
snval7.txt
```

という解像度毎の S/N 比を示す text 形式のファイルが作成される。

ソースコード C で記述した S/N 比の測定を行なうプログラムのソースコードを示す。

G.3 主観評価のために作成したプログラム

ここで示すプログラムは2つの pgm ビットマップイメージファイルを指定し、それらのいずれかを一つのウィンドウに表示し、マウスの中央のボタンにより画像を切替えることができる。またスペースバーを押すことでプログラムは終了する。ウィンドウのタイトルバーに組番号と A、B いずれかを表示する。後述のスク립トと組み合わせて組番号を表示するため setnum.txt というテキストファイルを実行前に作成し、「1」の1文字を書いて保存しておく。画像を表示するこのプログラムはこのテキストファイルを利用して現在の組番号を表示する。

また前節の変換速度の評価のために作成したプログラムで得られた pgm ビットマップイメージファイルと本研究でスキャナを使用して作成した基準画像の pgm ビットマップイメージファイルを指定して前述のプログラムの実行を行なう perl スクリプトが6セットある。

使用例 使用する画像のファイル名がITU-T1_’ 解像度’.pbm、ITU-T1_’ 変換方式 2_’x 方向の画素数’x’y 方向の画素数’.pbm であるとする、

```
% a.out ITU-T1_’ 解像度’.pbm ITU-T1_’ 変換方式 2_’x 方向の画素数’x’y 方向  
の画素数’.pbm
```

の様に実行する。その結果、

一つのウィンドウに画像が表示され、スペースバーを押すことで終了する。

さらに先ほど述べたスク립トを組み合わせることで42組の画像を順に表示する。

ソースコード C で記述した画像の表示を行なうプログラムのソースコードとリソースファイルを示す。また、実際の主観評価時に使用した6セットの perl スクリプトも示す。

第 H 章

各変換方式に対する各評定者の評定値

各変換方式について、評定者毎の評定値の平均とその標準偏差を図 H.1に示す。また、それらをグラフにしたものを図 H.2～図 H.19に示す。

各グラフで、項目軸にある変換方式の並びは図 6.5と同じ並びになっており、多くのグラフが右上がりのものとなっており、各評定者についても主観評価の結果に近い傾向が見られる。しかし、主観評価の結果とは異なる傾向を示した評定者があることも分かる。

図 H.1: 各方式に対する各評定者の評定値

図 H.3: 各方式に対する評定者 2 の評定値のグラフ

図 H.5: 各方式に対する評定者 4 の評定値のグラフ

図 H.7: 各方式に対する評定者 6 の評定値のグラフ

図 H.9: 各方式に対する評定者 8 の評定値のグラフ

図 H.11: 各方式に対する評定者 10 の評定値のグラフ

図 H.13: 各方式に対する評定者 12 の評定値のグラフ

図 H.15: 各方式に対する評定者 14 の評定値のグラフ

図 H.17: 各方式に対する評定者 16 の評定値のグラフ

図 H.19: 各方式に対する評定者 18 の評定値のグラフ

第 I 章

各方式に対する各評定者の評定順位と評定者全体での評定順位

評定者毎に、各変換方式について各解像度での順位の平均とその標準偏差を図 I.1 に示す。また、評定者全体での順位の平均とその標準偏差を図 I.2 に示す。評定者により評価を行なった解像度がことなるため、各評定者で評価を行っていない解像度は線形補間でその解像度の順位を決定した。これらの順位は値が小さいほど悪く、大きいほど良い。

これらより、各方式の評価順位で見ても主観評価の結果と同じ傾向があることが分かる。

図 I.1: 各方式に対する各評定者の評定順位

I.2: 各方式に対する評定者全体での評定順

第 J 章

TIFF

電子ファイリングシステムで多く利用されている TIFF 形式について簡単に説明する。以下の説明は TIFF R6 の仕様書より引用した。

J.1 History

TIFF 仕様書の最初のバージョンは 1986 年の秋に Aldus Corporation により提供された。

J.2 Scope

TIFF はスキャナ、frame grabber、ペイントそして写真のレタッチソフトから一般に来るイメージデータを記述する。

TIFF はプリンタ言語もしくはページ記述言語ではない。TIFF の目的はラスタ・イメージ・データを記述し、保存することである。

