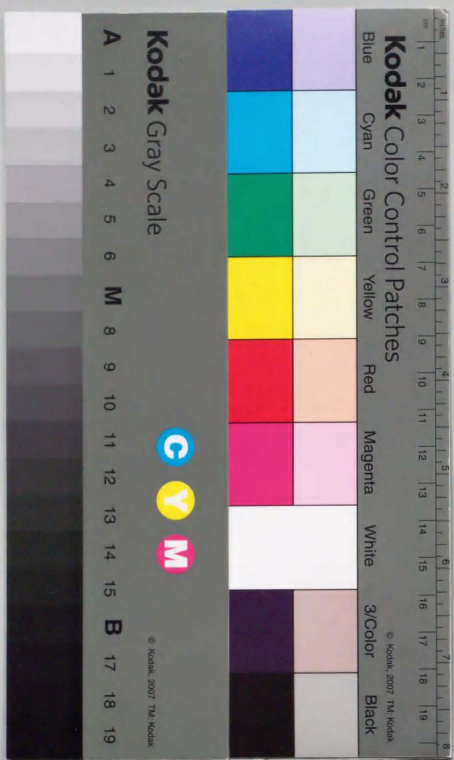


文字画像等の混在を考慮した
濃淡画像符号化方式の研究

越前 宗



①

文字画像等の混在を考慮した
濃淡画像符号化方式の研究

越 智 宏

----- 目次 -----

第1章 序論

1. 1. まえがき	5
1. 2. 静止画像通信の現状と符号化方式への要求条件	5
1. 2. 1 画像通信の歴史と現状	
1. 2. 2 静止画像符号化技術の背景	
1. 2. 3 静止画像符号化方式への要求条件	
1. 3. 本研究の目的と位置づけ	10
1. 3. 1 本研究の対象と目的	
1. 3. 2 静止画像符号化方式の動向	
1. 3. 3 研究の意義	
1. 4. 本論文の構成	18

第2章 濃淡画像の階調省略と画品質

2. 1. まえがき	20
2. 2. 視感覚からみた濃淡画像の性質	20
2. 2. 1 シミュレーション方法	
2. 2. 2 濃度変化と必要階調数	
2. 2. 3 原画像のランダムノイズの除去	
2. 2. 4 出力ノイズと必要階調数	
2. 3. ブロックトランケーション符号化方式との関係	27
2. 3. 1 ブロック内階調レベル差に合わせた階調省略法	
2. 3. 2 BTC符号化方式との関係についての考察	
2. 4. まとめ	29

第3章 差分適応ブロック符号化方式

3. 1 まえがき	----- 3 0
3. 2 本符号化方式の考え方	----- 3 0
3. 3 ブロックのモード分類と量子化	----- 3 2
3. 3. 1 モード分類	
3. 3. 2 ブロック内の階調レベル差の量子化値と成分分離	
3. 4 符号化成分と各成分の符号化	----- 3 5
3. 4. 1 各成分と復号条件	
3. 4. 2 各成分の符号化	
3. 5 DABC方式の符号化性能	----- 3 9
3. 5. 1 符号量とSNR	
3. 5. 2 後処理	
3. 5. 3 写真・文字混在画像の符号化	
3. 6 段階的復号	----- 5 0
3. 6. 1 画像復元手順	
3. 6. 2 方法I、IIの比較	
3. 7 DABC方式の拡張	----- 5 5
3. 8 成分分離階層形符号化方式	----- 5 5
3. 8. 1 概要	
3. 8. 2 BSPPC符号化方式の構成	
3. 8. 3 BSPPC方式の符号化性能	
3. 9 まとめ	----- 6 0

第4章 文字・写真混在画像の疑似中間調表現と符号化

4. 1 まえがき	----- 6 4
4. 2 文字・写真領域の分離と適応処理(BAT法)	----- 6 7
4. 2. 1 BAT法の背景	
4. 2. 2 BAT法の処理アルゴリズム	
4. 2. 3 BAT法による画品質	
4. 3 網点領域の分離と適応処理	----- 7 6
4. 3. 1 網点識別処理の背景	
4. 3. 2 網点写真画像の性質と網点構造の識別	
4. 3. 3 ブロック分離変換(BSET)法による網点処理法	
4. 3. 4 BSET法の処理特性	
4. 4 まとめ	----- 9 0

第5章 背景レベルとコントラストの自動識別と2値化処理

5. 1 まえがき	----- 9 5
5. 2 背景レベル、黒レベルの判定処理	----- 9 5
5. 2. 1 考慮すべき事項とアルゴリズムの考え方	
5. 2. 2 処理アルゴリズム	
5. 2. 3 パラメータの設定	
5. 2. 4 背景レベル(W)と黒レベル(B)の判定シミュレーション例	
5. 3 濃淡表現を伴う2値化処理	----- 1 0 2
5. 3. 1 処理アルゴリズム	
5. 3. 2 デイザ閾値	
5. 3. 3 計算機シミュレーション	
5. 4 濃淡表現を必要としない2値化処理	----- 1 0 9
5. 4. 1 処理アルゴリズム	
5. 4. 2 計算機シミュレーション	
5. 5 まとめ	----- 1 1 1

第6章 疑似中間調画像の伝送

6. 1 まえがき	----- 112
6. 2 2値画像用標準符号による疑似中間調画像の伝送。	----- 112
6. 2. 1 各種閾値配置と符号量	
6. 2. 2 各閾値配置と画品質	
6. 2. 3 ディザ画像の伝送	
6. 3 文字・写真の領域分離符号化	----- 121
6. 3. 1 概要	
6. 3. 2 BAT法による像域分離符号化	
6. 4 むすび	----- 130

第7章 結論

謝辞

文献

関連論文

----- 131
----- 134
----- 135
----- 139

第1章 序論

1. 1. まえがき

画像情報の多様化と高度化により、ビデオテックス等のセンター・エンド形通信、ファクシミリや印刷画像伝送のようなエンド・エンド形通信等、多方面のテレマティク・サービスにおいて高品質の画像伝送の要求が高まっている。また、LSI技術の進展とISDNの実現により、多量の情報を短時間に送ることが容易になりつつある。これらの結果として、高品質な濃淡画像伝送の各種技術の実用化に拍車がかかっている。本論文はこれら濃淡画像伝送の研究の一端として、静止画像を対象に、濃淡を有する画像の高品質表現/高圧縮符号化方式について、文字/絵画等が混在する場合を重点に検討した研究の成果をまとめたものである。

1. 2 静止画像通信の現状と符号化方式への要求条件

1. 2. 1 画像通信の歴史と現状

人間は古くから、口と耳、あるいは目を媒介として多くの通信手段を発達させてきた。言語を利用する音声通信は、人類の最も基本的な情報伝達手段として太古の時代より使用されてきたが、その後の文字の発明により、情報を文書の形で記述して遠隔地に運んだり（郵便）保存する等が可能になり距離と時間を越えて情報の伝達が可能となった。さらに、遠隔地に音声を送達する手段としての電話の発明は、実時間で音声情報の交換を可能とし、その利便性から社会に広く浸透し今では生活に欠かせないものとなっている。画像通信は、この実時間での情報交換の範囲を音声や言語から視覚にまで拡大するものといえよう。

画像通信技術として最も古いものはファクシミリであり、1843年にアレクサンダー・ベインによってその原理が、1848年にはベークウェルにより円筒走査の原理が発明されている。したがって、この時点で、画像を画素に分解して電気信号として送るという概念は確立していた。ベルによる電話の発明（1876年）より約30年前のことである。しかし、ファクシミリが実用に供せられるようになったのは1920年代になってからである。日本でも1928年に、丹羽保次郎博士により完成された写真電送装置が最初であり、天皇即位式典の画像の電送に利用された。スコットランドのペアーダが実用的なテレビジョン方式の発明を行った1925年から3年後のことである。以後写真電送は報道関係を中心に利用されてきた。一方濃淡を必要としない白黒2値の画像を送るファクシミリは模写電送と呼ばれ、天気図放送の他、警察、電電公社、官公庁での業務用、新聞社での新聞紙面電送等、特殊な用途で利用されてきた。ファクシミリ通信が目ざましい発展を遂げる契機となったのは、1971年の公衆電気通信法の改正、いわゆる電話網の解放である。これにより、電話回線に電話以外の端末を接続して一般に利用できるようになり、ファクシミリの研究開発/

製造と利用が活発化した。

最近ではISDNの実現により高速伝送が可能になったこと、オフィスオートメーションの普及等により、ファクシミリだけでなく印刷画像伝送、ビデオテックスや各種データベースの中で静止画像を扱う必要性が急速に拡大している。一方、動画像としてのテレビジョンは1925年のベアード発明以後1936年に英国で、日本では1952年より放送が開始され、放送というメディアの中で広く普及した。テレビ画像は情報量が多いために、放送以外では専用線を利用した通会議等使われる程度であったが、やはりISDNの実現により公衆網を通した1対1の通信に拡大しようとしている。さらには、HDTVの出現により動画像の1フレームの精細度が静止画像に近くなってきたこともあり、静止画像と動画像の境界は明確でなくなっている。本論文は、これら画像通信のうちファクシミリを初めとする静止画像の符号化に関するものである。

1. 2. 2 静止画像符号化技術の背景

(静止画像伝送の歴史)

静止画像の情報圧縮技術を歴史的にみると、帯域幅を圧縮しながらアナログ情報のまま変調する方式と、デジタル処理により冗長度を圧縮し符号量を削減する方式に大別される。アナログ変調方式はデジタル処理が未発達なころ利用されていたが現状ではほとんど使われていない。デジタル処理による静止画像の情報圧縮は1961年にWylerがファクシミリ信号の統計的性質を調べ圧縮の可能性を示した⁽¹⁾の始まり、1970年前後には予測を伴うランレングス符号化方式を中心に各社から非常に多くの冗長度抑圧符号化方式の発表がなされている⁽²⁾。そのような状況の中で、相互通信性の確保の必要性から標準化の重要性が叫ばれるようになりCCITTで審議が開始された。CCITTでは、濃淡情報が必要としない文書画像等を対象として、情報圧縮を行わないグループ1、アナログの帯域圧縮を基本にしたグループ2、デジタル信号の冗長度抑圧処理を基本とするグループ3の各方式が標準化され⁽³⁾ファクシミリ普及の素地ができた。グループ3の標準符号化方式にはモディファイド・ハフマン(MH)符号化方式とともに、白黒の境界の変化情報を走査線ごとに逐次符号化するモディファイド・リード(MR)符号化方式⁽⁴⁾が選ばれた。また機を同じくして、オフィスオートメーションの進展とともにファクシミリはその需要を増大し、呼応してデバイス技術やLSI化技術が発達した。その結果、装置の低価格化、高性能化がはかれ、その後のファクシミリの普及にはめざましいものがある。また、MR符号化方式はさらにデジタル網用のG4規格の中でエラーフリーを前提に拡張され⁽⁵⁾、さらに高い圧縮比が得られるようになった。

さらに近年、ファクシミリ以外でも、印刷画像の伝送、ビデオテックスや各種データベース等の普及により、各種OA機器の画像の入出力/蓄積等において濃淡画像

を扱う機会が多くなっている。このような状況の中で、文字等の2値情報だけでなく濃淡画像の伝送という面でも、高品質な画像をより少ない符号量で伝送あるいは蓄積するための高性能な符号化方式の必要性が生じてきた。

(静止画像の種類と特徴)

テレビジョンのような動画像通信は視覚にはいる情報をそのままの形で伝送することが主であり時間軸方向の情報を有することに意味がある。それに対して、静止画像通信は時間軸方向の情報を持たず文字や図形など人工的に作成あるいは手を加えられた画像が比較的多い。また、一般に特定目的に合わせた情報のみを扱うため、情報の内容や入出力形態が多岐にわたる特徴がある。

まず画像の出力方法から見ると、表1.2.1のようにハードコピータイプとソフトコピータイプに分けられる。前者にはファクシミリや印刷画像等の伝送が、後者にはビデオテックスやデータベース検索などテレビ画面を利用した情報授受のための通信がある。また、画像内容から写真や動画の1フレームに相当する自然画像と、文字や図形のような人工的に作られた画像に分けられる。前者は印刷画像、医療画像のように濃淡やカラーを有する画像であり、後者は文書のように白黒2値の画像が多い。従来これら種々の静止画メディアは写真電送、複写電送という言葉で表されるようになってきたが、近年メディアの複合化によりその境界は明確でなくなりつつある。たとえばハードコピー通信としてのファクシミリは、画像ファイルやデータベースとの連携あるいはペーパレス化の動きによりハードコピー化することなく

表1. 2. 1 静止画像の種類と要求条件

	通信メディア	主な画像	特 徴	要求条件
ハ イ コ ド ビ	印刷画像伝送	印刷用 高精細画像	高精細画像の高品質伝送 情報量大	高品質画像の圧縮
	文書通信	ファクシミリ 文書ファイル	文字/線図形と 写真等が混在	適応処理 高圧縮
ソ フ コ ト ビ	データベース	文字画像 自然画像	検索、編集への対応 多様な出力形態	階層化 処理性の向上
	医療画像伝送	X線写真等	高階調 検索	無劣化

網かけ部：本研究の主な対象分野

ディスプレイ表示による出力として利用する場合も多くなるなど出力形態も多様化している。また、2値画像の伝送を対象に発展してきたファクシミリは近年の高品質高性能化により写真等の自然画像をも高品質に伝送したいとの要求により濃淡画像も含めての高品質伝送へと要求はエスカレートしつつある。そのための手段の一つとして、白または黒画素の密度を変化させて濃淡を表現する疑似中間調（ディザ）法⁽⁶⁾が注目されるようになった。ファクシミリやディスプレイ装置のような画像出力装置の多くは白黒の2つのレベルしか取れず、それ自体で濃淡を表現できないものが多いが、疑似中間調法は淡い部分では白画素の数を多く濃い部分では黒画素の数を多くするように白/黒画素の密度を相対的に制御して濃淡を表現するので、新聞写真のように2レベルのドットのみで濃淡画像が表現できる。したがって、これら2レベル表現の装置に疑似中間調法を適用すれば、見かけ上の濃淡が容易に、しかも文字のような他の2値画情報と同時に表現できる。このため疑似中間調方式は簡易に濃淡を表現できる方式として、ファクシミリや文書ファイル等2値画像を主とするシステムに広く適用されつつある⁽⁷⁾。さらに最近では、写真部分の品質は疑似中間調では満足せず写真電送などの品質を要求する場合も多くなってきている。

1. 2. 3 静止画像符号化方式への要求条件

前節で述べたように、静止画像伝送はその用途により内容や入出力形態が多岐にわたるため符号化方式に対する要求条件も多様になる。また、近年のオフィスオートメーションの進展により、ファクシミリ、ワードプロセッサ、画像データベース等の通信メディアは単独でなく、相互に情報の交換が必要になってきている。そのため、符号化方式としても、個々の目的に特化した符号化方式を別々に用いるのではなく、共通の符号化方式を統一的に用いることが望ましい。単一の符号化方式を多くの目的に適用するためには個々の目的ごとに要求される多くの条件を兼ね備えている必要がある。

これら符号化方式に要求される第1の条件は多様な画像内容への対応である。文書のように文字線画を主体とするもの、動画の1フレームに相当する自然画像、X線画像のように微妙な変化を保持する必要がある医療画像等、目的に応じてそれぞれ画像内容も変わってくる。特に白黒2値の情報を中心とし解像度を重要とする文書画像、濃淡表現の階調性を重要とする写真等の扱いが問題になる。たとえばファクシミリの場合、従来は文字線画のような白黒2値の情報を伝送すればよかったが、その普及の拡大とともに、原稿内容としても文書原稿だけでなく写真などの濃淡情報を含む画像の伝送への要求が強くなってきた。写真を含む文書画像を統一的に扱う場合の主たる課題は、これら画像の特徴や統計的性質の異なる文字線画と濃淡画像の両方を、適応処理により画品質よくかつ高効率に伝送することである。

第2は、単に符号量の削減だけでなく、編集、蓄積、検索等、画像の応用範囲の

拡大に伴う処理性の拡大、すなわち復号した画像を利用する場合の利便性まで考慮した符号化方式の実現である⁽⁸⁾。画像通信の利用形態としては、符号化された画像を単に復号して原画像を再現するだけでなく、受信画像を編集、蓄積さらには検索等と複合化して利用されるようになってきた。そのため、画像情報の一部を取り出したい場合も多い。たとえばデータベースに蓄積された自然画像や文字の混在する文書等を対象に考えると、白黒2値表示のファクシミリに伝送する場合には濃淡表現の必要はなく2値画像が得られればよい。また、画像内容を見ながら高速で検索する場合、原画像を復元する必要はなく概略画像のみが得られればよい。これらの要求に対しては、画像がこれらの処理に必要な2値、概略画像等の特徴的成分にあらかじめ分離されて符号化されていれば、該当成分のみを復号すればよいので高速処理が可能である。また、画像内容を認識あるいは類似画検索のように大量に蓄積された画像の中から特定の画像を自動抽出したいような場合には蓄積されている画像の内容を分析する必要がある。この場合も、輪郭情報や濃淡変化等、分析に必要な特徴成分にあらかじめ分離されて符号化されていれば、復号後内容分析のために必要な処理量が少なくなり高速処理が可能となる。

条件の第3は高い符号化効率である。ISDNの実現により従来のアナログ電話網に比べて通信速度は大幅に向上しているが、同時に要求条件の高度化により情報量も大幅に増えることが予想される。たとえばファクシミリはそのまま正式文書として扱えるように高精細化、印刷画像や医療画像では高精細/高階調が要求される。また、静止画像データベースから情報検索を行う場合、従来のファクシミリのようにA4判1枚の画像を伝送するのに1分近くの時間を要したのでは実用にならず、長くて1秒以下が要求される。さらに、画像ファイルやデータベースに大量の画像を蓄積する場合のメモリコストは符号化効率にそのまま反比例する。したがって、今後通信回線の速度が速くなり、また通信コストが低減されたとしても、符号量の削減すなわち符号化効率が重要な要素の一つであることは今後とも当分は変わらない。

最後に実用性があげられる。アルゴリズム自体がいかに優れていても処理量が多く実時間処理ができないとか、ハードウェア規模が大きすぎて実用できないのでは困る。画像符号化方式は一般に高性能な方式は処理が複雑で、簡易な方式は効率も劣る傾向がある。従って、前述したような符号化性能とともに実用性という点も重要な要素の1つである。

1. 3 本研究の目的と位置づけ

1. 3. 1 本研究の対象と目的

(研究の対象)

符号化技術は、情報量の多い原画像に対して目的に支障のない程度の情報省略を伴う符号量の削減を行う情報源符号化と、その結果得られた画信号に対して統計的性質を利用して冗長度の抑圧処理を行うエントロピー符号化に分けられる。本論文は、情報量の多い濃淡画像に対して重要度の高い前者を重点に検討したものである。

多値画像として提供される原画像種別を、その用途と内容から考えると次の2種に大別される。

① 写真や動画の1フレームに相当する自然画像

② ファクシミリ原稿のように、文書や印刷物に含まれる多値画像

このうち、①は文字どおり自然の画像であって、できるだけ原画像に忠実に伝送再現することが要求され、一般に多値形式の符号化方式が適している。②は文字と混在したり印刷のため網点表現されている場合が多く、混在する文字等の劣化を少なくするため分解能を高くする必要があるが、多値画像についてはある程度の画品質劣化は許容される場合が多い。この種の用途には各画素を2値表現する疑似中間調符号化が適合性がよい。

表 1. 3. 1 静止画像の表現形態と符号化

出力 符号形態	原画像 形態	多 値 (写真, CG等)	2 値 (文字, 線図形等)	主な用途
波 形 符 号 化	多値	自然画像符号化		写真伝送 データベース
	2 値	ディザ符号化	2 値画像用符号化 (ヒフナイト・リッド 等)	ファクシミリ 文書ファイル
知的符号化		分析合成符号化 階層的コマンド符号化	ベクトル表示 特徴抽出	コンピュータ処理 超高圧縮

網かけ部: 本研究の主な対象分野

また、情報源符号化を行う場合、画像の種類と使用目的によってその方法が違ってくるが、大別すると表1.3.1 に示すように波形符号化と知的符号化に分けられる。前者は画像の情報圧縮を行うために都合が良いように部分化し信号変換を行うため、個々の符号化の単位になる要素はそれ自体意味を持たない。そのため、一般に汎用性が高い。通常の圧縮符号化方式はこれに属する。それに対して後者は、輪郭で区切られる部分等のセグメント単位に分解するなど、特徴情報を抽出して符号化するするため拡大/縮小/移動等の画像変換あるいは画像理解や認識等に適合性が良いかわりに、原画像に忠実に符号化するのは困難である。そのため、現状では文字図形やコンピュータ画像など人工の画像を対象とする場合や、モデル化が可能なように対象を限定する場合に限られる。コマンド符号化、分析合成符号化等の符号化方式⁽⁹⁾がこれに相当する。

本論文では多様な画像種別と目的に適合できるような高効率符号化方式の実現をねらいとして波形符号化を取り上げ、表1.3.1 に濃い網点で示すように多値形式の原画像を対象に自然画像、ディザ画像それぞれの符号化方式を検討する。特に自然画像の符号化については、波形符号化方式の特徴である忠実性を重視する一方で、知的符号化の前段階ともいえる簡単な特徴抽出性を付加した符号化方式の検討を行ったものである。

(研究の目的)

静止画像通信で扱う画像の種類は多岐にわたるため、符号化方式としてはこれら広範囲の画像に適用できることが望ましい。特にファクシミリ等の文書を扱う分野では濃淡画像と文字/線画が混在する場合が多い。しるに、従来の符号化方式はこれらを別々の対象として扱っており、濃淡画像と文字等の2値画像が混在する場合を対象とする研究は極めて少ない⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾。それらについても、符号化効率が低いとかアルゴリズムが複雑で実時間処理が困難など実用的な方式はなかった。

このような背景のもとに、本論文では静止画像を対象にして、文字画像等の混在すなわち、表1.3.1 の濃い網点部分を考慮して、濃淡画像を高速かつ高品質に伝送するための符号化方式について研究を行った。前述したように、濃淡画像の中でも自然画像を直接符号化する場合と文書等に含まれる濃淡画像を対象とする場合で画像の性質や要求条件が異なる。一方、近年のサービスの多様化により符号化方式としても単に圧縮比の向上だけでなく、より利用しやすいように階層構造を有する符号化方式⁽¹⁾が望まれている。このような状況の中で本論文は次のような考え方を基本にして研究を行ったものである。

① 自然画像については、符号化効率が高いことは重要であるが、同時に、符号化情報の部分利用が可能な階層性を重視する。また、品質面でも要求が高くなっている文書画像への適用も容易とするためには、文字等のバイナリ画像の劣化が少ないことが望ましい。

② 疑似中間調画像は、基本的には白黒2値画像であること、文字等のバイナリ画像が混在する場合が多いことから、濃淡を含まないバイナリ画像との適合性がよいことが必要である。特に疑似中間調表現により文字/線図形等の品質劣化が生じないようにすることが重要である。