TIFF の初期の目的はアプリケーションがイメージデータをやり取りできる豊かな環境を提供することである。この豊かさはスキャナや他のイメージングデバイスの様々な能力を利用することが要求される。

TIFF は豊かなフォーマットであるにもかかわらず、簡単なスキャナやアプリケーションに容易に利用されることもできる。なぜなら要求されるフィールドの数が少ないからである。

J.3 Features

- TIFF は2値、グレースケール、パレット・カラー、そして幾つかのカラー空間でフルカラーイメージデータを記述する能力がある。
- TIFF はデベロッパーのアプリケーションに対して空間と時間の最も良いトレードオフを選択することを許すいくつかの圧縮スキームを含む。
- TIFF は特定のスキャナ、プリンタ、もしくはコンピュータのディスプレイに束縛しない。
- TIFF はポータブルである。それは特定のオペレーティングシステム、ファイルシステム、コンパイラ、またはプロセッサに依存しない。
- TIFF は拡張性があるように設計されている。それは新しい必要性が生じると静かに進化させるためである。
- TIFF は専用または特殊な情報の限らない量の包含を許す。

J.4 TIFF Structure

TIFF はイメージファイルフォーマットである。このドキュメントでは、ファイルは一連の 8-bit byte と定義される。byte は 0 から N と数える。最大の TIFF ファイルの大きさは長さで 232byte (4294967296byte=4Gbyte) である。

TIFF ファイルは image file directory (IFD) を指す 8-byte の image file header で始まる。image file directory は実際のイメージデータへのポインタも含めイメージについての情報を含んでいる。

J.4.1 Image File Header

TIFF ファイルは 8-byte の image file header で始まる。それは次に続く情報を含んでいる:

Bytes 0-1:

これはファイルの中でのバイトシーケンスを表すために使われた。正式の値は:

”II” (4949.H) ”MM” (4D4D.H)

”II”フォーマットで、16-bit と 32-bit イメージの両方に対して、バイトシーケンスは常に最も小さい有効バイトから最も大きい有効バイトである。これはリトル・エンディアンのバイトの並びと呼ばれる。”MM”フォーマットで、16-bit と 32-bit イメージの両方に対して、バイトシーケンスは常に最も大きいものから最も小さいものである。これはビッグ・エンディアンのバイトの並びと呼ばれる。

Bytes 2-3:

任意に、しかし注意深く選ばれた番号 (42) はそのファイルが TIFF ファイルであることを識別する。

バイトシーケンスは Bytes 0-1 の値に依存する。

Bytes 4-7:

最初の IFD のオフセット (バイトで) である。ディレクトリはファイルの中でヘッダの後のあらゆる場所にあるだろう。しかしワードの境界から始めなければならない。特に、Image File Directory はそれが記述するイメージデータをたどるだろう。読み手はポインタが導く場所にはどこでも追従しなければならない。

byte offset という用語は TIFF ファイルの始まりに関して場所を参照するためにこのドキュメントで常に使用される。ファイルの最初のバイトは 0 のオフセットである。

J.4.2 Image File Directory

Image File Directory (IFD) はディレクトリエントリの数 (i.e. フィールドの数) の 2-byte の数、続いて 12-byte のフィールドエントリの並び、続いて 4-byte の次の IFD のオフセット (もし無ければ 0) を含む。(最後の IFD の後に 4 バイトの 0 を書くのを忘れるな。)

TIFF ファイルには少なくとも一つの IFD がなければならない。そして各 IFD は少なくとも一つのエントリを持たなければならない。

IFD Entry

12-byte の IFD エントリそれぞれは次に続くフォーマットを持つ:

Bytes 0-1

フィールドを見分けるタグ。

Bytes 2-3

フィールドタイプ。

Bytes 4-7

値の数。Type で示されたもののカウント。

Bytes 8-11

Value のオフセットで、フィールドに対する Value のファイルオフセット (バイトで)。Value はワードの境界で始まることを期待される。一致する Value Offset は従って偶数であろう。このファイルオフセットはイメージデータの後であってもファイルのどこでも指す可能性がある。

J.4.3 IFD Terminology

TIFF field は TIFF タグとその値から成る論理的な存在である。この論理的概念は IFD Entry として実装される。もし value/offset パートにフィットしなければ実際の値を IFD Entry の最後の 4 バイトに加える。TIFF field と IFD entry という用語は多くの文脈で交換できる。

Sort Order

IFD のエントリはタグによる昇順でソートされなければならない。これはフィールドがこのドキュメントで記述された順番でないことに注意せよ。ディレクトリエントリが指す Value はファイルのあらゆる特定の順ではない必要がある。

Value/Offset

時間と空間を節約するため Value Offset はもし Value が 4 バイトにフィットすれば Value を指す代わりに Value を含む。もし Value が 4 バイトより短ければ、それは 4-byte の Value Offset の中に left-justified (左詰め) である。i.e. 小さい番号のバイトに蓄えられる。Value が 4 バイトの中にフィットするかどうかはフィールドの Type と Count により決定される。

Count

Count は値の数である。Count はバイト数の合計ではないことに注意しろ。例えば、一つの 16-bit ワード (SHORT) は 1 の Count である。2 ではない。

Types

フィールドタイプとそれらのサイズは:

1=BYTE 8-bit unsigned integer.

2=ASCII 7-bit ASCII コードを含む 8-bit byte; 最終バイトは NUL でなければならない (2 進でゼロ)

3=SHORT 16-bit (2-byte) unsigned integer.

4=LONG 32-bit (4-byte) unsigned integer.

5=RATIONAL LONG が 2 つ: 一つめは分数の分子を表す; 二つめ、分母。

ASCII フィールドエントリの Count 部の値は NUL を含む。もしパディングが必要なら、Count はパディングバイトを含まない。Pascal-style の string のように始めの "count byte" はないことに注意せよ。

あらゆる ASCII フィールドは複数の string を含むことができる。それらはそれぞれ NUL で終端する。可能なときはいつでも単一の string が選ばれる。multi-string フィールドに対する Count はそのフィールドに終端 NUL を加えた全ての string のバイト数である。ただ一つの NUL が string の間に許されている。そのため最初の string に続く string はしばしば奇数バイトで始まるだろう。

読み手はタイプが予期された値を含むことを検証するためにタイプをチェックしなければならない。TIFF は幾つかのフィールドに対して 1 つ以上の有効なタイプを現在許す。例えば、ImageWidth と ImageLength は SHORT タイプを持っているように通常特定される。しかし 64K より大きい列または行をもつイメージは LONG フィールドタイプを使用しなければならない。

TIFF の読み手はあらゆる unsigned integer フィールドに対する BYTE, SHORT, もしくは LONG の値を受け入れるべきである。これはあらゆる integer の値を回復するための単一プロシージャを許し、それは読むことをより強靱にし、そして幾つかの状況でディスクスペースを節約する。

TIFF 6.0 で、幾つかの新しいフィールドタイプが定義されている:

6=SBYTE 8-bit signed (2 の補数) integer.

7=UNDEFINED あらゆるものを含む可能性のある 8-bit byte で、フィールドの定義に依存している。

8=SSHORT 16-bit (2-byte) signed (2 の補数) integer.

9=SLONG 32-bit (4-byte) signed (2 の補数) integer.