具体的には、自然画像符号化方式として、実空間符号化方式で階層化に適合性がありと考えられるBTC符号化方式⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾をとりあげ、ブロック内を4レベル以上で表現可能で高品質な画像の伝送にも対応可能であるとともに階層性を有する新方式を提案し、階層性の応用と符号化効率の向上を中心にその計算機シミュレーション結果を述べる。

また、疑似中間調処理方式については、原稿種別を意識することなく自動的に適応処理が実時間でできるようにすることを目的に、文字/線画、連続階調写真、網点写真の3種類の画像それぞれに相当する特徴情報を検出して実時間で適応処理を行うための疑似中間調画像表現ならびに符号化についての方式提案と計算機シミュレーション結果を述べる。

1. 3. 2 静止画像符号化方式の動向

(自然画像の符号化方式)

自然画像は一般に隣接画素間の濃淡差が少ない。この性質を利用して着目画素のレベルを符号化済みの画素のレベルから予測することを基本とする符号化方式としては、古くからデルタ変調やDPCM方式等の予測符号化方式がある。この方式は符号化処理が簡単で高速処理が可能であるため、動画像の符号化方式としてテレビジョン等を対象に検討されていたが符号化効率は高くなかった。一方他の方法として、フーリエ級数のように空間的に変化する画信号を周波数の変化に変換してから処理する直交変換形の符号化方式も古くからあった。このうち数学的に最も効率が低いのがK-L (Karhunen-Loève) 変換であるが、演算処理が複雑なため実用性は乏しい。その後1974年に、ディスクリット・コサイン変換 (DCT: Discrete Cosine Transformation) がK-L変換に近い性能を有することが示され⁽¹⁶⁾、DCTが注目を集めるようになった。また、1978年には階調レベルを少数のレベルに量子化して代表させるブロックランケーション (BTC: Block Truncation Coding) 符号化方式⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾が発表され、その簡易性から注目されるようになった。さらに1980年にはベクトル量子化 (VQ: Vector Quantization) を用いた符号化方式が提案された⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。この方式はn画素を1ブロックとするn次元ベクトル空間を考え、該ベクトル空間を所定数の代表ベクトルで近似するものであり、原理的には、従来のスカラ量子化に比べて量子化損失を小さくできることから注目されるようになった。

このように画像符号化方式の研究が盛んになるとともに、LSI技術の進歩により複雑なアルゴリズムもハードウェアとして実現しやすくなり、高効率の符号化方

式を実用化するための素地ができてきた。その結果、標準化の必要性が認識され、静止画像に関しては、1982年にはISOで画像符号化を担務とするグループが設置され、1984年には日本からブロック・ランケーション符号化が提案され標準化に向けて活動が活発化した。

また、単に符号量を削減するだけでなく、多様な用途に適合性のよい静止画像符号化方式として、符号化信号の一部を復号するだけで意味のある情報が得られる階層符号化方式が各種検討されてようになった。たとえば、画像をビットプレーンに分解して予測符号化を行うことにより、復号の各段階で順次画像を再現してゆくことができるPCS符号化方式⁽¹⁹⁾、データベース内の大画像を縮小/部分表示するに適した階層符号化方式⁽²⁰⁾等が提案されている。

(疑似中間調処理方式)

白または黒画素の密度を変化させて濃淡を表現する疑似中間調画像は、一画素あたり1ビットで表現されるため白黒2値の機能しか有しないプリンタやファクシミリ装置で出力可能であるなど信号の取扱いが容易である他、モディファイド・リード (MR) のような白黒2値用の符号が適用できる利点を有する。そのため、ファクシミリやイメージリダを主体としたテレマティック端末では、濃淡を表現する方法として広く適用されている。

初期の疑似中間調表現方式としては、1962年にRobertsらにより、階調表現数が少ない場合の疑似輪郭を目立たなくする方法としてランダムなディザパターンを重ねる方式が提案された⁽²¹⁾。1969年には、より画品質が良くなる方法としてLimbにより規則的なパターンを重ねる方法が提案され⁽²²⁾、1971年にLippelらは、これらを白黒2値のドットによる濃淡表現の場合まで拡張して組織的ディザ法の有効性を論じている⁽⁶⁾。組織的ディザ法は処理が極めて簡単であるため、その後広く利用されるようになる⁽²³⁾。また、濃淡画像の品質が優れている方式として、平均誤差最小法等の誤差分散形の方式がある⁽²⁴⁾。この方式は近傍画素の濃淡レベルに重みづけを施して加え、積算値が所定値より大か小かで白か黒かを決定するもので、近傍画素の平均レベルがディザ処理により変化しないように設定している。また、ディザ法は解像度が悪くなるため、この対応策として平均値制限法⁽²⁵⁾やダイナミック閾値法⁽²⁶⁾等の解像度を保持するようにしたディザ法、さらには輪郭強調の前処理を行う方法⁽²⁷⁾等が提案されている。

符号量の点でも、文書画像を対象に定められた標準符号化方式であるMR方式により濃淡画像の混在する文書画像を符号化すると符号化効率が著しく劣化することが多い。そのため、疑似中間調画像を対象とする符号化方式が種々提案されている⁽²⁸⁾。ディザ画像は画素ごとに2値情報として与えられるので、情報圧縮の手段としては従来の文書等の2値画像用の符号化方式に統計的性質の違いを考慮すればよく、1970年代後半から活発な研究が行われるようになった。代表的な方法の一つは、画素の

配列順序をランレングスが長くなるように入れ替える前処理を行った後ランレングス形式の符号化を行う方式である。

1 画面内の同一閾値を1カ所に集めて、ランレングスが長くなるような前処理を行ったのちランレングス形式の符号化を行う方式として1976年にビットインタリーブ方式が提案されている⁽²⁹⁾。この種の方法は、画素順序入れ替えと2値画像用のモディファイド・ハフマン符号化で処理できるので処理が簡単な特徴があり、その後、状態分離ランレングス符号化方式(1977年)⁽³⁰⁾やリ・オーダリング方式(1981年)⁽³¹⁾の他種々の変形方式が提案されている。他の方法として、既符号化画素の状態をもとに着目画素の状態を予測する予測符号化方式があり、1969年以降多くの方式が発表されている⁽³²⁾⁽³³⁾。さらに、1980年代になると、文字/写真の領域識別を伴う方式、すなわち濃淡分布のヒストグラム等から文字等の2値画像の領域と濃淡画像の領域とをマクロに判定識別しそれぞれに適した処理を行う方法が検討されるようになった⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽³⁴⁾。

1. 3. 3 研究の意義

(自然画像符号化)

従来の自然画像符号化方式のうち主要な方式について、1.2.3節で述べた静止画像符号化方式への要求条件のもとに比較評価した結果を表1.3.2に示す。直交変換形符号化方式の代表的方式であるDCT方式は符号化効率の点では優れている。また、周波数空間での処理が中心であるので、階層性の中でも情報を徐々に追加する形式で実現できる段階的復号は比較容易である。しかし実空間との対応が取りにくいため、

表1. 3. 2 自然画像の符号化方式と特徴

符号化方式	特徴	2値画像との適合性	階層性		符号化効率	簡易性
			段階的復号	その他		
DCT		×	○	×	○	×
VQ		×	△	×	○	×
予測	DPCM等	×	×	×	×	○
	PCS 等	○	○	△	△	△
BTC (本方式)		○ 成分分離	△	○ 特徴成分	△	○

その他の応用に向けた階層化は困難であり、2値画像との適合性等も良くない。ベクトル量子化(VQ)方式もベクトル空間での処理であることからDCTと同様の傾向がある。これに比べて予測符号化方式やブロックトランケーション符号化(BTC)方式は実空間での符号化方式であるため、符号化処理の過程で応用を考慮した成分分離や、画像の特徴を組み込んだ符号化構造等がとりやすい。反面一般的にはDCTやVQ形に比べて符号化効率の点では劣る傾向がある。予測符号化は画素間の相関を利用して情報圧縮を行うもので、参照画素のとりかたや予測アルゴリズムにより多くの方式が提案されている。特徴も様々であるが表では簡単な方式の代表であるDPCM方式⁽³⁵⁾と高度な段階表示の特徴を有するPCSを掲げている。PCS方式は段階表示の途中段階で2値画像表示をすることができる特徴がある。しかし、段階表示の初期の段階での多値画像再現と前記2値画像表示の両者を容易に選択可能な構成を実現することは難しく、事実上2者択一が必要と考えられる。BTC方式は直交変換や予測等の処理を行わず、ブロック内の階層レベルを規則的に少数の代表値に量子化する処理が中心であるため処理が簡単である特徴があり、階層レベルの大きな画素と小さな画素に分けることから原理的に文字等の2値画像との適合性が良い。

BTC符号化方式の基本形は、画像をブロックに分割した後各ブロックごとに階層レベルをブロックの平均値より大きい画素のグループと小さい画素のグループにわけ、それぞれのグループに属する画素の階層レベルをグループの平均値で代表させるものであるが、従来から以下の2つの課題について検討が行われてきた。

①量子化した階層レベル情報、特に各画素がどの階層レベルに属するかの情報を効率的に伝送すること。

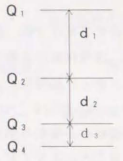
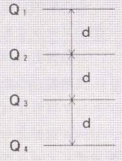
②1ブロックを2レベル以下で近似するだけでは、濃淡変化の大きい輪郭部等で画質劣化が大きい。そのため、符号化効率を低下させないで輪郭部の量子化誤差を小さくするためのアダプティブ処理法。

差分ブロック符号化(DBTC: Differential Block Truncation Coding)方式⁽¹⁸⁾では、①への対処として、画素にどの階層レベルを割り当てたかを示す分解能成分を全画素連結してビットプレーン符号化することにより1ビット/画素程度以下の領域で高能率化を達成している。しかし、前述したように1ブロックを2レベル以下でしか表現できないため高品質の画像が再現できなかった。また、②の問題への対応については、表1.3.3に示すように濃淡変化の大小に応じた2つのアダプティブ処理法がある。第1の方法は、輪郭部等で誤差が大きくなりそうな部分はブロックを小さくして処理することにより誤差を小さくするブロックサイズ可変形的方式である。適応形ブロック符号化(ABTC: Adaptive Block Truncation Coding)方式⁽³⁶⁾の他、文献(37)や(38)の方法はこれに該当するが、量子化レベルの情報を符号化する過程で高能率化が困難なため符号量が大きくなる。そのため、筆者らは第2の方法として、輪郭部等では3レベル以上の階層数で表現する階層数可変形的方式を提案した⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾。

表 1. 3. 3 各ブロックランゲージン符号化方式と特徴

方式	内容	特徴
基本形	ブロックを2階調で表現	輪郭部で画品質の劣化が大
アダプティブ処理	ブロックサイズ可変形	平坦部ではブロックサイズを大きく、輪郭部ではブロックサイズを小さくする サイズの異なるブロックの処理が複雑となり、高い効率を得にくい
	階調数可変形	平坦部ではブロック内の階調レベル数を少なく、輪郭部では多くする ブロックごとの階調数の相違はビットプレーン化により対応できる

表 1. 3. 4 階調レベルの量子化法

	(a) 誤差最小量子化	(b) 等間隔量子化
量子化法 (4レベルの例)		
特徴	量子化精度が良い	差分dの符号量が少ない 処理が簡単

この方法では、分解成分をビットプレーンで表すことができるので高い符号化効率を得やすく、文献(41)(42)や本論文の方式はこれに該当する。

以上述べたようにBTC符号化方式は、階層性、2値画像との適合性、ならびにその簡易性等の点で優れているが、符号化効率と画品質の点で問題があった。そのため本論文では、BTC符号化方式の長所を生かしながら符号量の多い領域での高品質画像の再現と符号量の少ない領域での高効率性の両立をはかる。また2値画像と適合性の良さを生かすとともに、実空間符号化の特徴を利用して階層構造を有し、自然画像と文字/線図形が混在する場合に適合性の良い符号化方式の実現を目指す。なお、4レベル以上に量子化する方法として表1.3.4のように2通り考えられる。(a)は無条件で各階調レベルの最適化をはかるもので、一般に各階調レベルの間は等間隔でない。(b)は各階調レベルの間を等間隔の条件のもとに最適化をはかる。文献(41)や(42)は(a)の方法をとっており、量子化誤差は小さいが階調レベルの間隔(d_1 , d_2 , d_3)の符号量が多くなる。一方本論文では、特徴成分の分離とアルゴリズムの簡易性の観点から、量子化誤差は(a)より大きいが階調レベルの間隔がdのみであるため符号量が小さくなる(b)の方法を選んだ。

(疑似中間調符号化)

疑似中間調画像の符号化については1.3.2節で述べたようにディザ法、情報圧縮の両面において従来より多くの検討がなされている。これらを文字/写真混在画像に対する対応という点から整理すると表1.3.5のようなものとなる。ディザ法は1画面がすべてディザ表現されている場合を対象としており、文字と写真が混在している場合にはディザ処理により文字等の解像度を必要とする部分の品質が悪くなる。また、統計的性質の異なる画像が混在しているため符号化効率が悪くなる問題があった。輪郭強調法は高域通過フィルタ等により輪郭を強調することにより文字等の品質劣化を防止する効果がある。しかし、この処理は同時に濃淡の変化が重要な写真の輪郭も強調するので写真部分の品質劣化の原因となり、文字部分と写真部分の品質を両立させることはできなかった。属性を識別して、文字は解像度が良くなるように、写真は濃淡表現が良好なようにそれぞれに適応処理を行う方法は領域の識別が良好に行える限り個々に別々の処理法を適用するので品質面の問題はない。また、符号化処理もそれぞれに適応処理を行うことにより符号化効率が悪くなることもない。しかし、属性識別に誤りがあるとその影響が大きいため、確実な識別処理を行うためには処理量が大となるため、ファクシミリやイメージリーダのような安価な装置で実時間処理を行うのは困難であった。さらに、通常印刷物中の写真画像は網点表現されているがこれらの識別処理についても種々検討されてきたが⁽⁴³⁾⁻⁽⁴⁵⁾、対象とする画像が限定されるなど汎用的なものではなかった。

本論文で提案する特徴識別適応処理は、属性識別のかわりに小領域単位に画像の特徴を識別しその特徴に応じた適応処理を行うものである。例えば、濃淡変化の大きな

表 1. 3. 5 文字／写真混在画像の疑似中間調処理法の比較

項目 処理法	処理内容	画像品質	符号化効率	実用の 容易性
混在画像への 考慮なし	一様にディザ表現して MR符号化	× (文字劣化)	×	○
輪郭強調	輪郭強調の前処理によ り解像度を向上させる	△ (写真劣化)	—	○
適 応 処 理	属性識別 適応処理	文字等領域と写真領域 を識別分離, 適応処理	○	△
	特徴識別 適応処理	小領域単位に階調変化 の特徴識別, 適応処理	○	○

領域か小なる領域かを識別し、前者には解像度を保持する2値化処理を、後者には濃淡表現を可能とするディザ処理を行う方法である。この方法では写真など1つの属性画像の中に2つの領域が混在して出現する。しかし、領域識別に利用する“画像の特徴”と両領域の“処理方法”の整合がとれていれば、画品質の劣下は生じにくい。また、属性識別の場合は写真領域は濃淡変化が少ないといえ、文字部分と同様に変化の大きい部分もあるためこれらの区別のために複雑な処理が必要になるのに対し、本特徴識別適応処理は特徴識別結果がそのまま領域識別の結果となるので処理が簡単であり実時間処理も容易である。したがって、本処理法により原稿内容に応じた実時間適応処理が可能となれば、従来の装置のように読み取り原稿の内容に応じて処理内容を変えるための「文書／写真」、「濃い／淡い」等の指示を行う必要のない、画品質で高能率の疑似中間調画像伝送の実現が期待できる。

1. 4 本論文の構成

濃淡画像に関する基本的考え方については本章で述べた。これにもとずき、2～3章では自然画像を対象とする符号化方式、4～6章では疑似中間調画像の表現と符号化について述べる。

2章では、情報省略と画品質の関係を評価し、BTC符号化のように階調数を削減した場合の影響を明かにする。また、この結果にもとずき、画品質の画像を対象にB

TCにより符号化する場合には、濃淡変化の大きいブロックを4レベル以上で表現する必要があることを示す。

続いて3章では、2章の結果にもとずき、従来の2値画像用の標準符号化方式であるMR符号化方式と適合性のよい差分適応ブロック符号化方式(DABC)を提案し、計算機シミュレーション結果によりその高能率性を示す。また、DABCが特徴的成分に分離して符号化するため、部分復号により2値画像情報や概略画像を取り出すことができることを示し、その階層性の応用について論じる。さらに、差分適応ブロック符号化方式にPCS符号化方式の処理法を取り入れ、情報省略のない可逆画像の再現も可能なBSPC符号化方式について述べる。

4章では、対象とする濃淡画像の性質ならびに疑似中間調処理との関係を概説した後、文字／写真混在画像に対して属性の識別を行わずブロック単位の特徴に応じて適応処理を行うブロック別領域分離(BAT)法、ならびに網点領域の識別と適応処理を行うブロック分離変換(BSET)法を提案し、これにより簡易な処理で画像内容に応じた適応処理が可能であることを示す。

5章では、コントラストの悪い画像への対策として、背景レベルとコントラストを実時間で自動識別する方法を提案し、これより前記BAT法のパラメータを自動設定することができBAT法の適用可能な画像の範囲が大幅に広がることを示す。また、このパラメータ自動設定法は濃淡表現を必要としない画像にも有効であり、極めてコントラストの低い画像の読み取り等にも応用できることを示す。

6章では、文字／写真混在画像の読み取り／伝送という観点から、バイナリ画像用の国際標準符号化方式であるMR方式を利用して高能率伝送を行う方法について述べる。

最後にまとめとして、7章で本論文の結論を述べる。

第2章 濃淡画像の階調省略と画品質

2. 1 まえがき

画素ごとに中間調を有する濃淡画像は情報量が多いため、デジタル化された画信号を忠実に符号化する場合が高い圧縮比は得られず、通常は視覚上に影響のない範囲で種々の情報省略を伴って符号化される。従来のBTC符号化方式では1ブロック内の階調レベルを、2レベルで近似表現することにより高圧縮を達成している。しかし、2レベル表現の根拠づけをはじめ、階調数の制限法等についての考え方が明確でなかった。

本章では、濃淡変化と必要階調数の関係に着目して、特に階調省略と画品質の関係を主観的に評価する。また、この結果にもとづいてBTC符号化方式の要求条件を考察する。

2. 2 視感覚からみた濃淡画像の性質⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾

2. 2. 1 シミュレーション方法

実験は、8画素/mmで読み取った画像を計算機によりデジタル的に処理し、結果を円筒走査の記録装置に出力して評価した。各画信号は8ビット/画素で処理したので、以下特に断らない限り階調レベルはすべて256レベルで表現する。記録装置には画品質の良い銀塩写真式を使用し、画素密度8画素/mmで出力した。記録濃度は視覚に等間隔にするため、印画紙の白濃度(反射濃度0.08)と反射濃度1.9の間で量子化ポイントがマンセルの明度関数上で等間隔になるように設定した⁽⁴⁸⁾。図2.2.1に階調レベルと記録濃度の関係を示す。テスト原稿としては画像電子学会テストチャートNo.1の人物写真の部分(図2.2.2)を用いた。

2. 2. 2 濃度変化と必要階調数

濃度変化の大きい領域では、階調レベルの許容誤差も大きいので、階調表現数が少なくてもよいと考えられる。そこで、 4×4 画素で構成されるブロックごとに、ブロック内階調レベル差と必要階調数の関係を求めた。具体的には、ブロック内の階調レベルの最大値 L_{max} と最小値 L_{min} の差 $D = L_{max} - L_{min}$ が所定値 D_1 以上のブロックについては各画素の階調表現数を L_1 に制限し、 $D < D_1$ のブロック内の画素については256レベルに量子化したときの画品質を評価した。なお L_1 階調に量子化するにあたっては、白レベル(255)と黒レベル(0)の間を L_1 等分し、それぞれの範囲に属する階調レベルをその中央値で代表させた。図2.2.3に $L_1 = 4$ の場合を例にとって量子化法を示している。図2.2.4は D_1 を128、64、32、16とした場合の主観評価値であって、情報省略のない256階調表現の基準画と処理画像を被験者に提示し、処理画像が基準画に

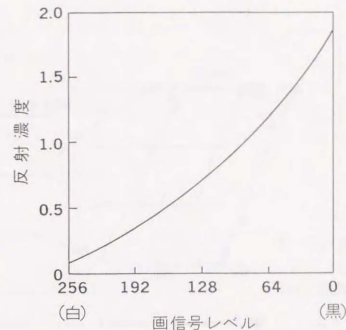


図2.2.1 シミュレーションシステムの出力特性



図2.2.2 テスト画像

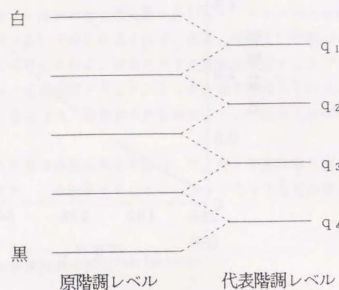


図 2.2.3 階調数削減評価のための量子化法 ($L_1 = 4$)

表 2.2.1 評価カテゴリ

評 点	カ テ ゴ リ
5	差がない
4	差はあるが軽程度とみなせる
3	わずかに劣化がみられる
2	はっきりと劣化がみられる
1	劣化が著しい

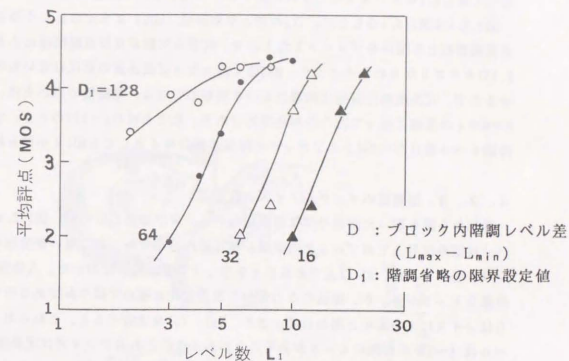


図2.2.4 $D > D_1$ のブロックの階調表現数を L_1 としたときの画品質 (I)

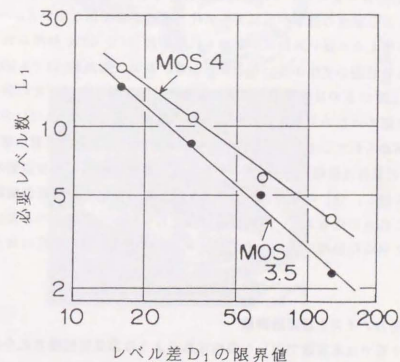


図2.2.5 $D > D_1$ のブロックの階調表現数を L_1 としたときの画品質 (II)

比べて表2.2.1のカテゴリのいずれに属するかを問う形式で評価した。

図2.2.5は図2.2.4をもとに、 D_1 の値と平均評点(MOS)4または3.5を得るための必要階調数との関係をプロットしたもので、両者の対数がほぼ直線関係にある。表2.2.1のカテゴリからわかるように、MOS値4以上ならば画品質の劣化はないものとみなせるので、冗長度抑圧符号化処理における情報の省略は、階調数の点からは、図2.2.5のMOS4の直線に添って行うのが合理的である。たとえば $D_1=128$ のとき、すなわち、階調レベル差Dが128以上のブロックの階調表現数を4としてもMOS4が得られる。

2. 2. 3 原画像のランダムノイズの除去

原稿から読み取った画信号には通常細かいノイズが重畳している。図2.2.6(a), (b), (c)は原画信号上でのブロック内階調レベル差の分布であって、黒い部分はそれぞれ、レベル差が8、16、32以上であることを示している。(b)において、人物背景部に黒の孤立ドットが多いが、原稿のこの部分の濃淡変化は極めて緩やかであるので、これらはノイズによるものと思われる。また、(a), (b)を比較すると、これらのノイズレベルは8~16の範囲にピークがあることがわかる。これらのノイズは冗長度抑圧に悪影響を与えるので、これを除去すべくブロック内の各画素の階調レベルを平均値で代表させる処理を行ったときの画品質への影響を調べた。横軸は各画素の階調表現数を表している。図2.2.4の場合と同様に表2.2.1のカテゴリを用いて画品質の評価を行った結果を図2.2.7に示す。平均化処理はノイズ除去の効果があるものの分解能劣化の影響を及ぼす。(c)のカーブにおいては階調数を大きくしても画品質が良くならず、平均化処理過剰による分解能の低下が画品質を劣化させることを示している。一方、(b)の場合は階調数が増えるに従い評価値が上昇し、階調数64でMOS4が得られており、平均化処理による分解能の劣化がないことがわかる。なお、階調数256でもMOS5とならず4.3程度で飽和しているのは画像出力装置の品質が一定でないため、その画品質の差を「差がある」と認めたためである。また、平均化処理を全く行わない(a)の場合、階調数24でMOS値4が得られている一方、(b)のカーブではMOS2.3と極めて悪い値となっている理由は、(a)の場合は振幅8~16のノイズがあるため疑似輪郭(各階調間の境界)が目立たないのに対し、(b)の場合は、ノイズが除去されているので疑似輪郭が目立つためである。これらの結果より、階調数を64以上にすれば、階調レベル差16以下のブロックについて平均化処理によるノイズ除去を行っても画品質の劣化はほとんどないといえる。

2. 2. 4 出力ノイズと必要階調数

ファクシミリ等では本実験で用いた銀塩写真のような高品質記録方式を必ずしも適用せず、記録時等にかんがりの出力ノイズを伴う場合が多い。記録等の画像出力時にノイズがあると、前述した原稿ノイズと同様に階調レベル間の境界が目立たなくなるの

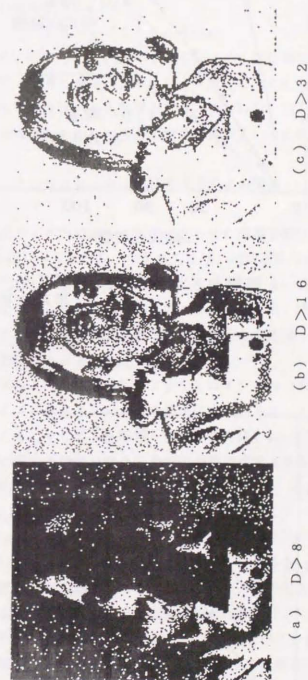


図2.2.6 原画像のブロック内階調レベル差分布
 $D = L_{\max} - L_{\min}$: ブロック内レベル差

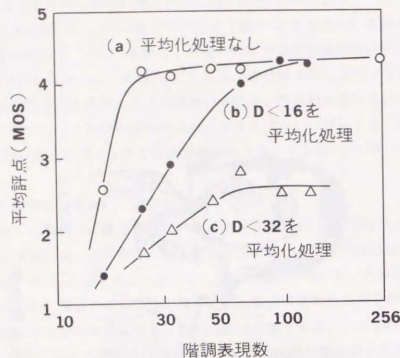


図2.2.7 階調レベル差が小さいブロックの平均化処理と画品質

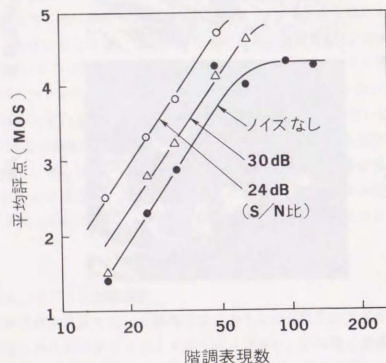


図2.2.8 出力ノイズ、階調数と画品質

で必要階調数が少なくなる。実験結果を図2.2.8に示す。本実験では、階調レベル差 $D > 16$ のブロックについては平均化処理をして原画像のノイズを除去し、所定の階調数に量子化した後、出力ノイズを想定して振幅が正規分布したランダムノイズを重ねて記録出力した。画品質の主観評価は、256階調の原画像にノイズのみを重ねたものを基準画として表2.2.1のカテゴリにより行った。図2.2.8において、 S/N 比は重畳ノイズの実効値 N_{rms} より

$$20 \log (255 / N_{rms})$$

により定義する。図より、 $S/N = 24 \text{ dB}$ (ノイズ振幅の実効値が記録のダイナミックレンジの $1/16$) の場合、MOS 4を得るための必要階調数は32となる。一方、ノイズがない場合は、64階調となる。すなわち、出力装置のノイズが大きいと必要階調数も少ない。しかし、出力画像の品質がよいと必要階調数も多くなる。

2.3 ブロックランケーショ符号化方式との関係

2.3.1 ブロック内階調レベル差に合わせた階調省略法

図2.2.4の必要レベル数が L_1 であることは、階調省略による階調レベルの誤差が最大でも $d = \pm 128/L_1$ 以下になっていることを意味する。図2.3.1の実線は、図2.2.4の L_1 の値を d の値に書きかえたものである。すなわち、階調省略による誤差の絶対値が d より小さければ所定のMOS値が得られることを意味しており、この d の値を階調レベルの誤差限界とよぶこととする。

次に、1ブロック内の階調情報を2もしくは4レベルで表現するときの量子化誤差を考察する。1ブロックを k レベルに量子化するにあたっては、誤差の最大値が最小になるようにする。すなわち、階調レベルの最大値 L_{max} と L_{min} の間を k 等分し、それぞれの範囲に属する階調レベルをその中央値で代表させる。たとえば2レベル表現の場合は、原画信号の階調レベルを

$$p_1 = (3 L_{max} + L_{min}) / 4 \quad (1)$$

$$p_2 = (L_{max} + 3 L_{min}) / 4 \quad (2)$$

のいずれか近い方で代表させる。このように量子化すると、 $k=2$ または $k=4$ の場合、量子化誤差の最大値はそれぞれ $D/4$ 、 $D/8$ となる。ところで誤差が同じならブロック内濃度差 D の大きいほど階調省略の影響は小さい。また D の値の小さいブロック数の方が多い。したがって図2.2.4において述べた $D \geq D_1$ のブロックの階調省略による画品質の低下は D の値が D_1 に近いブロックの寄与が大きく D の大きいブロックの寄与は小さい。そこでやや強引ではあるが、 $D > D_1$ のブロックの階調省略の影響はすべて $D = D_1$ のブロックが寄与しているものと仮定すると、横軸の D_1 は前記誤差の最大値 D を D_1 と読み替え、 $d = D_1/4$ 、 $d = D_1/8$ とみなす事ができる。図2.3.1の破線は、 $d = D_1/4$ および $d = D_1/8$ の関係式を示す。この図の意味すると

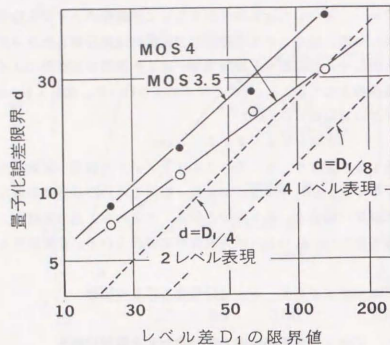


図2.3.1 量子化誤差限界と画品質

ころは、各ブロックの階調数を削減したときその誤差の最大値と D_1 の関係を表わす。従って、破線が実線で表される誤差限界よりも下にあるならば所定の画品質が得られることとなる。

図2.3.1において、MOS 4を得るために必要な誤差限界値は、 $D_1=128$ の近傍で $d=D_1/4$ の直線と交わるが、 $d=D_1/8$ の直線とは交わらない。このことは、2レベル表現では $D \geq 128$ において画品質の劣化が目立つこと、4レベル表現ならばMOS 4を得るに充分であることを示している。したがって、 $D < 128$ のブロックは2レベルで、 $D \geq 128$ のブロックは4レベルで表現すれば効率よくMOS 4程度以上の画品質を得ることができる。また図2.2.7の実験結果より、 $D < 16$ のブロックについてはブロック内を平均値でおきかえても画品質の劣化はない。したがって、ブロック内の各画素の階調レベル差 D の値に応じて、1、2、4階調のいずれかに縮退量子化するのが効果的であると結論される。

2.3.2 B T C符号化方式との関係についての考察

従来のB T C符号化方式は次のように符号化処理を行う。

①画像をブロックに分割する。

②ブロック内の各画素の階調レベル P_x を、所定値 P_g を基準に2種に分類し

$P_x \geq P_g$ なる P_x の値の平均値を P_1

$P_x < P_g$ なる P_x の値の平均値を P_2

とする。

③ $P_x \geq P_g$ の場合は、 P_x を P_1 で近似する。

$P_x < P_g$ の場合は、 P_x を P_2 で近似する。

さきに2.3.1節でのべた代表値 p_1 、 p_2 は、従来のB T C符号化方式の P_1 、 P_2 に相当する。すなわち、 P_1 、 P_2 が平均値であるのに対して p_1 、 p_2 が中央値であるなど若干差があるが、 p_1 、 p_2 は P_1 、 P_2 を近似している。従って、2.3.1節における議論はそのままB T C符号化方式における近似誤差と画品質の関係を表していると考えてよい。

図2.3.1において、2レベル表現の誤差を表わす破線は、MOS 3.5を得るために必要な誤差限界値を表わす直線と交わることがない。このことは、MOS 3.5程度の画品質ならば2レベル表現で充分であることを示しており、従来のB T C符号化方式が、ブロック内を2レベルで表現するだけで、かなりの画品質が得られることと良く一致している。また、従来方式では濃度変化の大きいエッジ部分での劣化が生じるが、この原因が2.3.1節で述べた「2レベル表現では $D > 128$ のブロックにおいて画品質の劣化が目立つ」ことにあることも一致する。すなわち、B T C符号化方式の品質向上のためにはブロック内の階調レベル差 D が大きい場合には、4レベル程度で表現する必要があることがわかる。

以上の結果、次のことが明かになった。

①階調レベル差 D が小さい場合は、ブロック内を平均化して1レベルで表現しても劣化は少ない。

②階調レベル差 D が大きい場合は、2レベルでは画品質が不十分であり、4レベル表現が必要である。

2.4 まとめ

以上、濃淡画像をブロック分割して符号化する場合について、ブロック内の濃淡変化と必要な階調数の関係を明らかにした。これらの結果と視覚との対応をもとに、ブロックランゲーション(B T C)符号化方式が「少ない階調数で高品質の画像表現が可能である」ことを裏づけた。また、B T C符号化方式で、階調レベル差 D が大きい場合は、2レベルでは画品質が不十分であり、4レベル表現が必要であることを示した。

第3章 差分適応ブロック符号化方式

3.1 まえがき

濃淡画像は次のような性質を有する。

- ① 濃淡変化が緩やかで、激しい濃度変化が少ない。また、高周期の濃度変化が目立ちにくい。
- ② 濃淡変化の大きいエッジ部分は2次的に連続する場合が多い。
- ③ 濃淡変化の大きい部分では分解能は重要であるが、必要階調数は小さい。

ディスクリット・コサイン変換のように直交変換を用いる方式は①の性質を用いて空間周波数の大きい成分を抑圧している。ブロック内を2レベルで表わす従来のBTC符号化方式⁽¹⁸⁾は①の他に③の性質を利用している。特に差分ブロック符号化(DBTC)方式⁽¹⁹⁾は、分解能成分を白黒2値画像と同様の符号を用いて符号化するという点で②の性質をも利用しているため高効率に達成できる。しかし、1ブロックを2レベル以下で表現するため高品質な画像を再現できなかった。適応形ブロック符号化(ABTC)方式⁽³⁰⁾はブロックサイズを変えることによってこの欠点に対処しているが、量子化レベルの情報を符号化する過程で②の性質を利用できないため高効率化が困難で、1ビット/画素程度以下の符号量の領域で効率がよくなかった。

本章では、4レベル以上表現可能でしかも2値画像符号化とも適合性のよい高効率の階層符号化方式として差分適応ブロック符号化方式(DABC: Difference Adaptive Block Truncation Coding)を提案する⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁷⁾。

DABCでは、画像を $N \times N$ 画素からなるブロックに分割し、各階調レベル(X_{ij})はブロック内階調レベルの最大値と最小値の間を 2^k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$)レベルに量子化して近似表現する。 k の値はブロック毎にアダプティブに選択する。すなわち、ブロック内のレベル差によってブロックをモードA、B、C・・・で分類し、量子化レベル数を1、2、4・・・とアダプティブに変える。また、画素毎の個々の量子化レベルはビット・プレーン化したレベル指定信号で表現する。以下、簡単のため、 $N=4$ 、 $n=2$ の場合を中心に述べる。

3.2 本符号化方式の考え方

従来のビットプレーン符号化方式は、各画素のレベルを n ビットで表した時、各画素のMSBを連結したものを第1プレーン、第2ビットを連結したものを第2プレーン・・・として、原画像を n 個のビットプレーンに分解して符号化する。この場合、画像を局所ごとに分離して考えると、一般に局所的にはダイナミックレンジは小さい。すなわち、画像の大部分を占める濃淡変化の少ない領域では局所的ダイナミックレンジは小さいので、局所的ダイナミックレンジの大きいのは輪郭部等の濃淡変化の大きい領域に限られる。したがって、近傍画素の濃淡変化に応じて局所的ダイナミックレ

255

(白)

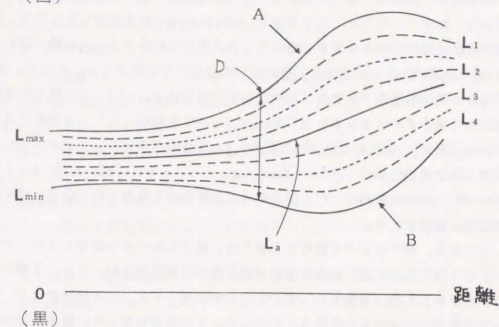
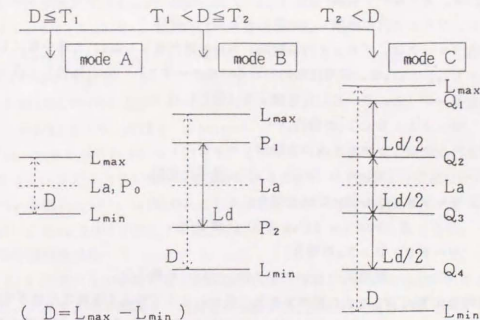


図 3.2.1 DABC符号化方式の量子化概念図



$$(D = L_{\max} - L_{\min})$$

図 3.3.1 モード分類と量子化レベル

レンジを制御すれば符号化効率が向上することが期待できる。

本方式は、画像のダイナミックレンジを近傍画素の最大値と最小値の間に制限して量子化したものとみなすことができる。図3.2.1はこれを説明したもので、横軸は距離、縦軸は階調レベルを表す。曲線A、Bはそれぞれ各ブロックの最大値 L_{max} 、最小値 L_{min} を連結したものであり、階調レベルは全てこの間にある。そこで、通常は0～255の間で均等量子化するかわりに、本方式では L_{max} と L_{min} の間で均等量子化する。その場合ダイナミックレンジ $L_{max}-L_{min}$ にあわせてスケールを変化させる。すなわち、図3.2.1における局所的平均値 L_a 、局所的ダイナミックレンジ L_d 、および各画素ごとの量子化レベルが $L_1, L_2, L_3, \dots, L_k$ (図3.2.1は $k=4$ の場合)のいずれにあるかを表すレベル指定信号の3種の成分情報を符号化すれば原画信号は近似的に表現できる。

この場合、量子化レベル数を2とすれば、量子化レベルを従来のブロックトランケーション符号化方式に一致させるのが最も量子化精度がよい。また、2章で述べたように、ブロック内の階調レベル差 D によって必要とするレベル数は異なり、 D が大きいほど必要レベル数も大となる。一方、第2章の検討結果より、量子化レベル数は濃淡変化の大小に応じて1～4レベル程度に変化させるのが適当である。そのため、3.3節で述べるように、 D の大きさによってモード分けを行う。

3.3 ブロックのモード分類と量子化

3.3.1 モード分類

(1) ブロック内の階調レベル差によるモード分け

各ブロックは、ブロック内の階調レベルの最大値(L_{max})と最小値(L_{min})の差 $D=L_{max}-L_{min}$ を、符号化時に定めるパラメータ T_1, T_2 と比較して以下の3種の符号化モード(A、B、C)に分類する(図3.3.1)。

モードA: $D \leq T_1$ の場合、

ブロック内の各階調レベルを

1レベル($P_0=L_a$)に量子化近似。

モードB: $T_1 < D \leq T_2$ の場合、

2レベル(P_1, P_2)に量子化。

モードC: $D > T_2$ の場合、

等間隔の4レベル($Q_1 \sim Q_4$)に量子化。

符号量は T_1, T_2 により制御できる。また、ノイズによる圧縮比の低下を防ぐため、後述するように T_1 はブロック内の信号変化に応じてアダプティブに選んで決定する。

(2) 符号化パラメータのアダプティブ化

モード分類を単にブロック内のレベル差のみで行うのでは、同じレベル差を持つ意

味のあるエッジとあまり意味のない雑音とを区別できない。このことは特に T_1 をノイズレベル近くまで小さくしたときのモードA、Bの判定において重要である。そのため本方式では、エッジの保存性を良くするため次のようにする。

図3.3.2にエッジ検出の方法を示す。ブロック内をブロック内階調レベルの平均値を閾値として2値化(1, 0)し、水平方向に連続する画素間で発生する1/0の変化回数を求める。垂直方向も同様に変化回数を求める。両方の変化回数とともに所定値 m より大きいとき、その変化はランダムのノイズによるものとみなし、 T_1 の値を大きくしてモードAの発生確率を高くする。すなわち変化回数が多いときは $T_1=T_{1H}$ 、それ以外は $T_1=T_{1L}$ ($T_{1L} \leq T_{1H}$)となるようにアダプティブに T_1 を設定する。雑音による濃淡変化の場合は濃淡変化回数が多いため T_1 が大きく設定され、モードAとなりやすく、雑音除去の効果が生じる。以下のシミュレーションでは $m=4$ とした。

3.3.2 ブロック内の階調レベル差の量子化値と成分分離

各ブロックの階調レベルは、そのモード種別(A、B、C)に応じて、それぞれ1、2、4レベルに量子化する。ただし、4レベル量子化の場合、同一ブロック内での量子化レベル相互の間は等間隔にとる。以下に具体例を示す。

(1) 中央値形量子化

最も簡単な量子化方法は、階調レベルを均等分布と仮定して、以下のように L_{max} と L_{min} の間を等間隔に分割する。個々の分割範囲に含まれる階調レベルは各範囲の中央値で代表量子化し、その中央値を代表階調レベルとする方法である。各ブロックごとに階調レベルの最大値(L_{max})と最小値(L_{min})の間を図3.3.3に示すように等間隔に分割する。 L_a, L_d, P_i, Q_i は式(3)～(6)による。

$$L_a = (L_{max} + L_{min}) / 2 \quad (\text{基準値}) - (3)$$

$$L_d = (L_{max} - L_{min}) / 2 \quad (\text{差分値}) - (4)$$

$$P_i = L_a + 1/2 L_d - (i-1) L_d \quad (i=1 \sim 2) - (5)$$

$$Q_i = L_a + 3/4 L_d - 1/2 (i-1) L_d \quad (i=1 \sim 4) - (6)$$

L_a, P_i, Q_i はそれぞれブロック内を1、2、4レベルで表現する場合の代表階調レベルである。(3)～(6)式から明らかなように L_a, L_d 及び i の値がわかれば量子化レベルの値 L_a, P_i, Q_i は求められるので、これら3種の成分をそれぞれ符号化すればよい。 L_a, L_d はブロック単位、 i は画素単位に与えられる値である。

(2) 平均値形量子化

前記(1)で述べた中央値形量子化法は各画素の階調レベルが均等分布すると仮定しており、ブロック内の階調レベル分布が考慮されていないので近似が悪い。平均値形量子化法は以下のようにして近似を良くする。

① モードAのブロック:

ブロック内の各階調レベルの平均値 P_0 に量子化する。

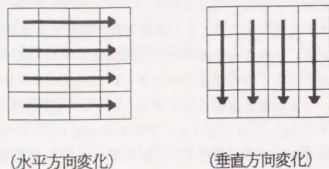


図3.3.2 濃淡変化回数のカウント法

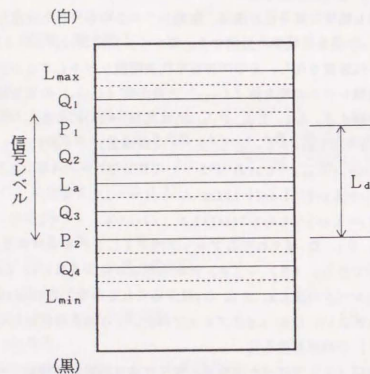


図 3.3.3 画信号の量子化

② モード B のブロック :

2つの量子化レベル P_1 、 P_2 で表現したとき平均2乗誤差 (RMS) が最小になるようにこれら P_1 、 P_2 を定めればよく、従来のBTC符号化の量子化条件と同じである。

実際には、後述する表3.3.1の方法により最適値に近い値が得られ、実用上さしつかえない。

③ モード C のブロック :

4量子化レベル Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 の間が等間隔になる条件のもとに、各量子化誤差 (SNR) ができるだけ小さくなるようにこれら量子化レベル Q_i ($i=1\sim 4$) を設定する。以下のシミュレーションでは、近傍画素の階調レベルの平均として Q_1 、 Q_4 を定めた後、量子化レベルが等間隔になるように Q_2 、 Q_3 を設定した。

平均値処理を $AVE(X_{ij})$ で表現すると、各モードの量子化レベルは表3.3.1の欄 (A) のように求められる。ブロック毎に与えられる基準レベル L_a およびレベル間隔 L_d はこれら量子化レベルより同表の欄 (B) のように表される。また、同表の欄 (C) には、これら符号化成分から原信号を復元するための条件式を示す。