10=SRATIONAL 二つの SLONG: 一つめは分数の分子を表す、二つめは分母。

11=FLOAT 単精度 (4-byte) IEEE フォーマット。

12=DOUBLE 倍精度 (8-byte) IEEE フォーマット。

これらの新しいフィールドタイプも TIFF ヘッダのバイトの並び (II または MM) に左右される。

警告 : 他の TIFF フィールドタイプが将来追加される可能性がある。読み手は予期しないフィールドタイプを含んでいるフィールドをとばすべきである。

J.4.4 Fields are arrays

各 TIFF フィールドは関連する Count フィールドを持つ。これは、ほとんどのフィールドがただ一つの値しか含まないとしても、全てのフィールドは実際に 1 次元配列であることを意味する。

例えば、UNDEFINED フィールドタイプを使い、バイト数を Count にセットして、一つのプライベートフィールドに複雑なデータ構造を蓄積するためにはデータ構造を保持することが要求される。

J.4.5 Multiple Images par TIFF File

TIFF ファイルに一つ以上の IFD があるかも知れない。各 IFD は subfile を定義する。subfile の一つの可能性のある使い方はファクシミリ転送のような関係のあるイメージを記述することである。Baseline TIFF の読み手は最初の IFD を越えたどの IFD も読む必要はない。

J.5 Bilevel Images

ラスタイメージデータを記述する実際のフィールド (タグと value) で構造を満たす。

このすべてを明確にするため、議論は 4 つの Baseline イメージタイプ (2 値、グレースケール、パレットカラー、そしてフルカラーイメージ) に編成されるだろう。この章は 2 値イメージを記述する。

2 値イメージを記述するために要求されるフィールドはここで手短に紹介し記述される。

Color

2 値イメージは 2 つの色を含む。それは黒と白である。TIFF は白がゼロまたは黒がゼロのどちらのフォーマットでも 2 値データを書き上げることをアプリケーションに許す。この情報を記録するフィールドは PhotometricInterpretation と呼ばれる。

PhotometricInterpretation

Tag = 262 (106.H)

Type = SHORT

Values:

0 = 白がゼロ。2 値とグレースケールイメージに対して: 0 は白と映し出す。最大値は黒と映し出す。これは Compression=2 に対する通常の値である。

1 = 黒がゼロ。2 値とグレースケールイメージに対して: 0 は黒と映し出す。最大値は白と映し出す。もしこの値が Compression=2 を明記されると、イメージは反転して表示、印刷されるだろう。

Compression

データは圧縮または非圧縮のどちらかで蓄積される。

Tag = 259 (103.H)

Type = SHORT

Values:

1 = 圧縮なし、しかし可能な限りきつくバイトにデータは詰め込まれ、未使用ビットにはしない(列の最後を除く)。そのコンポーネントバリューはBYTE タイプの配列として蓄積される。各スキャンライン(列)は次のバイト境界までパディングされる。

2 = CCITT Group 3 1次元 Modified Huffman ランレングス符号化。Modified Huffman 圧縮の記述は 10 章を見よ。

32773 = PackBits 圧縮で、簡単なバイト指向ランレングス法。詳細は PackBits の章を見よ。

データ圧縮はラスタイメージデータに対してのみ適用される。すべての他の TIFF フィールドは影響を受けない。

Baseline TIFF の読み手はこれらのすべての圧縮方式を扱わなければならない。

Rows and Columns

イメージは画素の直交配列のように構成される。この配列の次元は次のフィールドに蓄積される:

ImageLength

Tag = 257 (101.H)

Type = SHORT or LONG

イメージの列の数(ときどき scanlines と記述される)。

ImageWidth

Tag = 256 (100.H)

Type = SHORT or LONG

イメージの行の数。i.e. スキャンライン毎のピクセルの数。

Physical Dimension

アプリケーションはイメージにより描画される画像のサイズをしばしば知りたがる。この情報は次の解像度データで与えられる ImageWidth と ImageLength より計算できる。

ResolutionUnit

Tag = 296 (128.H)

Type = SHORT

Values:

1 = 測定の絶対的な単位がない。方形でない縦横比を持つ可能性のあるイメージに使用される。しかし意味のある絶対的な大きさはない。

2 = インチ。

3 = センチメートル。

デフォルト = 2 (インチ)

XResolution

Tag = 282 (11A.H)