ブロック内の各画素が複数の量子化レベルの内のいずれに属するかは、2ビットのレベル指定信号 (ϕ_1 、 ϕ_2) により、表3.3.2のように表される。モード B については、 ϕ_1 、 ϕ_2 のいずれに有意の情報をもたせるかにより方法 I、II の2通りの場合を示している。方法 I はモード B のレベル指定信号とモード C のレベル指定信号の MSB (ϕ_1) を連結、方法 II はモード B のレベル指定信号をモード C のレベル指定信号の LSB (ϕ_2) と連結させたものであり、3.6節で述べるように階層表現との関係で重要な意味を持つ。

3. 4 符号化成分と各成分の符号化

3. 4. 1 各成分と復号条件

表3.3.1の (B) (C) 欄からわかるように、各ブロックごとに L_a 、 L_d の2成分が与えられれば量子化レベルがわかる。さらに ϕ_1 、 ϕ_2 がわかれば、複数の量子化レベルの内の1つが画素ごとに特定できる。したがって、 L_a 、 L_d 、 ϕ_i ($i=1, 2$) の3成分が符号化されれば原画像は近似的に復元できる。ただし、モード A については $L_d=0$ なので、 L_d はモード B、C の各ブロックごとに与えられれば良い。復号時には、各ブロックごとに ϕ_1 あるいは ϕ_2 が全て0であるか否かによってモード A、B、C を識別できる。識別条件を表3.4.1 に示す。また、図3.4.1 に中央値量子化形の場合について、各成分の実例を示す。

8ビット/画素で表現されている原画像を前記3成分に分解したとき、 L_a 、 L_d は

表 3.3.1 各モードの量子化レベルと成分

	(A) 量子化レベル	(B) 符号化成分	(C) 復号値
モード A	$P_0 = \text{AVE}(X_{ij})$	$L_a = P_0$ $L_d = 0$	$P_0 = L_a$
モード B	$P_1 = \text{AVE}(X_{ij})$ $P_2 = \text{AVE}(X_{ij})$ $|X_{ij}| \geq (L_{\max} + L_{\min})/2$ $|X_{ij}| < (L_{\max} + L_{\min})/2$	$L_a = (P_1 + P_2) / 2$ $L_d = P_1 - P_2$	$P_1 = L_a + L_d / 2$ $P_2 = L_a - L_d / 2$
モード C	$Q_1 = \text{AVE}(X_{ij})$ $Q_4 = \text{AVE}(X_{ij})$ $Q_2 = L_a + L_d / 4$ $Q_3 = L_a - L_d / 4$ $|X_{ij}| \geq (3L_{\max} + L_{\min})/4$ $|X_{ij}| < (3L_{\max} + L_{\min})/4$	$L_a = (Q_1 + Q_4)/2$ $L_d = 2(Q_1 - Q_4)/3$	$Q_1 = L_a + 3/4 \cdot L_d$ $Q_2 = L_a + 1/4 \cdot L_d$ $Q_3 = L_a - 1/4 \cdot L_d$ $Q_4 = L_a - 3/4 \cdot L_d$

表 3.3.2 レベル指定信号のビット割付

Mode A			Mode B			Mode C		
λ	ϕ_1	ϕ_2	λ	方法 I	方法 II	λ	ϕ_1	ϕ_2
				$\phi_1 \phi_2$	$\phi_1 \phi_2$			
P_0	0	0	P_1	0 0	0 0	Q_1	0	0
						Q_2	0	1
			P_2	1 0	0 1	Q_3	1	0
						Q_4	1	1

表 3.4.1 ϕ_1, ϕ_2 によるモード識別

モード	ブロック内の ϕ_1, ϕ_2	
	方法 I	方法 II
A	$\phi_1 = \text{全}0, \phi_2 = \text{全}0$	
B	$\phi_1 = \text{全}0$ $\phi_2 = \text{全}0$	$\phi_1 = \text{全}0$ $\phi_2 = \text{全}0$
C	$\phi_1 \neq \text{全}0, \phi_2 \neq \text{全}0$	

全 0 : ブロック内が全て 0

この図は、元の画像を量子化して生成されたものである。元の画像は、人物の顔のアップで、背景は暗い。量子化された画像は、元の画像の輪郭や特徴を捉えているが、細かいディテールは失われている。これは、量子化による情報の損失を示している。



この図は、元の画像を量子化して生成されたものである。元の画像は、人物の顔のアップで、背景は暗い。量子化された画像は、元の画像の輪郭や特徴を捉えているが、細かいディテールは失われている。これは、量子化による情報の損失を示している。



この図は、元の画像を量子化して生成されたものである。元の画像は、人物の顔のアップで、背景は暗い。量子化された画像は、元の画像の輪郭や特徴を捉えているが、細かいディテールは失われている。これは、量子化による情報の損失を示している。



La

この図は、元の画像を量子化して生成されたものである。元の画像は、人物の顔のアップで、背景は暗い。量子化された画像は、元の画像の輪郭や特徴を捉えているが、細かいディテールは失われている。これは、量子化による情報の損失を示している。



Ld

図 3.4.1 DABC 符号化方式の成分例

表 3.4.2 ΔL_a の量子化および符号例

入力値 $|\Delta L_a|$	量子化値 $|\Delta L_a|$	符号化コード
0 - 1	0	00
2 - 3	2	01s
4 - 6	5	100s
7 - 11	9	101s
12 - 16	14	1100s
17 - 23	20	1101s
24 - 31	28	11100s
32 - 39	36	11101s
40 - 47	44	111100s
48 - 55	52	111101s
56 - 63	60	1111100s
64 - 71	68	1111101s
72 - 79	76	11111100s
80 - 87	84	11111101s
88 - 95	92	1111111000s
96 - 103	100	1111111001s
104 - 111	108	1111111010s
112 - 119	116	1111111011s
120 - 127	124	11111111000s
128 - 135	132	11111111001s
136 - 143	140	11111111010s
144 - 151	148	11111111011s
152 - 159	156	111111111000s
160 - 167	164	111111111001s
168 - 175	172	111111111010s
176 - 183	180	111111111011s
184 - 191	188	1111111111000s
192 - 200	196	1111111111001s
201 - 210	206	1111111111010s
211 - 220	216	1111111111011s
221 - 230	226	11111111111000s
231 - 255	240	11111111111001s

s: 符号表示ビット
0 for $\Delta L_a > 0$, 1 for $\Delta L_a < 0$

表 3.4.3 L_d の量子化および符号例

入力値 L_d	量子化値 L_d	符号化コード
0 - 1	0	11111111011
2 - 3	2	111111011
4 - 6	5	11101
7 - 11	9	00
12 - 16	14	01
17 - 23	20	100
24 - 31	28	101
32 - 39	36	1100
40 - 47	44	1101
48 - 55	52	11100
56 - 63	60	111100
64 - 71	68	111101
72 - 79	76	11111000
80 - 87	84	11111001
88 - 95	92	11111010
96 - 103	100	11111011
104 - 111	108	111111000
112 - 119	116	111111001
120 - 127	124	111111010
128 - 135	132	1111111000
136 - 143	140	1111111001
144 - 151	148	1111111010
152 - 159	156	1111111011
160 - 167	164	11111111000
168 - 175	172	11111111001
176 - 183	180	11111111010
184 - 191	188	11111111011
192 - 200	196	111111111000
201 - 210	206	111111111001
211 - 220	216	111111111010
221 - 230	226	1111111111000
231 - 255	240	1111111111001

各ブロック（16画素）ごとに与えられる情報なので、画素ごとに換算すると、それぞれ $8/16 = 0.5$ （ビット／画素）の符号量が必要ということになる。なお、16は $N = 4$ の時の1ブロックに含まれる画素数である。また、 ϕ_1 、 ϕ_2 はそれぞれ1ビット／画素で表される。従って、原画像の情報は L_a 、 L_d 、 ϕ_1 、 ϕ_2 の成分に分離して表現することにより、情報量はこの段階で $0.5 + 0.5 + 1 + 1 = 3$ （ビット／画素）に圧縮されている。実際には、さらにモード分類の効果により、モードA、Bのブロックでは ϕ_1 、 ϕ_2 の情報の一方もしくは両方が不要（オール“0”）となるので符号量はさらに少なく、実質的には2ビット／画素以下になっている。

これら各成分は個々にその統計的性質に応じてさらにエントロピー符号化するので、符号量はさらに削減される。これについては後述する。

3. 4. 2 各成分の符号化

(1) 基準レベル L_a の符号化

基準レベル L_a は各ブロックごとの平均値あるいはそれに近い値であるので、原画像に比べて画素密度 $1/N$ の概略画像を表す。従って、 L_a は隣接ブロック間で相関が強い。そのため、簡単に画質劣化の少ないDPCM方式⁽³⁾を採用し、前ブロックとの差分値 ΔL_a を符号化する。ここで、 ΔL_a が小さい場合は濃淡変化の少ない領域であるので誤差の画品質への影響が大きい。一方、 ΔL_a が大きい場合は濃淡変化の大きい領域なので誤差の画品質への影響は少ない。そこで、 ΔL_a が小さい時は量子化間隔を小さく、 ΔL_a が大きい時は量子化間隔が大きくなるように非線形に量子化した後、これを可変長符号により符号化する。非線形量子化条件および符号割当の一例を表3.4.2に示す。

(2) レベル間隔 L_d の符号化

レベル間隔 L_d も、値が大きい場合は誤差の影響が少ないので、 ΔL_a と同様に非線形に量子化する。また、 L_d の場合はブロック間の相関が少ないので量子化値をそのまま符号化する。非線形量子化条件および符号割当の一例を表3.4.3に示す。

(3) ϕ_1 、 ϕ_2 の符号化

ϕ 成分は各画素ごとに1または0の1ビットで与えられ、輪郭等を表す2値画像情報になっている。そこで、 ϕ_1 、 ϕ_2 成分は各ブロックの値を連結してG4ファクシミリ等の2値画像標準符号化方式であるモディファイド・リード（以下MRと呼ぶ）符号化方式⁽⁴⁾⁽⁵⁾を用いて符号化する。

3. 5 DABC方式の符号化性能

3. 5. 1 符号量とSNR

前述した各種処理法による効果を表3.5.1および表3.5.2に示す。符号量は、 ϕ 成分

表 3.5.1 符号化効率 (テスト画像: Boats)

Coding Method \ Components	L _a	L _d	ϕ_1	ϕ_2	total (bit/pel)	SNR (dB)
a 非圧縮	0.5	0.5	1	1	3	
b レベルの均等分布を仮定	0.331	0.182	0.485	0.217	1.214	35.70
c レベル分布を考慮した Q_i	0.331	0.186	0.484	0.219	1.220	36.36
d L _a , L _d の非線形量子化	0.224	0.102	0.484	0.219	1.029	35.77
e ノイズ除去	0.224	0.098	0.463	0.219	1.006	35.71

T₁₁=12, T₁₁=36, T₂=56 モード A:48.7%, B:33.8%, C:17.5%

表 3.5.2 符号化効率 (テスト画像: Zelda)

Coding Method \ Components	L _a	L _d	ϕ_1	ϕ_2	total (bit/pel)	SNR (dB)
a 非圧縮	0.5	0.5	1	1	3	
b レベルの均等分布を仮定	0.340	0.141	0.641	0.141	1.263	38.10
c レベル分布を考慮した Q_i	0.340	0.143	0.640	0.143	1.265	38.43
d L _a , L _d の非線形量子化	0.230	0.074	0.640	0.142	1.086	37.60
e ノイズ除去	0.230	0.070	0.567	0.142	1.009	37.46

T₁₁=12, T₁₁=36, T₂=40 モード A:50.3%, B:41.7%, C:8.0%



Boats



Zelda

図 3.5.1 テスト画像

は MR、La、Ld 成分はハフマン符号とした場合の値、SNR は誤差の実効値 E をダイナミックレンジ 255 で正規化して

$$20 \log (255/E)$$

によりデシベル表現した値を示している。また、テスト画像には ISO/CCITT ジョイント会合の標準画像 (画素数、Y: 720×576、Cr、Cb: 360×576)⁽⁴⁹⁾ のうち人物画像 (Zelda) と船 (Boats) を利用した (図 3.5.1)。なお、表中に示すモード A、B、C の割合は下記の (e) の場合の値である。

- (a) は階調数の省略のみを行った非圧縮の場合
- (b) は 3.3.2 節で述べた中央値形量子化により、量子化レベル $Q_i (i=1\sim 4)$ を求めた場合
- (c) は平均値形量子化によりレベル分布を考慮した場合である。(b) に比べて、モード B、C の量子化精度の向上により、符号量の増分はわずかで SNR が 0.3~0.7 db 改善されている。特にモード C の多い Boats においてその効果が大きい。
- (d) は 3.4.2 節で述べたように、さらに La、Ld の非線形量子化を行った場合である。(c) に比べて SNR の低下はわずかで符号量が約 20% 減少している。
- (e) は 3.3.1 節で述べた雑音除去の効果である。平坦部分の多いテスト画像 Zelda において効果が大きい。

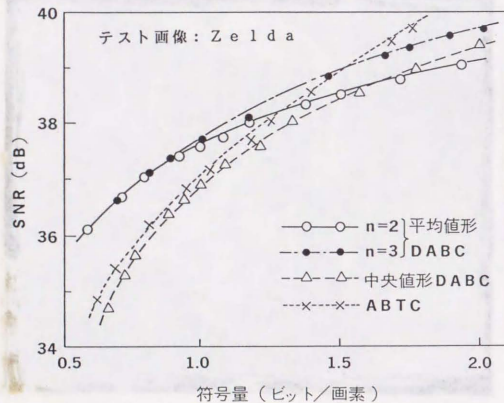


図 3.5.2 各方式の符号化効率

本方式による符号量と SNR の関係を図 3.5.2 に示す。図において、 ϕ 成分は MR により、La、Ld 成分は前記 Zelda、Boats を含む ISO/CCITT (JPEG) のテスト画像 4 画面より統計的に求めた表 3.4.2、表 3.4.3 のコードにより符号化している。また、図 3.5.2 には本方式の $n=3$ の場合のシミュレーション値も合わせて示す。図からわかるように、 $n=2$ の場合と比較すると、平均値形は中央値形に比べて約 20% の符号量削減効果があることがわかる。また、本方式 ($n=3$) を ABTC と比較すると、符号量の少ないところでは本方式の SNR が大きく上回っているが符号量 1.5 ビット/画素以上では悪くなっている。これは次の理由による。

- ① 高品質の領域では、ノイズの影響で ϕ ブレーンが複雑になり、文書画像を対象とした MR 符号では適合性が悪い。
- ② n が大きく、 ϕ ブレーン数が多くなると、 ϕ の各ビットブレーン間の相関が強くなる。しかし、本シミュレーション値は、各ブレーン間の相関は考慮していない。これらについては、3.7 節で述べる。

3.5.2 後処理

ブロックランケーション符号化方式の特徴として、平坦部を 1 レベルで表現するため、ブロック間の境界が目立ち画品質劣化の原因となりやすい。

その対策としては復号画に対して、低域通過フィルタにより高周波成分を除去するポストフィルタ処理が有効である。この場合、輪郭部の劣化を防ぐにはモードごとに選択的にフィルタ処理すればよい。すなわち、平坦部であるモード A のブロックには強いフィルタを、輪郭部であるモード C ではフィルタなし、中間のモード B のブロックには弱いフィルタをかける。図 3.5.3 にポストフィルタ処理のための重み係数の一例を示す。(a) はモード A、(b) はモード B 用であって、いずれも各階調レベルを図に示す係数によって重み付けして平均した値を中央画素の階調レベルとする。図 3.5.4 に、テスト画像の中央部 372×480 画素について、フィルタ処理の効果を示す。原画と比較した SNR 値 (720×576 画素のフルサイズ画像での値) もフィルタ処理した方が良くなっている。図 3.5.5 に

1/9	1/9	1/9	1/28	1/14	1/28
1/9	1/9	1/9	1/14	4/7	1/14
1/9	1/9	1/9	1/28	1/14	1/28
(a) モード A			(b) モード B		

像 Zelda および Boats について、フィルタによる SNR 値向上の様子を示す。平坦部の多い画像 Zelda においてフィルタ効果が著しいことがわかる。

図 3.5.3 ポストフィルタの重み係数例



(a) 原画像

(b) 復号画像 (フィルタなし)
37.46dB
(T1L=12, T1H=36, T2=40)(c) 復号画像 (フィルタあり)
38.28dB
(T1L=12, T1H=36, T2=40)

図3.5.4 復号画像とフィルタ効果

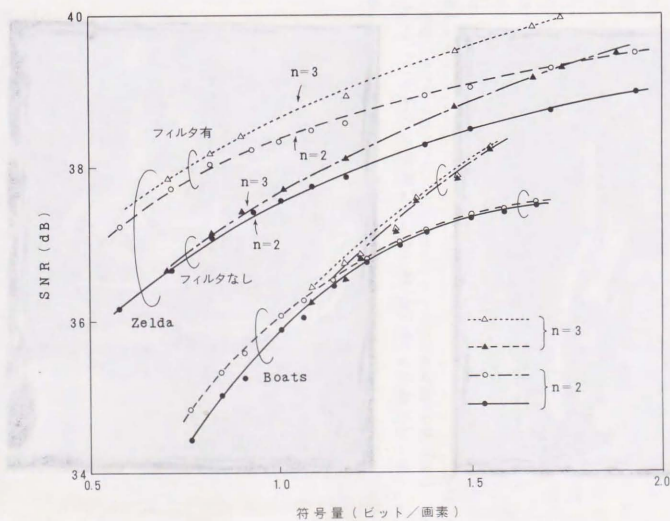


図 3.5.5 DABC方式におけるビットプラン数、フィルタの効果



(a) Boats
(Y成分: 0.90bits/pel, C成分: 0.10bits/pel)



(b) Zelda
(Y成分: 0.87bits/pel, C成分: 0.12bits/pel)

図3.5.6 復号画像例 (Color, 1 bits/pel)

図3.5.6 にカラー画像の復号画像例を示す。色成分 (Cr, Cb) はY成分ほどの分解能を必要としないので画素密度を縦横ともY成分の1/2にとり、A, Bモードのみとしている。そのため、符号量1ビット/画素の90%はY成分が占めている。

3.5.3 写真・文字混在画像の符号化

写真・文字混在画像との適合性を調べるために、評価画像として図2.2.2 に示した人物写真と文字画像の混在画像を使用し、静止画像の国際標準方式として検討が行われているDCT方式⁽⁵⁰⁾と本方式を比較した。図3.5.7 に符号量とSNRの関係を、図3.5.8 および図3.5.9 に復号画像の一例を示す。図3.5.7 において、“写真+文字”とあるのは写真と文字の混在画像全体を符号化した場合、“写真”、“文字”とあるのは、それぞれ、混在画像を符号化した場合の“写真”部分および“文字”部分のみにしての特性を示す。図から明かなように、写真部分についてはDCT方式の方が効率が良く、文字部分については本方式の方が効率が良い。その結果、混在画像の効率はほとんど同じになっている。これは、量子化の点でBTC方式が本質的にバイナリ画像に適合性が良いこと、本方式がバイナリ画像用の符号化方式(MR)を用いて分解能(ϕ)成分を符号化しているので符号量圧縮効率が良いためと考えられ、本方式が文字部分が多いほど効率が良いことがわかる。

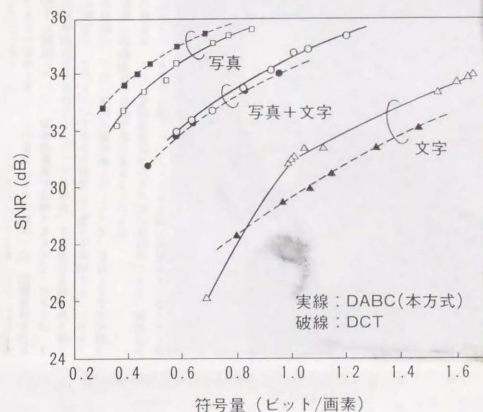


図3.5.7 写真・文字混在画像の符号化効率



(a) 本方式 (DABC)



(b) DCT

図3.5.8 複号画像の画品質 (0.58 ビット/画素)

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っておよび料金は、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T T Tの活動は、つねに時代の最先端を行くもので、C C I T Tの活動は、また世界の国際通信の活動方向であるといえる。

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごとく、数年以下で開議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あ

(a) 本方式 (DABC)

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っておよび料金は、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T T Tの活動は、つねに時代の最先端を行くもので、C C I T Tの活動は、また世界の国際通信の活動方向であるといえる。

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごとく、数年以下で開議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あ

(b) DCT

図3.5.9 本方式とDCT方式の文字画品質 (0.98 ビット/画素)

本方式はさらに、図3.4.1で示したように ϕ_1 成分のみでも了解性の良い画像が得られる。図3.5.10は文字部分について、本方式の ϕ_1 成分と同一の符号量になるDCT方式の画像を比較したものである。このように、2値画像に限った場合、本方式は ϕ_1 成分のみで対応できるため特に効率がよい。たとえば、データベースとして蓄積しておき主として文字情報が必要で濃淡画像は輪郭程度で十分な場合、 ϕ_1 成分のみを取り出し伝送するなどの応用が考えられる。このように、本方式はファクシミリやデータベースにおいて、文字部分の多い濃淡画像の伝送に適合性がよいことがわかる。

なお図3.5.7において、本方式で“文字”を符号化した場合プロットが集中して存在しているのは、原画像の階調レベルが白と黒に極化しているため、パラメータを変えてもL a、L d、 ϕ の内容がほとんど変化せず、 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 の成分をどこまで符号化するかで符号量がきまることによる。したがって本方式は、文字のように2値性の画像に対しては符号量を自由に制御することは困難である。

(a) 本方式 (ϕ_1 成分)

(b) DCT

3. 6 段階の復号

符号化信号が L_a 、 L_d 、 ϕ_1 、 ϕ_2 の順に与えられるときの復号手順を、方法 I、II それぞれについて表 3.6.1 および表 3.6.2 に示す。各成分の復号に応じて、復号画像の階調レベルを S_a 、 S_1 、 S_2 と順次変化させ段階的に復号できる。すなわち、成分 L_a を復号した段階（ステージ 1）で概略画像 S_1 が得られる。次に L_d 、 ϕ_1 まで復号した段階（ステージ 2）で、“ ϕ_1 、 ϕ_2 の条件”欄に記載のブロックごとの ϕ_1 の条件に応じてモード判定を行う。また画素ごとの ϕ_1 の条件を加味して、対応する復号式により各階調レベル値が求められ、より品質のよい復号画像 S_1 が得られる。同様に ϕ_2 まで復号する（ステージ 3）と最終画像 S_2 が得られ、段階的に品質を向上させることができる。ブレイクの数が多い場合はこの手順を続けなければならない。

3. 6. 2 方法 I、II の比較

50

ステージ	受信成分	復号画像	ϕ_1, ϕ_2 の条件		復号式
			ブロックごと	画素ごと	
1	La	S_0	—		$S_0 = La$
2	Ld ϕ_1	S_1	$\phi_1 = \text{全0}$ モードA		$S_1 = S_0$
			$\phi_1 \neq \text{全0}$ モードB, C	$\phi_1 = 0$ $\phi_1 = 1$	$S_1 = S_0 + Ld / \phi_1$ $S_1 = S_0 - Ld / \phi_1$
3	ϕ_2	S_2	$\phi_2 = \text{全0}$ モードA, B		$S_2 = S_1$
			$\phi_2 \neq \text{全0}$ モードC	$\phi_2 = 0$ $\phi_2 = 1$	$S_2 = S_1 + Ld / \phi_2$ $S_2 = S_1 - Ld / \phi_2$

ステ ージ	受信 成分	復号 画像	$\phi_1 \phi_2$ の条件		復号式
			ブロックごと	画素ごと	
1	L_a	S_0	—		$S_0 = L_a$
2	L_{d_1}	S_1	$\phi_1 = \text{全0}$	モードA, B	$S_1 = S_0$
	$\phi_1 \neq \text{全0}$		モードC	$\phi_1 = 0$ $\phi_1 = 1$	$S_1 = S_0 + L_{d_1}/2$ $S_1 = S_0 - L_{d_1}/2$
3	L_{d_2}	S_2	$\phi_2 = \text{全0}$	モードA	$S_2 = S_1$
	$\phi_2 \neq \text{全0}$		$\phi_1 = \text{全0}$	$\phi_2 = 0$	$S_2 = S_1 + L_{d_2}/2$
			モードB	$\phi_2 = 1$	$S_2 = S_1 - L_{d_2}/2$
			$\phi_1 \neq \text{全0}$	モード0	$\phi_2 = 0$	$S_2 = S_1 + L_{d_1}/4$
			モードC	$\phi_2 = 1$	$S_2 = S_1 - L_{d_1}/4$



方法 I ϕ_1 (0.567 ビット/画素) ϕ_2 (0.142 ビット/画素)



方法 II ϕ_1 (0.079 ビット/画素) ϕ_2 (0.624 ビット/画素)



方法 I ϕ_1 (0.567 ビット/画素) ϕ_2 (0.142 ビット/画素)



方法 II ϕ_1 (0.079 ビット/画素) ϕ_2 (0.624 ビット/画素)

図 3.6.1 レベル指定信号 (ϕ_1 , ϕ_2) の例

れる画像 S_0 , S_1 , S_2 のシミュレーション結果の一例を表 3.6.3 に示す。方法 I の ϕ_2 と方法 II の ϕ_1 は類似しているが、方法 II の ϕ_1 はモード C の変化のみを表すため変化が単調であるのに対して、方法 I の ϕ_2 はモード C の変化の他にモード B のレベル指定情報も含まれるため細かい変化が多く符号量も多い。

最終復号画像 S_2 は方法 I、II とともに同一であるので SNR に差はない。 S_2 の符号量についても、方法 I、II の差はほとんどない。

表からわかるように、方法 I では S_1 の符号量と SNR が S_0 の場合より S_2 の場合に近い傾向がある。一方、方法 II では、 S_1 の符号量、SNR がほぼ S_0 , S_2 の中間にありバランスがよい。その理由は、方法 I では S_1 の段階でモード B および C のブロックを 2 レベル表現するので 2 レベル表現のブロックが過剰になることにある。そのため、 ϕ_1 , ϕ_2 を固定した場合、 ϕ_3 , $\phi_4 \dots$ と ϕ ブレーンの数を増やしても画品質はあまりよくならない。

それに対し、方法 II では S_1 の段階で輪郭部であるモード C のブロックのみ 2 レベル表現とするので S_1 の 2 レベル表現ブロックが効果的に選定される結果になる。そのため、 S_1 で 1 レベル表現のブロックを S_2 で 1 レベルとするか 2 レベルとするかは T_1 の選択で任意に選ぶことができ、 ϕ のブレーン数を増やす場合の拡張性に優れている。また、データベース化した符号化信号から、バイナリ信号として ϕ_1 成分のみを取り出し G 4 ファクシミリ等と交信するような場合を想定するとき、方法 I では原画信号のノイズが多いと ϕ_1 信号にノイズの影響が生じやすいのに対して方法 II ではほとんど生じない。図 3.6.2 は ϕ_1 の一例である。方法 I では T_1 が小さい場合、背景部のノイズを検出してこれを 2 レベルで表現するため ϕ_1 がノイズの多い画像となる。一方、方法 II の場合、 ϕ_1 に変化があるのは 4 レベル表現 (モード C) の場合である。しかし、背景部のノイズによるレベル変化は小さくモード C となることはない。そのため ϕ_1 にはノイズの影響は無く、極めて分解能のよい 2 値画像が得られている。

このように、方法 II は方法 I に比べ復号手順は若干複雑となるが、 S_2 の品質が S_1 に依存しにくくなるため次のような利点が生じ、段階的復号性の意味で優れている。

- ① 適切な段階表示を行い易い。
- ② ϕ_1 にはノイズの影響は無く、極めて分解能のよい 2 値画像が得られる。
- ③ ϕ_3 , $\phi_4 \dots$ を追加して、より高品質/多段階表示への拡張が容易である。

なお、方法 I、II における S_0 , S_1 の途中段階の画像については、これらの復号画像を直接得る場合、すなわち $n=0$ または $n=1$ の復号化を行う場合 (表 3.6.3 にカッコ付きで示す) に比べて量子化誤差が大きいため SNR がわずかに低下する。例えば 2 レベル表現の場合、量子化レベルは本来表 3.3.1 の P_1 , P_2 として求めるべきであるが、途中段階のためモード C のブロックが 2 レベルで表現された時、量子化値は P_1 , P_2 のかわりにそれぞれ $(Q_1+Q_2)/2$, $(Q_3+Q_4)/2$ となり、若干近似が悪くなるためである。

表 3.6.3 段階的復号シミュレーション

ステージ		S ₀	S ₁	S ₂
画像				
Boats	方法Ⅰ	0.224	0.785 (0.789)	1.006
		25.00	31.97 (33.00)	35.71
	方法Ⅱ	0.224	0.374 (0.376)	0.997
		25.00	29.44 (30.42)	35.71
Zelda	方法Ⅰ	0.230	0.867 (0.869)	1.009
		29.33	35.26 (36.04)	37.46
	方法Ⅱ	0.230	0.322 (0.323)	1.002
		29.33	33.15 (33.89)	37.46

上段：符号量（ビット／画素）、下段：SNR（dB）
カッコ内は直接符号化値

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則の、この数年以下で開廃される主要な決議、というより、大合議の決定をまたなくとも、

方法Ⅰ ϕ_1
(0.563 ビット／画素)

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則の、この数年以下で開廃される主要な決議、というより、大合議の決定をまたなくとも、

方法Ⅱ ϕ_1
(0.218 ビット／画素)

図3.6.2 方法Ⅰと方法Ⅱの比較
($T_{11}=12$, $T_{1H}=36$, $T_2=64$)

3.7 DABC方式の拡張

以上の説明ではブロック内の量子化レベルは最高4レベルとしたが、 ϕ_1 、 ϕ_2 の他に ϕ_3 、 ϕ_4 ・・・を付け加えることにより多段階の段階表示が可能となる。図3.7.1は、 $n=4$ とし、モードをA（1レベル量子化）からE（16レベル量子化）の5種類とする場合について、 $D=L_{max}-L_{min}$ の大きさに対する各モード分類と ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 の関係を示したものである。図の矢印は各 ϕ 成分に1が存在する範囲を示す。以下、これについて説明する。

各成分の符号化／復号化は、3.3.2節および3.6.2節で説明した方法Ⅱの手順を ϕ_3 、 ϕ_4 まで拡張すればよい。レベル間隔 L_d については、 ϕ_1 の符号化／復号化の段階ではモードEのブロックの値 L_{d1} を符号化／復号化し、 ϕ_2 の復号の段階ではモードDのブロックの値 L_{d2} を、 ϕ_3 ではモードCの値 L_{d3} を、 ϕ_4 ではモードBの値 L_{d4} を追加する。従って、符号化信号は L_a 、 ϕ_1 、 L_{d1} 、 ϕ_2 、 L_{d2} 、 ϕ_3 、 L_{d3} 、 ϕ_4 、 L_{d4} の順に伝送し順次復号する。ただし、 L_{d1} 、 L_{d2} 、 L_{d3} 、 L_{d4} はそれぞれモードE、D、C、Bのブロックの L_d の値である。

各段階、各成分の符号量について、画像Zeldaによるシミュレーション結果を表3.7.1に示す。ただしこの場合、最終段階までを考えると表3.4.2に示した L_a の量子化では粗すぎるので、 ϕ_3 による復号を行う S_3 の段階で、 S_2 までに使用した L_a の量子値と L_a の真値との差分を再量子化して L_a の誤差を補正している。表から多段階の段階的復号が可能であることがわかるが、 ϕ_4 の符号量は1ビット／画素より大となり、 ϕ プレーンの数が多くなると、文書画像を対象としたMRでは適合性が悪いことがわかる。この理由は3.5節でも述べたように、これらの成分についてはランレングスが小さくMRの前提となっている文字／図形等とは統計量が大きく異なることのため、各プレーン間の相関を利用していないためである。

この場合、16階調の原画像を直接ビットプレーン ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 に分解したものと見なせば、これら ϕ 成分の符号化方法として従来のビットプレーン分解形式の符号化方式が利用できる。一例として ϕ 成分の符号化にPCS符号化方式⁽²⁸⁾⁽⁵¹⁾を採用した場合のシミュレーション結果を同表のカッコ内に示す。 ϕ プレーンの数が多いほどMRに比べて改善効果大きいことがわかる。

3.8 成分分離階層形符号化方式⁽⁵²⁾

3.8.1 概要

ISO/CCITTでは、高エネルギー段階的表示(Progressive build-up)が可能な静止画符号化方式の標準化作業が進められてきた。前述したDABC符号化方式も段階表示の特徴を有し、0.75～1ビット／画素程度のメインステージで高エネルギーが実現できる特徴がある

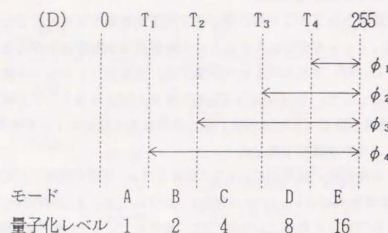


図 3.7.1 方法Ⅱによる、 $D=L_{\max}-L_{\min}$ と
レベル数、 ϕ プレーンの有効範囲の関係 ($n=4$)

表 3.7.1 段階的復号の各段階の符号量と SNR ($n=4$, Zelda)

	L_a	L_d	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	Total (bit/pel)	SNR (dB)
S_0	0.231						0.231	29.33
S_1		0.010	0.048 (0.056)				0.289 (0.297)	32.33
S_2		0.049		0.409 (0.356)			0.747 (0.702)	36.31
S_3	0.150	0.025			0.885 (0.609)		1.807 (1.486)	39.49
S_4		0.064				1.588 (0.906)	3.459 (2.456)	42.42
\hat{I}^{\dagger}	0.381	0.148	0.048 (0.056)	0.409 (0.356)	0.885 (0.609)	1.588 (0.906)		

$T_1=4$, $T_{21}=12$, $T_{22}=15$, $T_{31}=15$, $T_{32}=36$, $T_4=52$ (カッコ内は PCS を利用した場合)

が、可逆画像の符号化には対応できず段階表示という点でも初期段階の品質が十分でなかった。本節では、標準方式としての要求にあわせて DABC 方式拡張した BSPPC (Block Separated Component Progressive Coding) 方式について述べる。BSPPC 方式は、 $n=2$ の平均値形量子化により画像を特徴的成分に分離した後、各成分を逆藤らにより提案されている PCS の手法によりさらに階層化してエントロピー符号化を行うことにより、高能率でかつ高度の階層性を実現する。すなわち、符号化対象となる画像を DABC と同様に、基準レベル L_a 、レベル間隔 L_d およびレベル指定信号 ϕ の 3 種の成分に分離した後、各成分を以下に示す PCS の手法により符号化する。

(1) ビットプレーンに分解

まず、符号化対象とする画像をビットプレーンに分解する。

(2) MSB プレーンの符号化

- ① MSB プレーンについて、主走査、副走査とも 4 画素毎 (図 3.8.1 の ◎ 印) を抽出しランレングス符号化する。
- ② 次に、4 つの既符号化画素 (参照画素) の中央に位置する未符号化画素 (○ 印) をこの 4 参照画素の状態により状態分離し予測符号化する。
- ③ 同様にして、既符号化の近接 4 画素を参照しながら、[◎→○→×→□→・] の順で順次符号化する。

(3) 下位プレーンの符号化

MSB 以外のプレーンについては、◎ 印の画素を連結しランレングス符号化した後、上述と同様に同一プレーン上の 4 参照画素値と符号化画素の既知ビットプレーンの値により状態分離し予測符号化する。

(4) このようにして、徐々に符号化画素の間隔を狭くしながら順次各プレーンを符号化することにより、受信画像の品質を向上させていくことができる。

3.8.2. BSPPC 符号化方式の構成

(1) ハイアラキ構成による多段階階層符号化

段階的表示の初期の段階での符号化効率を良くするためには、図 3.8.2 および、以下に説明するようにハイアラキ構成をとることが有効である。

① フィルタリングと間引き処理

原画像に図 3.5.3(b) に示したと同じ重み係数でフィルタ処理を行った後、縦横とも 1:2 の割合で画素の間引き処理を行い 1/2 の縮小画像を形成する。フィルタ処理は画素間引きによる情報欠落を少なくするためである。

② 縮小画像の符号化

この縮小画像を DABC の手法で L_a 、 L_d 、 ϕ_1 、 ϕ_2 の成分に分離した後、 L_a 、 ϕ_i ($i=1, 2$) を PCS の手法により以下のように符号化する。

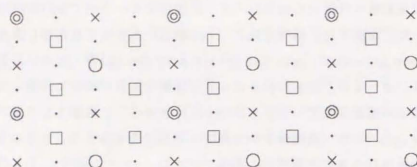


図 3.8.1 PCSの符号化順序

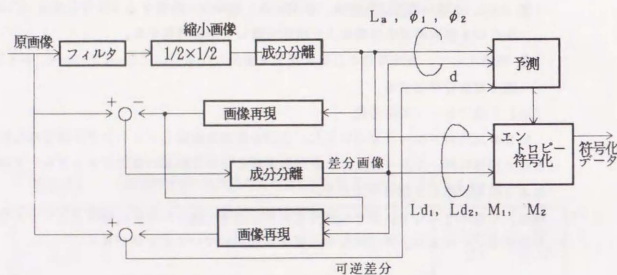


図 3.8.2 BSPCのハイアラール構成

- 原画像を 4×4 のブロックに分割し、 L_0 、 L_d 、 ϕ の各成分に分離する。
- ブロックごとの基準レベル L_0 は、PCS により階層符号化する。
- ϕ_1 、 ϕ_2 は L_0 の MSB と同様に符号化する。ただし、最初は 16×16 画素からスタートする。
- L_d はブロック間の相関が少ないので個別に符号化する。

受信側では、 L_0 のみ、 L_0 、 L_d と ϕ_1 による復号、あるいはこれらの途中段階等により段階的表示が可能となる。

縮小画像の L_0 ($1/8$ 縮小画像に相当) を符号化した段階で約 0.08 ビット/画素程度の符号量となる。また、縮小画像の全成分を符号化した段階での符号量は約 0.25 ビット/画素程度となる。

③ 差分画像の符号化

つづいて、前記縮小画像からの復号画像を内挿拡大して原寸大の復号画像(復号画像 I)を構成し、これと原画像の差を求める。これから得られる差分画像を縮小画像の場合と同様に符号化する。差分画像の ϕ_2 の符号化が終了すると L_0 の第 7 ビット目を追加符号化する。

段階画像の復号時には、3.6 節で述べた DABC の段階的復号と同様に②の手順で、各成分の復号値を復号画像 I に順次加えてゆく。最後に L_0 の第 7 ビット目を復号する。この段階でカラーで 0.7 ~ 1 ビット程度の符号量となる。

(2) 可逆画像の符号化

本方式では量子化レベルの間隔を各ブロックで独立にしているので、 ϕ プレーン数を増やし ϕ_1 、 ϕ_2 、 $\phi_3 \dots \phi_i$ を積み重ねて復号の段階数を増やすだけでは原画像と同一の画像は復元できない。そのため、BSPC では ϕ プレーンの数は 0.5 ~ 1 ビット/画素のメインステージの画像を復元するのに必要な ϕ_1 、 ϕ_2 の 2 プレーンで打ち切り、以後は原画像との差分(可逆差分: d)を PCS で符号化して加えることにより最終的に原画像と同一の可逆画像を得ることとした。

可逆差分 d は $-128 \sim 127$ の範囲の値をとりうるので、 d の符号化にあたっては正負を表す符号の扱いが問題となる。BSPC では以下のように可逆差分を符号化する。

- 可逆差分 d は L_0 と同様に PCS 方式で符号化する。
- ただし、最初は 16×16 画素からスタートする。
- d は、 $d^* = (d + 128)$ により常に正の値になるようにした後、第 2 ビットから順次符号化する。

MSB が d の正負符号を表すことになるが、ノイズ成分が支配的な $d = 0$ の近傍が 128 近傍の値に変換されるので、 d^* を MSB から符号化すると最初の 1 ビットはほとんど正負符号となり、復号画品質の向上にはほとんど寄与しない。そ

のため、各画素ごとに初めて0でない値が現われたときMSBを正負符号ビットとして付加する。

(3) エントロピー符号化

L_a 、 ϕ_1 、 ϕ_2 等を予測符号化するにあたって、予測結果のエントロピー符号化方式として、ハフマン符号のように符号表を必要とせず符号化要素の出現確率に応じて符号化が行えるため効率の良い算術符号化方式を使用した。

また、ブロック間で相関の少ない L_d はその量子化値をそのまま算術符号を用いて符号化する。

(4) その他

カラー画像の場合には、色成分(C_r 、 C_b)の影響は輝度成分(Y)より小さいので、色成分については画素密度を縦横とも輝度成分の $1/2$ にとり符号量を削減する。また、段階的表示の程度に応じて輝度成分の符号化信号の途中に色信号の符号化信号を挿入しカラー画像の段階表示を可能とする。

3. 8. 3 BSPC方式の符号化性能

図3.8.3にISO/CCITTの標準画像(画素数、 $Y: 720 \times 576$ 、 C_r 、 $C_b: 360 \times 576$)のうちのBoats, Barbara2およびBalloonsについてシミュレーション結果の一例を示す。横軸は符号量、縦軸は復号画像の原画像からの平均自乗誤差(RMSE)である。なお、右側縦軸は、 $S/N = 20 \log(255/RMSE)$ により求めた S/N 比である。図中に ϕ_1 の復号完了および ϕ_2 の復号完了のステージを矢印で示している。また、 ϕ 符号化時において、 $(1/2 \times 1/2)$ あるいは千鳥状態まで復号化した状態では未復号画素を復号済み画素より内挿してそれぞれを1ステージとしてプロット(矢印なし)で示している。

図3.8.3には、色成分を含めたカラー画像の符号量を同時に破線で示している。符号量が少ない場合は、輝度成分が約90%を占めているが、可逆に近いステージでは色成分の符号が急激に増える。図3.8.4に符号量とSNRの関係を、DABCと対比して示す。平坦部の多い画像ZeldaにおいてはDABCとBSPCの差はほとんどないが、変化の多い画像Boatsにおいては同じ符号量でSNRが1dB以上向上している。

表3.8.1に原画像と同一画像まで復号するために必要な(可逆)符号量を示す。画像内容によって差はあるが輝度(Y)成分が約5ビット/画素、色成分(C_b 、 C_r)が約3ビット/画素、合わせて約8ビットである。

3. 9 まとめ

ブロックランケーション符号化方式はDCT等の直交変換形の符号化方式と比べて、実空間で符号化を行うため2値画像符号化とのコンパクト性など応用面で優れ

ている。しかし、1ブロックを2レベルで表現していたため、広範囲の符号量に対して高い圧縮比を保持することが困難であった。本DABC方式では、1ブロックを4レベル以上で表現可能にするとともに、階調数をアダプティブに変えることができるので、少ない符号量の領域から高品質の領域まで広範囲にわたって高能率を実現できるようになった。

DABC方式は、画像を L_a 、 L_d 、 ϕ の成分に分離して符号化するための特長を有する。

① L_a 成分のみで概略画像が得られる

② ϕ_1 成分が分解能を保持しており、文字等の混在画像に対して特に効率がよい。

また、白黒2値画像用の標準方式であるモディファイドリード符号化方式(MR)により符号化できるので、白黒2値符号化が多いファクシミリ等との相互通信を考慮するときの適合性がよい。

③ L_d 成分は微分値を表すので、認識や検索を対象とするデータベースに応用の可能性がある。

その他、複雑な演算処理がないため高速処理が可能である。なお、本方式のうち、3.6.2節の方法Iで、 $n=2$ と設定する場合はGBT C (Generalized Block Truncation Coding)方式⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾として、BSPC方式⁽⁵⁵⁾とともに国際標準化方式の候補に提案したものである。

差分適応ブロック符号化(DABC)方式では、その成分の1つであるレベル指定信号の符号化に2値画像用の標準方式であるMRを使用している。また、各ビットプレーンの相関を利用していない。そのため、情報省略を行わない可逆画像あるいはそれに近い領域の画像の伝送には適合性が悪い。

DABCのレベル指定信号の符号化にPC S符号化方式を利用して高能率で高度のプログレッシブ階層性を有する可逆符号化を実現したBSPC方式はバイナリ符号との整合性がよいというDABCの特長の他、非常に優れたプログレッシブ表示を可能とする。

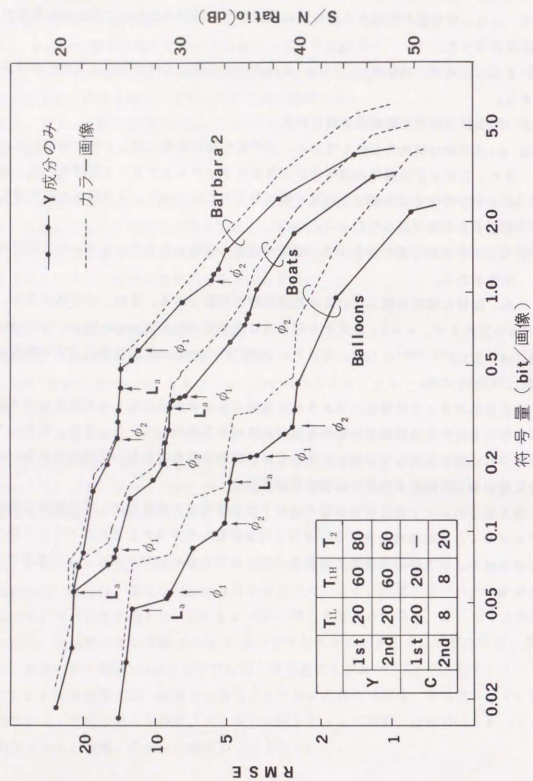


図3.8.3 符号量とRMSE (平均自乗誤差)