Type = RATIONAL

ImageWidth 方向 (一般に、水平方向) の解像度単位毎の画素数。

YResolution

Tag = 283 (11B.H)

Type = RATIONAL

ImageLength 方向 (一般に、垂直) の解像度単位毎の画素数。

Location of the Data

圧縮された、または圧縮されていないイメージデータは TIFF ファイルのほとんどあらゆる場所に蓄積されることが出来る。TIFF はまた追加編集の柔軟性と効率のいい I/O バッファリングに対する分離したストリップにイメージを壊すことをサポートする。

各ストリップの場所とサイズは次のフィールドにより与えられる:

RowsPerStrip

Tag = 278 (116.H)

Type = SHORT or LONG

各ストリップの列の数。(最後のストリップを出来るだけ除く)

例えば、もし ImageLength が 24、そして RowsPerStrip が 10、ならそれらは 3 つのストリップで、最初のストリップに 10 列、二番目のストリップに 10 列、そして三番目のストリップに 4 列である。(最後のストリップのデータはダミーデータの 6 つの余分の列でパディングされない。)

StripOffsets

Tag = 273 (111.H)

Type = SHORT or LONG

各ストリップに対する、そのストリップのバイトオフセット。

StripByteCounts

Tag = 279 (117.H)

Type = SHORT or LONG

各ストリップに対する、あらゆる圧縮の後のそのストリップのバイトの数。

すべて一斉に示す(一緒に 2,3 の重要でないフィールドがあり、それらは後に議論する)。サンプルの 2 値イメージファイルは次のフィールドを含むかも知れない:

Comments on the Bilevel Image Example

- この例の IFD は 14h から始まる。それは提供されているオフセットが 8 と同じかより大きい偶数ならファイルのどこからでも始められていることが出来た。(それは TIFF ヘッダが常に TIFF ファイルの最初の 8 バイトだからである。)
- ストリップごとに 16 列で、全体で 188 ストリップある。
- 例は DateTime の様なオプションフィールドを幾つか使う。TIFF の読み手はもしこれらが理解できないまたはその情報を使いたくない場合は安全にこれらのフィールドを飛び越さなくてはならない。Baseline TIFF の読み手はこのようなフィールドが提供されることを要求しないに違いない。

- 理解させるために、この例はかなり断片化したイメージデータである。イメージのストリップは順番ではない。この例の要点はストリップオフセットが無視されてはいけないことを説明することである。ディスク上でストリップ $N+1$ がストリップ N の次だと決して思い込むな。イメージデータが IFD 情報に続くことは要求されていない。

J.5.1 Required Fields for Bilevel Images

これが Baseline TIFF 2 値イメージに対する要求されたフィールドのリストである。そのフィールドはそれらが IFD に出るであるように番号順にリストされている。前の例はこれらのフィールドの幾つかを省略していることに注意しろ。これは許可されている。なぜなら省略されたフィールドはそれぞれデフォルトを持ち、そしてデフォルトはこのファイルに適切だからである。

Baseline TIFF 2 値イメージは TIFF の仕様書の初期のバージョンで TIFF Class B イメージと呼ばれた。

J.6 Grayscale Images

グレースケールイメージは 2 値イメージの一般化である。2 値イメージは黒と白のイメージデータのみを蓄えることが出来る。しかし、グレースケールイメージは灰色を蓄えることが出来る。

このようなイメージを記述するため、次のフィールドを加える、もしくは変更する必要がある。他の要求されるフィールドは 2 値イメージで要求されたものと同じである。

J.6.1 Differences from Bilevel Images

Compression = 1 または 32773(*PackBits*). Baseline TIFF での、グレースケールイメージは圧縮されていないデータまたは *PackBits* で圧縮されたデータのどちらでも蓄積することが出来る。

警告: *PackBits* は多くのグレースケールイメージを含む繰り返し調のイメージではしばしば効果がない。このような場合、イメージを圧縮しないままの方が良い。

BitsPerSample

Tag = 258 (102.H)

Type = SHORT

コンポーネント毎のビットの数。

Baseline TIFF グレースケールイメージに対する許される値は 4 と 8 で 16 または 256 の明瞭な灰色のどちらでも許す。

Baseline TIFF グレースケールイメージは TIFF 仕様書の初期のバージョンで TIFF Class G イメージと呼ばれていた。