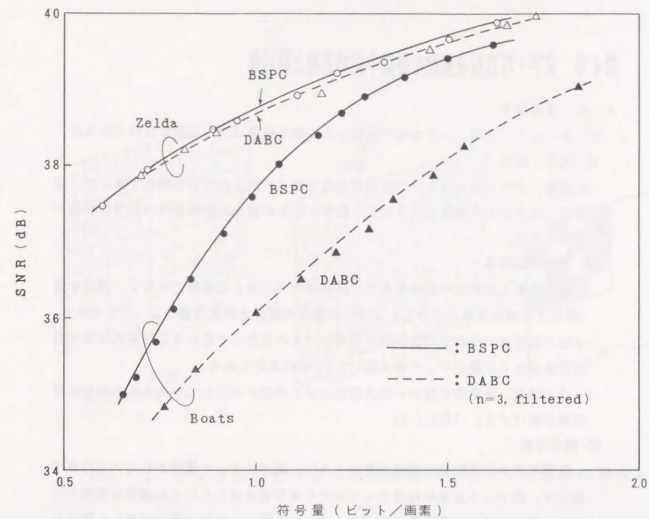


図3.8.4 BSPCの符号化効率

表 3.8.1 可逆符号量 (カラー符号量)

画像種別	ビット/画素			
	TOTAL	Y	Cb	Cr
Boats	8.16	4.80	1.64	1.72
Barbara2	9.67	5.67	1.93	2.08
Balloons	6.95	3.65	1.67	1.63

第4章 文字・写真混在画像の疑似中間調表現と符号化

4.1 まえがき

ファクシミリ、文書ファイル等で対象とする静止画像は次の3種に分けられる。

① 文字、線画

文字、グラフのように、原画像が白黒2値で表現されている場合であって、濃淡変化はほとんど意味を持たない。細かい白黒の変化が意味を持つので分解能が重要である。

② 連続階調写真

濃淡の変化が重要な意味をもち、分解能は文字ほどは重要ではない。疑似中間調による濃淡表現の手段としては、2値化の閾値を画素位置によって変化させ、2値化処理後の黒画素の数が原画信号レベルに依存して変わることを利用して濃淡を表現する組織的ディザ法（図4.1.1）が代表的である。

この場合、文字等の細かい濃淡変化のある画像が混在しているとその部分は画品質が劣化する。（図4.1.2）

③ 網点写真

新聞写真や印刷物中の濃淡画像のように、網点によって構成されている写真であって、黒ドットあるいは白ドットのサイズを変えることにより濃淡を表現している。見掛けは連続階調写真と変わらないが、網点の周期で濃淡が激しく変化しているのが特徴である。

粗い網点の場合は文字等の場合と同様に、一定の閾値で2値化することで濃淡を表現できるが、大部分の網点画像については、読み取りセンサが網点の細かい変化を分解できないためセンサで読み取られた画信号を単純に2値出力しても原稿の網点による濃淡を再現することはできない（図4.1.3）。濃淡を再現するためには、連続階調写真と同様にディザ閾値により2値化する必要がある。一方、ディザ閾値で2値化すると、原画像の網点の周期とディザ閾値の周期が干渉してモアレとよばれる原稿に存在しない濃淡パターンが発生し画品質が劣化する場合が多い（図4.1.4）。

したがって、これら各種画像に対して同一の処理を行ったのでは、全てを高品質に表現、または高効率に符号化することはできず、それぞれの画像内容に応じた適応処理が必要である。本章ではこれら各種の画像が混在する場合を対象に、これら①、②、③の識別処理を含む疑似中間調表現方式について述べる。

文字／写真画像に対して高度な画像処理技術を応用し、画像内容を属性ごとに識別分離してそれぞれに適応処理を行う方法があるが、処理量が大となり実時間処理は困難である⁽¹³⁾。しかし、疑似中間調表現を目的とする場合には画像の属性識別は必ず

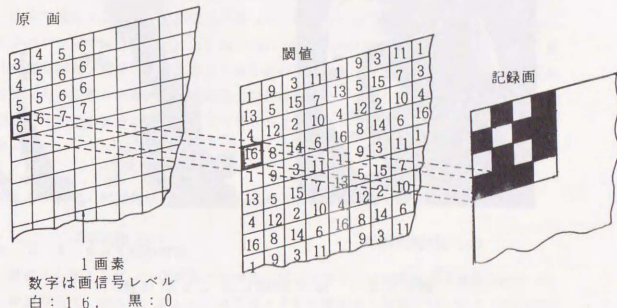


図4.1.1 ディザ画像による中間調表現の原理（17階調の場合）

静議壘駢
ほとぬるを
DEGHQ

1cm

図4.1.2 ディザ表現処理による文字の出力例



(a) 連続階調写真



(b) 網点写真

図4.1.3 固定閾値による2値画像



(a) 連続階調写真



(b) 網点写真

図4.1.4 デイザ画像例

しも必要ではなく、文字品質を劣化させないための分解能の保持と、写真再現のための濃淡表現が可能であればよい。この種の方法として従来より輪郭強調の前処理⁽²⁷⁾⁽⁵⁶⁾を行う方法があるが文字画像と写真画像の品質を両立させるのが困難であった。

本章で提案するブロック別像域分離 (Block Adaptive Thresholding: BAT) 法、およびブロック分離変換 (Block Separate Transformation Method: BSET) 法は、属性識別を行わず画像の特徴に応じて適応処理を行う。すなわち、画像内容を直接識別せず、その画像の特徴のみを実時間で自動識別して、画像特徴に応じて最適2値化処理を行うものである。以下、画信号が0～31の5ビットで表現されている場合を対象にシミュレーション結果を述べる。

4.2 文字・写真領域の分離と適応処理 (BAT法)⁽⁵⁷⁾⁽⁵⁸⁾

4.2.1 BAT法の背景

画像の性質として、2値画像では濃度勾配が大きく、写真画像では濃度勾配が小さい性質がある。例えば、図4.2.1は写真と文字が混在する画像に対してミクロの領域(4画素×4画素のブロック)毎に濃度変化を調べたものである。図中では、ブロック内の濃度の変化が全レベル範囲に対し半分以上の変化がある場合のブロックを黒としている。写真部分では、輪郭部を除いては濃度変化が小さいことが分かる。一方、文字等の2値画像部分では、文字が存在する所はすべて黒くなっている。このように、ブロック毎の濃度変化の大小によって写真画像領域と2値画像領域を概略分離することができる。また、写真の輪郭部などのように誤判定が生じる領域があるが、これらの領域は画信号の性質が2値画像領域に近いので画品質の劣化はほとんど生じない。BAT法はこのような性質を用いている。

4.2.2 BAT法の処理アルゴリズム

- (1) 原稿を4×4画素からなるブロックに分割する。(図4.2.2)
- (2) ブロック内の画信号レベルより、最大の値Lmaxと最小の値Lminを求め、あらかじめ定めた基準値P(像域分離パラメータ)と比較して以下の判定を行う。(図4.2.3)

① $L_{max} - L_{min} > P$ のとき

ブロック内の濃淡変化が大きいため、文字／線画等の2値画像あるいは濃淡画像の輪郭部である。(以下、簡単に2値画像領域と呼ぶ)

② $L_{max} - L_{min} \leq P$ のとき

ブロック内の濃淡変化が少ないので、濃淡画像中の輪郭部以外あるいは文字画像中の空白部分である。(以下、簡単に写真画像領域と呼ぶ)



出右生物殊強構議量本圧会
出右生物殊強構議量本圧会流御附
出右生物殊強構議量本圧会流御断警静疊
出右生物殊強構議量本圧会流御断警静疊

(a) 原画



出右生物殊強構識量本三會
出右生物殊強構識量本圧会流御開
出右生物殊強構識量本圧会流御開
出右生物殊強構識量本圧会流御開

(b) 文字領域抽出図 (黒部分が文字領域)

図4.2.1 ブロック毎に抽出した文字領域

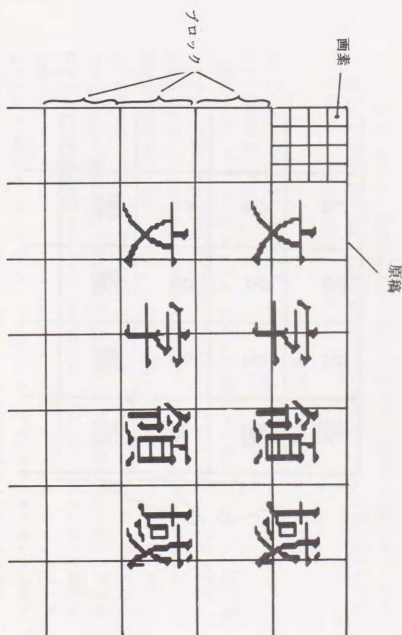


図4.2.2 ギロックに分割した例

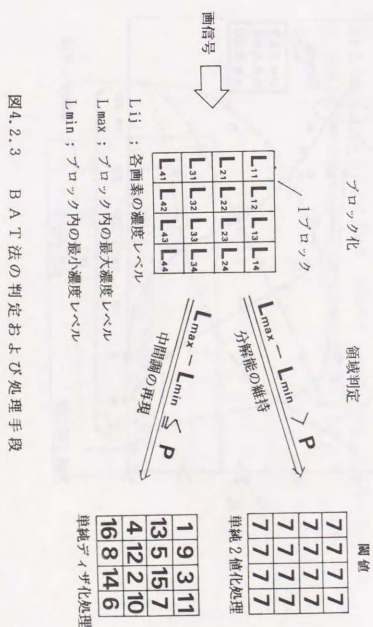


図4.2.3 BAT法の判定および処理手段

ブロック	濃 ディザ化	2	2	2	
	濃	2	2	2	
	濃	2	2	2	
	濃	濃	濃	濃	

図4.2.4 判定結果の例

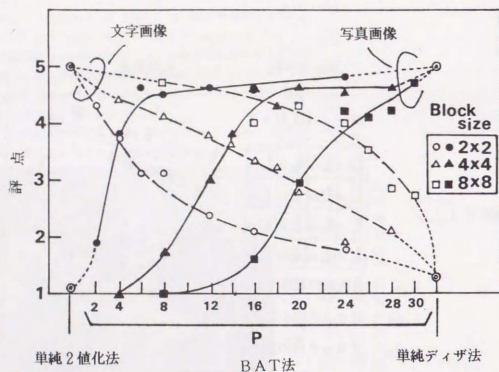


図4.2.5 BAT法による画品質評価

(3) 上記①の場合は、濃度差が大きいので、そのブロック内の各画素に対して分解能の良い単純2値化処理を行う。②の場合は、濃度差が小さいので、濃淡表現のためにディザ化処理を行う。(図4.2.3-4)

4.2.3 BAT法による画品質

(1) 領域判定と画品質

図4.2.5は、ブロックサイズ 2×2 、 4×4 および 8×8 の場合について、像域分離パラメータ P を0から31までの範囲で変化させ、これらのパラメータによって得られた文字画像および写真画像の処理画の品質評価を行ったものである。評価方法は、処理画を基準画と比較し、表4.2.1に示す5段階の比較尺度カテゴリを用いて評価した。文字画像の評価には、単純2値化したものを、濃淡画像の評価には、単純にディザ化したものを基準画として用いた。写真画像および文字画像の両方の品質を落さないとしたときの像域分離パラメータ P の最適値は、ブロックサイズ 2×2 では $P=3$ または 4 、 4×4 では $P=14 \sim 16$ 、 8×8 では $P=24$ である。ブロックサイズ 2×2 は P の値にマージンが少なく、 8×8 は1ブロックのサイズが大きいため局所的品質劣化が大きい他一括処理ライン数が多くハード規模が大きくなる。そのため、ブロックサイズとしては 4×4 が適当である。

BAT法($P=16$ 、ブロックサイズ 4×4)、従来のディザ法および単純2値化により処理を行ったサンプルを図4.2.6、図4.2.7に示す。図4.2.6の写真では、BAT法と従来の単純ディザ法との品質の差は、輪郭部でわずかに見られるだけである。図4.2.7の文字ではBAT法は従来の単純なディザ法に比べ著しく品質が向上しており、単純2値化との違いは僅かに白黒境界部で凹凸があるだけである。なお、以

表4.2.1 評価カテゴリ

評点	カテゴリー
5	差がない
4	差はあるが同程度の品質とみなせる
3	やや悪い
2	悪い
1	非常に悪い



(a) 従来ディザ法



(b) BAT法

図4.2.6 写真画像に対する2値化の処理例



(a) 従来ディザ法

(b) BAT法

(c) 単純2値化

図4.2.7 文字画像に対する2値化の処理例

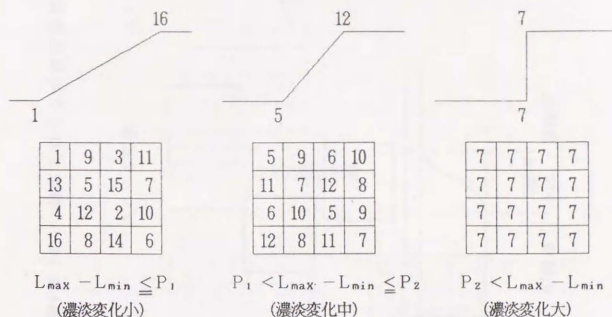


図 4.2.8 3領域分離の閾値例

上の説明ではブロックを2種類に分けて適応処理する場合を述べたが、適応処理の種類は任意に増やすことができる。図4.2.8に3種類に分けた場合の閾値例を示す。

原稿の文字の濃度をパラメータとして、BAT法により処理した画像を主観評価した結果を図4.2.9に示す。評価法は図4.2.5の場合と同じである。文字の濃度コントラストが大きければ、 $P=1.6$ とすることにより写真画像および文字画像ともにほとんど劣化なく表現できる。しかし、文字の濃度コントラストが低くなれば、文字の再現品質が悪くなる。許容限度を評点の4程度とすれば、文字の濃度は1.0以上を必要とする。つまり、鉛筆などで書かれた薄い文字は、ディザ化処理され画品質の劣化が生じる。ただし、BAT法による改善効果は明かである。なお、濃度コントラストが低い画像への対応については5章で述べる。

(2) ブロック別像域分離法(BAT)の閾値配置と画品質

BAT法は、最適な像域分離パラメータPの値で写真画像の品質を劣化させずに、文字品質を従来の単純ディザ化画像よりかなり向上させることができたが、白黒境界部に凹凸が出るなど単純2値化に比べて若干の劣化がみられる。この劣化の原因は、図4.2.10に示すような判定ブロックと白黒の境界の位置関係によって説明できる。図4.2.10中のグラフは、白黒境界部分を読み取った場合の濃度変化を表現したものであり、読み取りの分解能が有限なため白黒領域の間に灰色領域が存在することになる。

(a)は、判定ブロックが白黒の境界に位置したもので、この場合は判定ブロック内

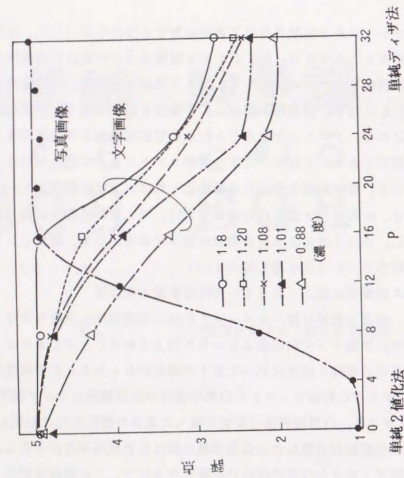


図4.2.9 原稿の文字の濃度をパラメータとしたときの評価結果

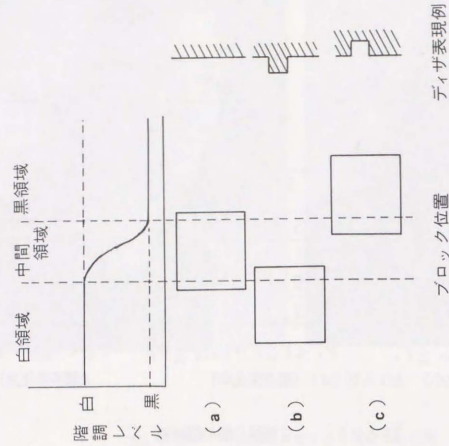


図4.2.10 判定ブロックの位置関係図

	15	14
	12	13

図 4.2.11 中央高閾値配置

(a)

3	11	7	1
4	15	14	9
8	12	13	5
0	6	10	2
11	7	1	3

(b)

15	14	9	4
12	13	5	8
6	10	2	0
11	7	1	3

図 4.2.12 2種類の閾値配置

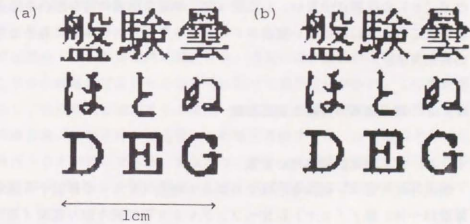


図4.2.13 中央低閾値配置の処理

の濃度差が大きく、2値画像領域と判定される。(b)、(c)は、白黒境界部にブロックの端部が位置している場合で、いずれも2値画像中であるが、判定ブロック内の濃度差が小さくなるので濃淡画像領域と判定され、ブロック内はディザ化処理が行われる。そのため、(b)では主に高い(白レベルに近い)閾値によって、(c)では主に低い(黒レベルに近い)閾値によって白黒境界部に凹凸が生じ、画品質劣化の原因になる。この凹凸をある程度除去する手段について述べる。

判定ブロックが図4.2.10(b)の状態のとき、ブロック内の外側の画素だけが灰色の中間領域で他の画素は白領域に存在する。そこで、図4.2.11の閾値配置を用いると、突起の出る濃度レベル D_x は、

$$15 - P < D_x \leq 11 \quad (\text{黒:0, 白:15の16レベル表現})$$

となる。つまり、 D_x が12以上だと白画素となり突起は出ない。また、 $15 - P$ 以下だと2値領域と判定され突起はでない。従って、BAT法の判定ブロックサイズと閾値配置のマトリクスサイズが同じ場合においては、閾値配置の外側にできるだけ大きい閾値を持つ図4.2.11の中央高閾値配置を用いることによって凹凸を少なくすることができる。これを確認するために、図4.2.12に示す2種類の閾値配置について比較を行った。(a)は中央に低閾値を配置したもので、(b)は(a)の閾値配置を縦横に1画素ずらしたものである。これらの閾値配置を用いた場合、濃淡画像に対してはまったく変化はないが、文字画像では差が生じる。図4.2.13(a), (b)は、それぞれ図4.2.12の(a), (b)の閾値配置を用いて処理した結果である。直線部の多い英文字において、(a)の方が(b)よりはるかに突起が少なくなっている。

一方、図4.2.10(c)の状態の場合、中央に高い閾値を配置することによって逆に突起が増大する。しかし、図4.2.10(c)の状態は判定ブロックサイズより黒領域が同程度以上に大きい場合のみ存在する。通常の画像では白領域は大きく、黒領域は小さいので(c)の状態は少ない。したがって、中央低閾値の方が凹凸を除去する効果が大きく、このように単に低い閾値をディザマトリクスの中央に集めるだけでかなりの効果がある。

4.3 網点領域の分離と適応処理

4.3.1 網点識別処理の背景

網点写真は通常、網点を形成するドット密度(ドットを形成する通常のスクリーン線数65~200線/インチ)に比べファクシミリ等の読み取り密度(通常8~16画素/mm)が十分に小さいため網点ドットを分解できず、センサで読み取られた画信号を単純に2値化出力しても原稿の網点による濃淡を再現することはできない。従って、濃淡を再現するためには網点写真の画信号にもディザ法を適用する必要がある。

しかし、網点写真の画信号をディザ化する時には、原稿網点の周期とディザパターンの周期の関係でモアレパターンが出力画に現れ画品質が著しく劣化する場合がある。また伝送面においても、網点ドットによる頻繁な濃度変化のため符号量が増大するなどの問題がある。

網点写真でのモアレの発生や符号量の増大は、網点ドットによる画信号の濃度変化に起因するものである。従って、文字などの画品質に影響を与えないよう、網点領域を検出した後、選択的に平滑化し連続的な濃度変化の写真に変換してやれば、通常のディザ法や符号化法で画品質良く2値化でき、また、伝送することができる。本網点処理法として、従来より、直交変換により周波数スペクトルのピークを検出する方法、出現が予想されるパターンと比較するパターンマッチング法等の種々の方法が提案されている^{(43) (64) (62)}。しかし、これらはいずれも処理量、メモリ量が膨大であったり、特定サイズの網点しか識別できず汎用性に乏しい等の欠点があり、ファクシミリのように広範囲の画像を対象にして、低コストで実時間処理が要求されるような場合に適用できる実用的なものとはなかった。写真画像のモアレ防止のみについては輪郭におけるディザ周期の乱れを検出して適応処理を行う方法⁽⁶³⁾があり処理は簡単であるが文字等の混在が考慮されていない。

網点画像では、網点ドットが周期的に配置されているため濃度変化回数が多い。本節で述べる網点処理法はこの特徴を利用するもので、複数画素からなる微小なブロック単位で濃度変化の回数が多いブロックを網点領域と判定する。その後選択的に平滑化処理を施し網点構造の周期的な濃度変化を除去するもので、簡単な回路で逐次的な処理が可能となる。以後、本処理を「ブロック分離変換法(Block Separate Transformation Method: BSET法)」と呼ぶ。^{(64) (66)}

4.3.2 網点写真画像の性質と網点構造の識別

(1) 網点画信号の性質とブロックサイズ

網点写真では網点ドットが周期的に配置され、濃度の高い画素が空間的に分散しているため、文字や連続階調写真部分の画信号に比べて濃淡変化が多い。この濃淡変化の回数を検出して網点領域を識別するにあたって、判定領域の単位は、処理の容易性、BAT法との適合性、誤判定時の画品質への影響を考慮すると、 $m \times m$ のミクロなブロック単位で行うことが有利である。すなわち、ブロック単位で濃度変化の回数を求め、濃度変化の多いブロックを網点領域と判定すれば効果的な識別が可能と期待できる。

そこでまず、領域識別を行うためのブロックサイズについて考察する。網点周期を識別するためには、網点が周期的に配置されている特徴を用いる必要がある。そのため、図4.3.1に示すように、少なくとも領域判定を行うブロック内に、隣接する

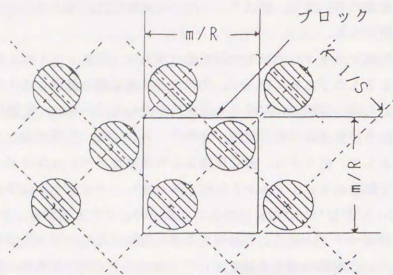


図4.3.1 判定ブロックと網点サイズ

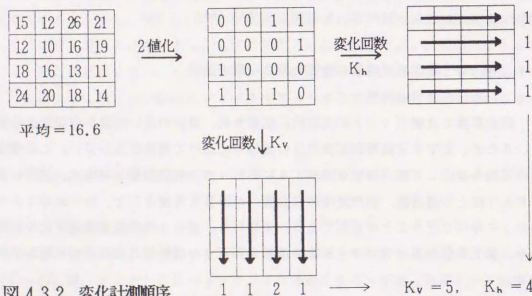


図4.3.2 変化計測順序

2 個程度の網点が含まれなければならない。網点の線数を S (線/インチ)、センサの読み取り密度を R (画素/インチ) とし、網点のスクリーン角度を一般的な 45° とすれば、2 ドットを含む領域の対角長 $2/S$ に対応するブロックの対角長は $\sqrt{2}m/R$ となる。したがって、線数 S 以上の網点を識別するために必要なブロックサイズ m は、次式の関係を満たす必要がある。

$$(\sqrt{2}m/R) \geq 2/S$$

したがって、ブロックサイズ m の条件は次のようになる。

$$m \geq \sqrt{2}R/S$$

$R = 200$ (画素/インチ) の場合、通常使用されている最も粗い $S = 65$ (線/インチ) 以上のサイズの網点を識別するには $m \geq 4.4$ となる。回路構成や処理面の点からブロックサイズは小さい方が、また 2 のべき乗であることが望ましいので m の値としては 4、8 が適当である。以下、 $m = 4$ の条件でシミュレーションを行なった。

(2) 濃淡変化の検出

網点写真の他に、文字部や連続階調写真の輪郭部に位置するブロックも濃度変化が激しいと考えられる。従って、画信号中より網点領域のみを識別するためには、文字、輪郭部のブロックと異なるような網点領域の濃度変化特性を抽出する必要がある。文字、輪郭部では、文字のストローク、輪郭に沿って濃度の高い画素がかたまて現れる。そのため、ほとんどの濃度変化はストローク、輪郭と直交する方向にのみ現れる。一方網点領域では、網点がブロックサイズに比較して短い周期で配置されているので、ブロック内でも濃度の高い画素が分散している。そのため、濃度変化の発生に方向性はない。このような濃度変化の発生の違いより、ブロック内の濃度変化の回数を主・副走査方向に分けて求めれば、網点領域では両方向とも変化回数が多く、文字・輪郭部では片方向のみに変化が多くなる特徴を持つ。

濃度変化の検出にあたっては、次の点を考慮する必要がある。

- ① 読み取りセンサの分解能は必ずしも十分でない。そのため、網点周期が大きい場合を除き、網点構造が十分に分解されないため濃度差は一般に小さい。
- ② ノイズによる濃度変化を検出しないようにしなければならない。特に連続階調写真の背景領域や文書画像の余白部等でノイズ成分による微小な変化が多い。

上記①への対策として、ブロック内各画素の階調レベルをブロックの平均値で 2 値化 (0、1 に変換) する。その後、図 4.3.2 に示すように、主走査方向および副走査方向に連続する画素間で発生する 0/1 変化の回数 (それぞれ K_h 、 K_v) を求める。図 4.3.3 に各種原稿の画信号を 4×4 画素のブロックに分割し前述の方法で求めた (K_h 、 K_v) の出現頻度の例を示す。これにより、網点写真では、 K_h 、 K_v がともに多いものが頻発し、文字・輪郭部では変化があってもどちらか一方のみに多いことがある。従って、適当な基準値 T と K_h 、 K_v をそれぞれ比較し、 K_h 、 K_v がともに T 以

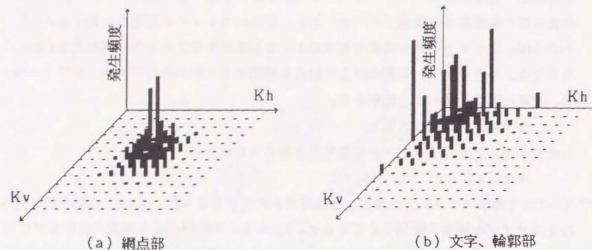


図4.3.3 濃度変化回数 (K_h 、 K_v) の発生頻度

上となるブロックを網点領域と判定すればよい。

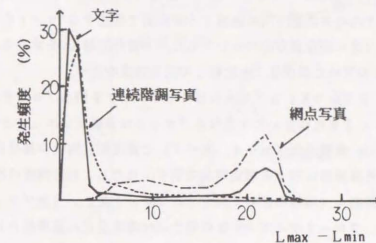
図4.3.4 は、各種原稿のブロック内階調レベルの最大値 L_{max} と最小値 L_{min} の差 $L_{max} - L_{min}$ の出現頻度の例である。連続階調写真の背景部や文書の余白部では $L_{max} - L_{min}$ の値の小さいブロックが多い。②の、ノイズの影響を受け網点領域と誤判定しやすいブロックはこの部分に含まれる。また、網点写真では $L_{max} - L_{min}$ の大きいブロックが多い。したがって、適当な基準値 P と $L_{max} - L_{min}$ を比較すれば、連続階調写真の背景部や文書の余白部を識別除去することができる。

4. 3. 3 ブロック分離変換 (BSET) 法による網点処理法

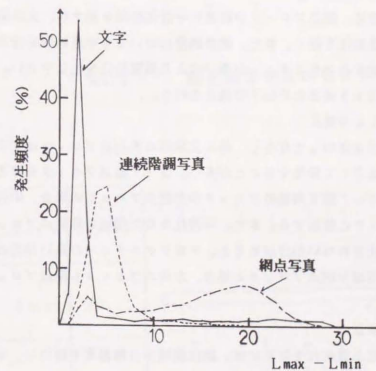
(1) 基本アルゴリズム

4.3.2節で述べた考え方により網点構造を識別処理するブロック分離変換 (Block Separate Transformation Method: BSET) 法の基本アルゴリズムを以下に示す。

- ① 画信号を 4×4 画素からなるブロックに分割する。以後の領域識別は、このブロック単位で行う。
- ② ブロック内の階調レベルの最大値 L_{max} および最小値 L_{min} を求める。
- ③ ブロック内の濃度変化 $L_{max} - L_{min}$ を求め、この値をあらかじめ定められた閾値 P と比較し以下の判定を行う。
 - a) $L_{max} - L_{min} < P$ ならば、非網点ブロックと判定し、以後の処理は行わない。
 - b) $L_{max} - L_{min} \geq P$ ならば、④以下の処理を行う。



(a) 8 画素/mm



(b) 16 画素/mm

$L_{max} - L_{min}$ 分布特性

図4.3.4 $L_{max} - L_{min}$ の分布特性

④ ブロック内の階調レベルの平均値で各画素を2値化(0, 1に変換)する。その後ブロック内の主走査方向に連続する画素間で発生する0/1変化の回数 K_h を求める。同様に副走査方向についても0/1変化回数 K_v を求める。

⑤ あらかじめ定めた基準値 T と比較して次の判定を行う。

a) $K_h \geq T$ かつ $K_v \geq T$ であればそのブロックを網点ブロックと判定する。

b) $K_h < T$ または $K_v < T$ となるブロックは非網点ブロックと判定する。

図4.3.5に、本識別法($m=4$, $P=4$)で濃度変化回数の基準値 T を変化させた場合の各種画像に対する判定精度を示す。ただし、判定精度は次式で定義する。

判定精度 = (領域を正しく判定したブロック数) / (全ブロック数)

同図より、ブロックサイズ 4×4 の場合には濃度変化の基準値として $T=4$ にとればほぼ網点領域が分離できることがわかる。

⑥ 網点領域と判定されたブロック内の各画素の画信号に 3×3 画素の平滑化フィルタを施し、網点構造を除去する(図4.3.6)。これにより網点構造による階調レベルの周期的な変動が除去され、連続階調写真と同様な画信号に変換される。

(2) 領域判定の補正

BSE T法では、網点ブロックの画素に平滑化処理を施すが、文字部などに平滑化を施すと画品質劣化を招く。また、網点画像においても平滑処理を行う領域と行わない領域が混在するとテクスチャーの違いによる画質劣化を生じやすい。そのため、領域判定精度を向上させるため以下の補正を行う。

① ブロックごとの補正

網点や文字は集中して存在し、特に文字部の誤判定ブロックは文字ストロークの末端部分で孤立して発生することが多い。従って孤立ブロックを除去するため、連続する3ブロック間で両端のブロックが非網点ブロックの場合、中央のブロックも非網点ブロックと修正する。また、平滑化された領域に非網点ブロックと判定されたため平滑化されない部分があると、そのテクスチャーの違いが目についてしまう。そのため、両端が網点ブロックの場合、中央のブロックも網点ブロックと修正する(図4.3.7)。

② 輪郭部の補正

輪郭部の画品質劣化を防ぐには、網点領域から輪郭部を検出し、平滑化を施さないようにすることが有効である。網点写真から輪郭部を検出するには平均濃度が急激に変化している場所をさがせばよい。BSE T法では濃度変化回数を求めるために 4×4 画素の平均画信号レベルを求めている。この値を利用し、現ブロックの平均画信号レベル X と、直前および直上のブロックの平均画信号レベル A 、 B から X との差の絶対値 $ABS(X-A)$ 、 $ABS(X-B)$ を求める(図4.3.8)。その後、あらかじめ定められた閾値 E を用い、 $ABS(X-A) \geq E$ 、または、 $ABS(X-B) \geq E$ とな

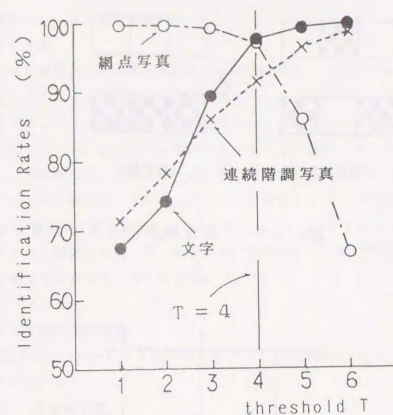
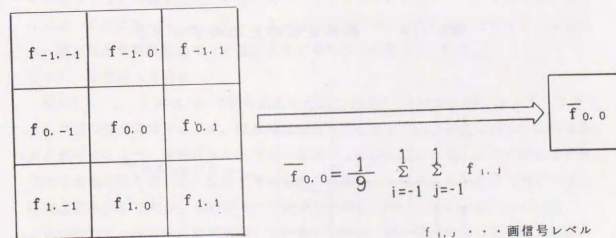


図4.3.5 網点画像領域の判定精度



平滑化フィルター

図4.3.6 網点領域の平滑処理フィルタ

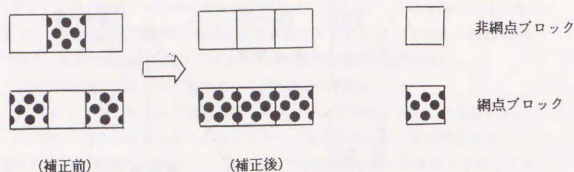


図4.3.7 孤立除去によるブロック補正

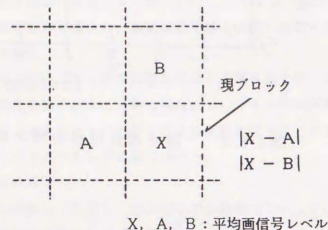


図4.3.8 輪郭検出のためのブロック

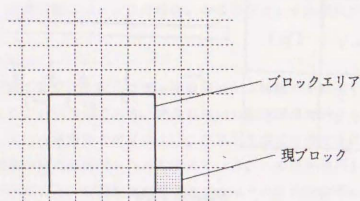


図4.3.9 ブロック補正のためのブロックエリア

るブロックを輪郭ブロックと判定する。

③ 網点識別精度の改善

網点ブロックは、原稿内の網点写真が存在する領域で集中して発生する。そこで、現ブロックの近傍のブロックの識別結果を調べ現ブロックの属性判定を行う。近傍に網点と判定されたブロックが多発していれば現ブロックが網点領域に属している確率が高いとみなし、(1)⑤で用いる閾値Tを小さくして現ブロックを網点と判定しやすくする。具体的には、現ブロックの以前に処理されたブロックの網点識別結果を調べ、定められた範囲内(ブロックエリア)の網点ブロックの個数Mpを求める(図4.3.9)。濃度変化の閾値としてT1、T2 ($T1 \leq T2$)を定めておき、あらかじめ定められた閾値Qを用いて、 $Mp \geq Q$ であれば変化回数の閾値Tを $T = T1$ とし、 $Mp < Q$ であれば $T = T2$ とする。

4.3.4 BSET法の処理特性

4.3.3節で述べたアルゴリズムによる処理結果について、計算機シミュレーションを行った結果を以下に述べる。

(1) 識別特性

図4.3.10に各種原稿に対する識別実験結果を示す。同図では、網点ブロックと判定され平滑化処理が施される部分を黒、非網点ブロック、または輪郭ブロックと判定され平滑化されない部分を白で示している。本識別法ではディザ画品質や符号量に最も関与する濃度変化に着目して識別を行っているため、網点写真で誤判定され平滑化されない部分も、そもそも濃度が高く網点ドットがつぶれた部分や濃度が低く網点ドットが小さいなどの濃度変化の小さい所であり、従って誤判定によるディザ画像や符号化効率への悪影響は少ない。また、文字原稿や輪郭部などの精細性を保存すべき部分も、補正処理や輪郭検出などを施すことで効果的に分離されている。

(2) 処理画品質特性

図4.3.11に、8画素/mmで読み取られた網点画信号(40~200線/インチ)に対する処理画の画品質特性を示す。画品質評価はそれぞれ8bits/画素で出力した処理画像と原画像を比べ、比較尺度カテゴリーを用いて評価した。また、出力には銀塩写真式の写真電送機を用いた。比較のため同図には識別なしで全面を平滑化処理した場合の画品質も示してある。本処理では、全面を平滑化処理したもの比べ50、75線/インチの網点サイズで画品質が劣化している。これは、粗い網点に対しては網点識別の識別精度が若干劣化し網点の構造が残った部分と平滑化された部分が混在するためである。平滑化された部分と網点の構造が残った部分のテクスチャーの違いが目につき画品質劣化につながっている。しかし、処理画をディザ化した場合にはテクスチャーの違いは目立たずあまり問題とならない。逆に、100線/インチ以上の線数では全面



(a) 写真原稿



(b) 連続階調写真部識別結果



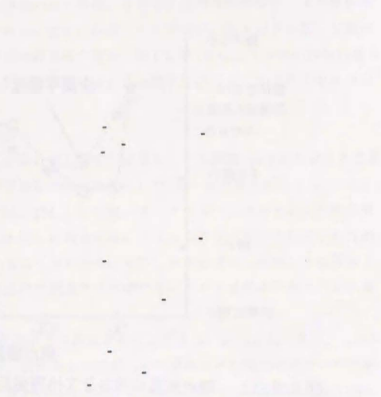
(c) 網点写真部識別結果

図4.3.10 網点領域識別結果例（黒：網点と判定された領域）（そのⅠ）

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
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、サ
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
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
ITの活動は、つねに時代の最先端を行くもので、CICITの活動
まは世界の国際通信の活動方向であるといえる。

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
っ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てもあ

(d) 文字原稿



(e) 文字部識別結果

図4.3.10 網点領域識別結果例（黒：網点と判定された領域）（そのⅡ）

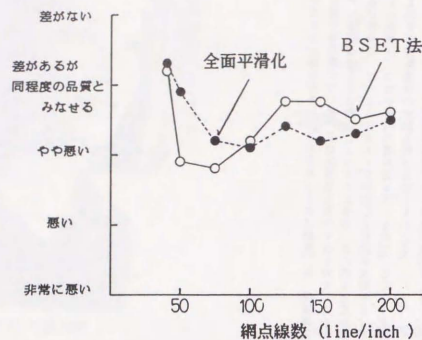


図4.3.11 網点写真のBSET処理画品質 8画素/mm

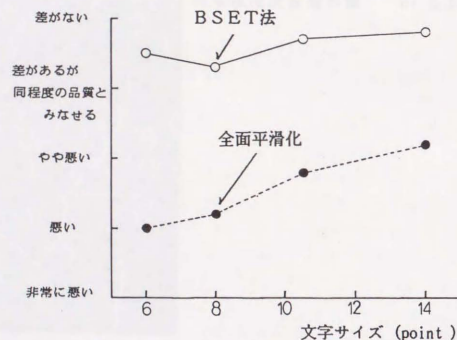


図4.3.12 文字部のBSET処理画品質 8画素/mm

を平滑化処理するより画品質が良い。これは、BSET法では輪郭検出により輪郭部の精細性が保存されたためである。また、40線/インチでは、ほとんどの部分が網点と判定されず平滑化されないため画品質が良い。図4.3.12には、文字部の評価結果を示す。文字については、補正処理や輪郭検出により誤判定が少なく小さな文字についても画品質が良い。

(3) ディザ画像の品質改善

ディザ化時にモアレの発生により画品質劣化が著しい1.6画素/mmで読み取られた網点画信号のディザ処理画の画品質評価結果を図4.3.13に、画像例を図4.3.14に示す。原信号をディザ化した場合には、100、150線/インチでモアレの発生により画品質が劣化している。BSET法を施した場合には、モアレの発生が抑圧されているため画品質が著しく改善されていることがわかる。また、画素密度が8画素/mm程度と粗い場合には、画素サイズに比べて網点サイズが小さいため連続階調写真に近い性質となり問題はない。

図4.3.13には原信号を固定閾値で単純に2値化した場合の画品質を示すが、これにより、65線/インチ程度の粗い網点を1.6画素/mmで読み取った場合にはディザ法を用いなくとも品質の良い出力画が得られることがわかる。従って、前述のBAT法とBSET法を組み合わせれば、広範囲の網点画像を品質良く処理できると期待できる。これについては後述する。

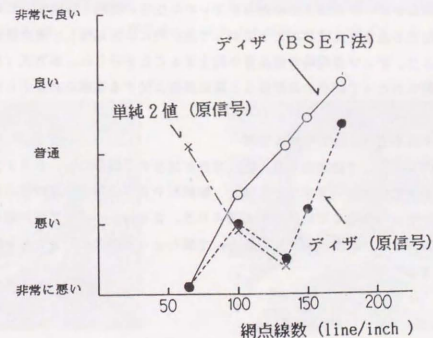


図4.3.13 ディザ画品質特性 (1.6画素/mm)

また、図4.3.14(j)にはBSETによる処理後の文字原稿を固定閾値で2値化した例も示してある。これより、文字において処理による画品質劣化がほとんどないことがわかる。同様に、連続階調写真をディザ化する場合にもBSET法による画品質劣化はほとんどみられない。

(4) BAT法との組合せ

図4.3.15にBSET法による処理を施した後、BAT法により2値化した例を示す。本例では、16画素/mm、65線/インチの網点に対してもモアレの発生が押さえられていることがわかる。また、新聞のように文字、網点写真が混在している場合でも、効果的な2値化が行われている。

4. 4 まとめ

(1) BAT法による文字/写真領域分離ディザ表現

ブロックごとに濃淡の変化より文字/写真の領域を分離して、別々の処理を行うこと(BAT法)により、文字/線画の画品質低下はほとんどなく濃淡を疑似的に表現することが可能となった。本方式は論文発表後NTTのINSモデルシステムにおける超高速ファクスに適用してその性能を実証した。その後、各種代替方式が発表されている(67)~(78)が、本処理は回路構成が簡単で高速処理が可能であるため、ファクシミリ等の通信装置、各種入出力装置、画像処理の前処理などに適用が可能である。

(2) 網点画像の識別処理

網点画像をディザ表現する場合のモアレの発生等の問題を解決するため、画信号中の網点領域を濃淡変化回数により識別して選択的に平滑処理して網点構造を除去することにより、ディザ表現時の画品質が向上することを示した。本方式(BSET法)は、処理にあたって網点の周期性など網点構造に関する知識を必要としない特徴を有する。

(3) BAT法とBSET法の併用

原稿内に文字、連続階調写真、網点写真が混在する場合にも、BAT法とBSET法を併用すれば細かい文字などを除き、輪郭部や文字部などの精細性が損なわれることなくモアレの発生のない出力画が得られる。さらに、BSET法の効果がみられない65線/インチの網点を16画素/mmで読みとった画像に対しても有効に2値化が可能となる。



(a) 16画素/mm, 65線/インチ (原信号)



(b) 16画素/mm, 65線/インチ (BSET法)



(c) 16画素/mm, 100線/インチ (原信号)



(d) 16画素/mm, 100線/インチ (BSET法)



(e) 16画素/mm, 133線/インチ (原信号)



(f) 16画素/mm, 133線/インチ (BSET法)

図4.3.14 ディザ画像の画品質改善効果 (その1)



(g) 16画素/mm, 150線/インチ (原信号)



(h) 16画素/mm, 150線/インチ (BSET法)

うた1 余力打不 検部作
ちへ2 下主位汗 常計長
びも3 治元石目 原程配
ゆが4 仁行本江 客特東
わそ5 互米山中 理南亮

ほうた1 余力打不 検部
ぬちへ2 下主位汗 常計
けびも3 治元石目 原程
きゆが4 仁行本江 客特
はわそ5 互米山中 理南

(i) 16画素/mm, 文字原稿単純2値 (原信号) (j) 16画素/mm, 文字原稿単純2値 (BSET法)

図4. 3. 14 デザ画像の商品質改善効果 (その2)



(a) 16画素/mm, 65線/インチ (BAT)



(b) 16画素/mm, 65線/インチ

(近似BSET法+BAT)



(c) 16画素/mm, 100線/インチ (BAT)



(d) 16画素/mm, 100線/インチ

(近似BSET法+BAT)



(e) 16画素/mm, 133線/インチ (BAT)



(f) 16画素/mm, 133線/インチ

(近似BSET法+BAT)

図4. 3. 15 BSET, BATによる2値化画像 (その1)



(g) 16 画素/mm, 150 線/インチ (BAT)



(h) 16 画素/mm, 150 線/インチ
(近似BSET法+BAT)



(i) 16 画素/mm, 新聞原稿
(近似BSET法+BAT)

図4.3.15 近似BSET, BATによる2値化画像 (その2)

第5章 背景レベルとコントラストの自動識別と2値化処理

5.1 まえがき

4章で述べた適応処理により、印刷物のように十分なコントラストを有する画像については、高品質な疑似中間調表現が可能となったが、コントラストの低い文字画像については、画品質の劣化が避けられなかった。その理由は領域識別が濃淡変化の大小によって行われているためである。すなわち、文字等の2値画像の部分は濃淡変化が大きい性質を利用しているので、コントラストの低い文字等では濃淡変化が小さいため写真部分と区別できなくなる。その結果、白黒画素を混在させて濃淡を表現するため、分解能が低下し文字品質が劣化する。

従って、鉛筆書きなどのコントラストの低い文字画像と写真等の濃淡画像を自動的に適応処理することは、ディザ法等の従来の疑似中間調処理アルゴリズムの範囲内では不可能であり、原画像の背景となっているレベル（通常白、以下背景レベルとよぶ）やコントラスト等を自動識別する機能が必要となる。

画像の2値化については、4章で述べたように濃淡画像を疑似中間調表現の場合と、2値的な濃度分布をもつ画像の2値化のように濃淡表現を必要としない場合の2種類があるが、従来これらは全く独立に検討されてきた。そのため、疑似中間調による濃淡表現を前提とする場合に、文字等を2値化するための閾値設定法は検討されていない。

濃淡表現を必要としない文字等の領域に限った場合でも、原画像の背景レベルやコントラストの異なる画像に対して同一の閾値を用いたのでは、白または黒の細線がつぶれたりかすれたりして、全ての画像を解像度良く2値化処理することは出来ない。そのため、各種画像に対して最適2値化処理を行うために閾値を自動設定する手段としては、たとえば、一画面の画信号を一度蓄積して画信号分布のヒストグラム等を用いて行う方法、複雑さが最小になるように閾値を設定する方法など種々検討されている^{(71)~(73)}。しかし、大容量のメモリを必要とし、処理が複雑で回路規模が大となるばかりでなく、一画面を入力後識別処理を行うため、処理時間が長くなるとともに操作性を悪くする。

本章では、大容量のメモリを使用することなく、画信号の入力と同時に実時間で画像中の背景レベルと黒レベルを自動識別し、この結果を利用してBAT法の領域判定のパラメータを決定するとともに、各領域ごとに閾値を自動設定する方法について述べる^{(74)~(75)}。

5.2 背景レベル、黒レベルの判定処理

5. 2. 1 考慮すべき事項とアルゴリズムの考え方

背景レベルおよび黒レベルは、それぞれ画像中の最も白い部分と黒い部分に対応する。本処理法においては、種々の画像への適応性や実時間処理等の点から、以下の点を考慮した。

① 逐次処理

高速処理を可能とし、しかも簡単な回路構成で実現するため、ライン順次に入力される画信号に対して、パイプライン方式による逐次処理とする。

② 写真画像あるいは、文字画像の行間等での誤判定がないこと

写真画像では、1ライン上の画信号が全て中間レベルの灰色であって背景レベル、黒レベルともに存在しない場合が多い。また、文字画像の行間では、全て背景レベルであって黒レベルが存在しない。従って、これらの領域のレベルの最大値、最小値よりそれぞれ背景レベル、黒レベルを求めると誤った結果を招くので判定領域より除外する必要がある。そのためには、次のような性質を利用することができる。

- ・文字のない行間等ではコントラストが小さい。
- ・写真部分では背景レベルの画素が少ない。（非背景レベルの画素が多い）
- ・写真部分では、濃淡変化の大きいブロックが少ない。

③ 画像ノイズ、濃度むらの考慮

実際の画像では、背景部分、黒部分ともにノイズや濃度むらの多い場合が多い。従って単純に、最も白い画信号レベルを背景レベル、最も黒いレベルを黒レベルとするのは適当ではなく、これらノイズや濃度むらを考慮して、小数の異常レベルは影響しないようにする必要がある。

5. 2. 2 処理アルゴリズム

背景レベルW、黒レベルBの初期値を設定した後、mラインごとの処理により下記の値を算出する。

(1) 背景レベル、黒レベルの候補値(w、b)の検出

前記5.2.1節③の条件を満足して、小数の異常濃度の画素の影響を少なくするためには、図5.2.1に示すようにカウンタを用いる構成とすればよい。

値 w_1 を示しているアップカウンタに順次入力される画信号Lを w_1 と比較し、 $L > w_1$ なる信号が N_1 回入力されるとアップカウンタの出力を1だけアップする。値 b_1 を示しているダウンカウンタに順次入力される画信号Lを b_1 と比較し、 $L < b_1$ なる画信号が N_2 回入力されるとダウンカウンタを1だけダウンさせる。 N_1 、 N_2 の値を適当に選べば、mラインの画信号の入力終了時点での w_1 、 b_1 の値はそれぞれ背景レベル、黒レベルの候補値w、bを表している。これらの候補値は以下のように、背景レベル、黒レベルを表しているか否かの検証を行った上で、

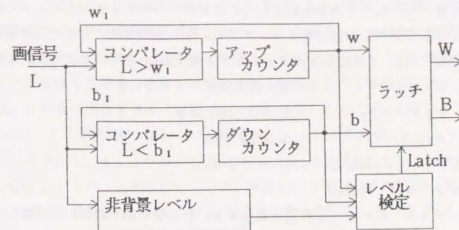


図 5.2.1 レベル判定処理の構成

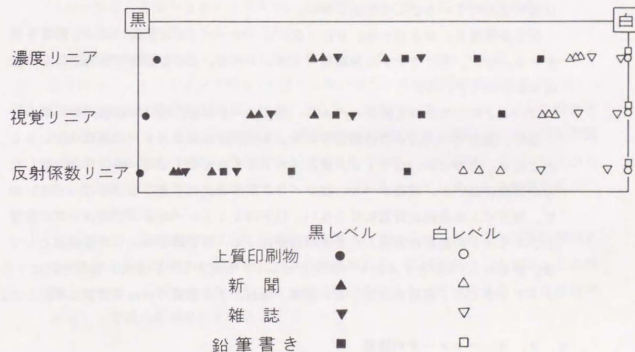


図5.2.2 各種原稿の背景レベル、黒レベル（実測）

それぞれの値W、Bとして設定する。なお w_1 、 b_1 の初期値については後述する。

(2) 非背景レベルの画素数のカウント

非背景レベルにある画素の数として、所定のレベル k より小さいレベルすなわち $L < k$ なる画信号 L の数 R をカウントする。 R を全画素数(1ライン画素数を N_g とすれば $m \cdot N_g$)で正規化した値 $r = R / (m \cdot N_g)$ を用いて次の仮判定を行う。

$r < r_1$ なら背景領域・・・Ⅰ

$r_1 \leq r < r_2$ なら文字図形領域・・・Ⅱ

$r_2 \leq r$ なら写真領域・・・Ⅲ

ただし、 r_1 、 r_2 は固定パラメータである。

(3) コントラストの算出

コントラスト $D = w - b$ の値を算出する。 D の値を所定値 D_1 と比較して以下の判定を行う。

$D < D_1$ なら背景領域・・・Ⅰ

$D \geq D_1$ なら非背景領域・・・Ⅱ

(4) 背景レベルW、黒レベルBの判定とパラメータの更新

(2)(3)において領域Ⅱと判定された場合($r_1 \leq r < r_2$ かつ、 $D \geq D_1$)のみ、 w 、 b の値をそれぞれ新しい背景レベルW、黒レベルBの値として更新する。他の場合は、写真領域または画像の記述されていない背景領域であり、 w 、 b の値は誤判定されているとして更新しない。

判定基準値 D_1 および k は、 $D_1 = D$ 、 $k = w - c$ (c は定数)により値を更新する。また、各カウンタは初期値にリセットする。この更新は領域判定結果の如何にかかわらず行う。

このようにして求めた背景レベルW、黒レベルBの値を用いて各種画像処理を行う場合、画信号の入力と当該画信号のW、Bの決定には m ラインの遅延が生じることとなる。そのため、 m ラインの遅延メモリをもたせた上で同一画信号で処理した方が精度は良いが、背景レベル、黒レベルが急激に変化することはほとんどないで、数ラインの遅延は問題にならない。以下のシミュレーションでは $m = 2$ に設定し、2ラインの遅延は許容したまま処理を行った。判定処理のための情報源としては、黒を0、白を31とする32レベル(5ビット)を利用した。また、画素密度はファクシミリ等で多く適用されている8画素/mm、16画素/mmを対象に検討した。

5. 2. 3 パラメータの設定

(1) W、Bの初期値

背景レベルW、黒レベルBの初期値は判定処理を行わない場合の値すなわち、それぞれダイナミックレンジの最大値(31)、最小値(0)に選ぶ。

(2) w、bの初期値

図5.2.2に各種原稿の背景レベル、黒レベルの値を濃度計で測定した結果を示す。図では、白紙濃度(反射濃度約0.08)と反射濃度1.8の間を3種類の尺度で示している。視覚リニアの尺度は視覚にリニアといわれているマンセルの明度関数に従って設定したものである。特徴的な原稿としては低コントラストの新聞があり、背景レベルが高く黒部分の濃度も低い。また、鉛筆書きの文字線画は濃度が低く反射濃度0.4程度の場合もある。 w_1 、 b_1 の初期値をともに w_0 とすると、5.2.2節(1)の w 、 b の求め方から明らかなように w_1 、 b_1 の最終値は $w_1 \geq w_0$ 、 $b_1 \leq w_0$ となるので、 w_0 より暗い背景レベル、 w_0 より明るい黒レベルは判定できない。図5.2.2より、各種原稿について、背景レベルの存在する範囲と黒レベルの存在する範囲は重ならないので、 w_0 は両者の範囲の境界部選ばばよい。以下のシミュレーションでは、特に断わらない場合は、読み取ったまま階調補正しない場合を想定して、反射係数リニアの信号を用い $w_0 = 20$ とした。

(3) 非背景レベル画素数カウントのパラメータ、c

図5.2.3は各種画像の信号レベルのヒストグラムである。背景部分にはかなり大きい濃度むらがあり、 c の値がこのむらに比べて小さすぎると、非背景画素カウントのしきり値 K の値が大きくなり、背景レベルの画素数を小さくカウントしてしまうこととなる。背景部の濃度むらが特に多い新聞等を考慮して、その背景レベルの拡がり範囲から $c = 6$ とする。矢印で示すW、Bについては後述する。

(4) 写真領域の判定パラメータ(D_1 、 r_2)

大部分の原稿ではコントラスト値はダイナミックレンジの1/2以上であるので、以下のシミュレーションでは $D_1 = 16$ とした。また、連続階調の写真画像ではほとんどの画素が非背景画素としてカウントされる。したがって、 $r_2 = 1/4$ に設定すれば、1ライン上で1/4程度以上の幅を有する写真領域を識別できる。写真領域の幅が1/4未満の場合は文字領域と区別できないこととなるが、文字/写真の混在する印刷物では通常、文字のコントラストが大きいので、W、Bの判定誤差は小さくその影響は小さい。

ところで、印刷物中の写真は通常網点表現されているが、その場合写真領域であるにもかかわらず細かい濃淡変化がある場合が多く、誤判定が生じやすい。この対策としては、4章で述べた方法により網点構造を除去し、その結果得られる画信号に対して本章の処理を行えばよい。

5. 2. 4 背景レベル(W)と黒レベル(B)の判定シミュレーション例

5.2.3節で設定したパラメータによるW、Bの判定値の一例を図5.2.3に矢印で示す。図5.2.4は、鉛筆書き、新聞、ジャンコビーの各種画像を合成して、背景レベル、黒

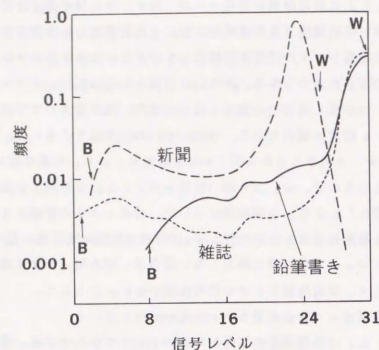


図5.2.3 各種画像のレベル分布 (反射係数リニア)

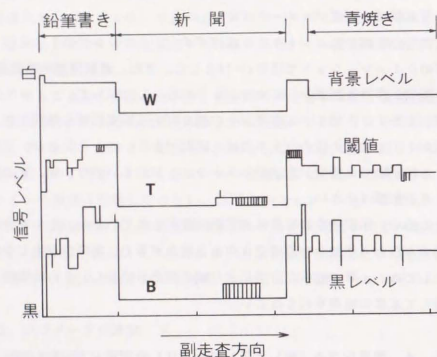


図5.2.4 背景レベル、黒レベルの判定値変化例

W	B	R	H	W	B	R	H	W	B	R	H
31	9	380*	80	26	3	707	104	31	0	1374	1
31	8	467*	80	26	3	717	104	31	0	1384	1
31	8	449*	84	26	3	744	87	31	0	1383	1
31	8	417*	84	26	3	757	87	31	0	1400	1
31	7	438*	85	26	3	794	91	31	0	1353	4
31	8	422*	85	26	3	752	91	31	0	1326	4
31	9	427*	85	26	3	687	95	31	0	1321	6
31	9	435*	85	26	3	716	95	31	0	1344	6
31	9	399*	80	26	3	762	85	31	0	1322	4
31	10	367*	80	26	3	724	85	31	0	1329	4
31	9	349*	66	26	3	769	98	31	0	1304	2
31	9	320*	66	26	3	814	98	31	0	1331	2
31	9	254*	70	26	3	726	112	31	0	1475	8
31	8	197*	70	26	3	761	112	31	0	1460	8
31	10	135*	41	26	3	769	102	31	0	1488	3
31	10	72	41	26	3	701	102	31	0	1302	3
31	10	29	22	26	3	807	108	31	0	1317	5
31	10	3	22	26	3	840	108	31	0	1287	5
31	10	0	6	26	3	817	127	31	0	1277	3
31	10	0	6	26	3	804	127	31	0	1506	3
31	10	1	0	26	3	863	116	31	0	1512	5
31	10	3	0	26	3	968	116	31	0	1354	5
31	10	30	0	26	3	938	133	31	0	1401	3
31	10	104	0	26	3	945	133	31	0	1408	3
31	10	114	21	26	3	933	136	31	0	1409	2
31	9	222*	21	26	3	795	136	31	0	1436	2
31	7	337*	52	26	3	771	128	31	0	1486	1
31	8	304*	52	26	3	776	128	31	0	1563	1

(a) 文書

(b) 新聞

(c) 写真

図5.2.5 レベル判定のシミュレーション例 ($N_0 = 1024$)

B: 原稿黒レベル、 R: 非背景レベル
H: 濃度差大ブロック数
黒: 0、 白: 31

レベルの変化の多い画像を人為的に作成し、これを対象としてレベル判定した結果である。各画像領域が変わるごとにW、Bともによく追隨していることがわかる。図5.2.5は $m=2$ とした場合のシミュレーション例である。各種画像についてW、Bの判定値が2ラインごとに更新され変化する様子を、左の2行に、白(W)を31、黒(B)を0とするレベル値で示している。*印はWおよびBの値の更新が行われることを示す。(a)は図5.2.4の鉛筆書きの部分の例である。文字列から行間に移る境界部で小数の黒画素が存在するためカウント値bが大(白寄り)となり、Bの値が大きく判定されている。これは文書画像全般にいえることで、図5.2.4でBの判定値に変化が大きい理由であるが、後述するように画品質には影響しない。また(b)に示す新聞の例のように、文字等の黒部分が多いと非背景レベルの画素数Rの値が大きくなりすぎ($r_2 \leq r$)、2値画像としての判定条件を満足しなくなることがある。これについては、5.2.1節②の条件を利用して、 $r_2 \leq r$ であっても $r < r_3$ (r_3 は $r_2 < r_3$ なる定数)であって濃淡変化の大きいブロックの数Hが大きいたまは、 $r_1 < r \leq r_2$ の場合と同等に扱うことで判定精度が向上した(ブロック分割およびHの求め方については5.3節を参照のこと)。図5.2.5では、ブロックサイズを 4×4 にとった場合のHの値を示しており、(a)、(b)ともにRが大きい場合はHも大となるので、補助判定としてHの値が使えることがわかる。(c)は写真画像の場合であって、Rは大であるが、Hが小となるのでW、Bともに初期値から変化しない。

5.3 濃淡表現を伴う2値化処理

2値化処理の方法としては、濃淡表現の必要がある場合とない場合で若干アルゴリズムが異なる。本節では、高品質な濃淡表現を必要とする場合の2値化処理について述べる。ここで述べる方法は4章で述べたBAT法にW、Bのレベル判定を付け加えて処理パラメータの値を制御することにより、低コントラスト画像にまで適用できるように拡張したものである。

5.3.1 処理アルゴリズム

本処理法の基本手順は次の通りである。(図5.3.1)

- ① 画信号より背景レベルW、黒レベルBを順次判定する。同時に以下の処理を行う。
- ② 画信号を $m \times m$ のブロックに分割する。
- ③ 各ブロックの画信号レベルの最大値 L_{max} 、最小値 L_{min} を求める。
- ④ $P = (W - B) / 2$ で与えられる基準値Pと比較して次の処理を行う。

$L_{max} - L_{min} > P$ の場合:

分解能が重要な文字等の領域と判定し、WとBの中央値、すなわち

$$T = 1/2 (W - B)$$

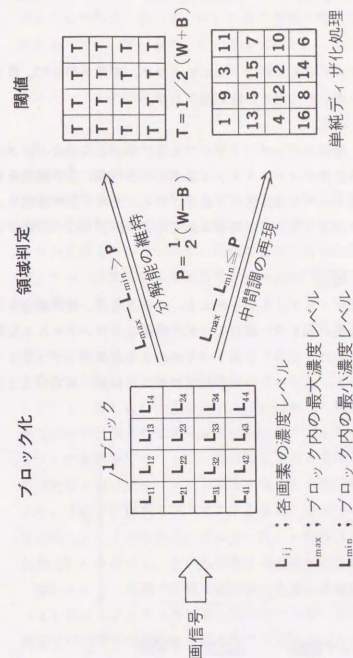


図5.3.1 背景レベル、黒レベルの判定を伴うBAT法の基本構成 (MBAT)

の閾値により2値化する。

$L_{max} - L_{min} \leq P$ の場合：

濃淡表現の必要な写真等の領域と判定し、ディザ閾値により2値化する。

4章で述べた方法と異なる点は、P、Tおよびディザ閾値の値がW、Bに依存して変化する点である。以下、本処理法をMBAT (Modified Block Adaptive Thresholding) とよぶ。なお、5.2節で述べた、濃度変化の大きいブロック数Hの判定には、本領域判定結果を用いれば良い。また、ディザ閾値の扱いについては5.3.2節で述べる。

5.3.2 ディザ閾値

ディザ閾値 (ディザマトリクス) としては以下に示すように、背景レベルW、黒レベルBに依存する場合としない場合の2通りの設定法がある。

(1) 濃淡画像のコントラスト固定

W、Bの値にかかわらず1種類のディザマトリクスを用いる。この場合、コントラストの低い濃淡画像はそのままのコントラストで表現される一方、文字線画等はW、Bの判定により最適閾値Tにより高品質に2値化される。また、色地原稿は、背景部がディザ化され灰色に表現されるなど原稿に忠実に濃淡表現を行う特徴がある。

(2) 濃淡画像のコントラスト補正

W、Bの値によってディザマトリクスを切り換える。この方法は、背景部分を白レベルに対応させて全白で表現、最も黒い部分を全黒で表現してコントラストを拡大するものである。そのためには、コントラストが十分あるときのディザマトリクスを X_{ij} とすれば、背景レベル、黒レベルの判定結果がそれぞれW、Bであるとき

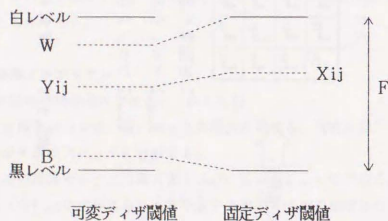


図 5.3.2 可変閾値の設定

のディザマトリクス Y_{ij} を次式により求めればよい。(図5.3.2)

$$Y_{ij} = X_{ij} [(W - d) - B] / F + B$$

ただし、dは背景部にノイズによる黒ドットが生じないようにレベルを白側にシフトさせるための補正值、Fは処理のダイナミックレンジ (0~31の32階調なら $F=31$) である。この方法はAGC (Automatic Ground Control) の効果があるため、新聞など色地原稿を処理したとき背景を白くできる。一方、W、Bの値によってディザ閾値を切り換えるため、わずかなW、Bの変化によって濃淡画像にムラが生じることがある。従って、W、B等の判定に高い精度が要求される。なお、使用条件によっては、W、Bの一方のみを可変とし、他方を固定とする方法も考えられる。

以上のように、(1)、(2)それぞれの方法に特徴を有するが、以下計算機シミュレーション結果を述べる。

5.3.3 計算機シミュレーション

(1) 文字/線画の画品質

原画信号のコントラストとMBAT法の処理画像の品質の関係を図5.3.3に、処理画例を図5.3.4に示す。比較のため、背景レベル、黒レベルの判定を行わない場合の画品質をあわせて示す。処理対象画信号は、原画像の画信号レベルX (0~31の32レベル) を次式により画信号レベル X_1 に変換して低コントラストの画像を人為的に作成し、使用した。

$$X_1 = 31 - \alpha (31 - X) \quad \alpha: \text{変換係数}$$

図5.3.3におけるコントラスト値は、背景レベルと黒レベル (ヒストグラムのピーク位置) の間の差と画信号処理系のダイナミックレンジ (図5.3.2のF) の比で表している。図5.3.4からわかるように、レベル判定を行わない(a)の場合にはすべてディザ表現されて画品質劣化が生じているのに対し、レベル判定にもとづくパラメータ制御を行う(b)の場合はほとんど劣化が見られず、高コントラスト画像を単純に2値化する(c)の場合と同程度の画品質が得られている。これらの結果より、本処理法が低コントラストの文字、線画等の2値画像に対して著しい改善効果を生じることがわかる。特に $\alpha=0.7$ の画像は反射係数リニアの尺度で見れば反射濃度0.4に相当し、淡い鉛筆書きの画像も良好に表現できる。

図5.3.5は、実際の原稿を読み取った後、各種方法により2値化したものである。

(a)はG3ファクスの白黒2値のコピーモードで記録したものであるが、淡い鉛筆書きの文字がほとんど再現されていない。(b)の場合はディザ表現されており、かろうじて読めるものの極めて画品質が悪い。(c)は、5.3.2節の(1)で述べたコントラスト固定の場合であって淡い文字もほぼ良好に再現されている。なお、新聞背景等の色地はディザ表現により忠実に再現している。(d)は、コントラスト

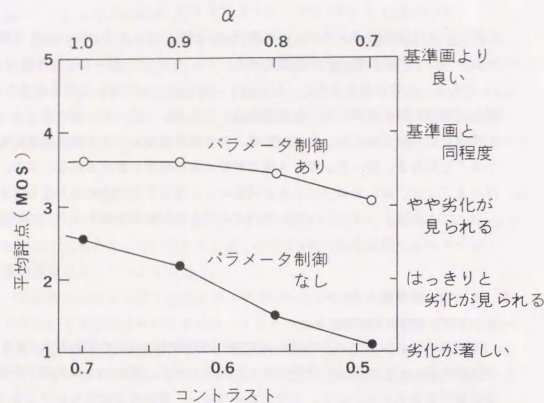


図5.3.3 2値画像のコントラストとBAT法による画品質

- (a) BAT法 ($\alpha = 0.7$)
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)
- (b) MBAT法 ($\alpha = 0.7$)
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)
- (c) $\alpha = 1$ の画像を単純2値化
 国際諮問委員会は、その任務の遂行に当たつて、
 年モントルー条約第187号)
 料金の問題について研究し、および意見を表明
 際電信電話諮問委員会(CCITT)は、電信
 年モントルー条約第187号)

図5.3.4 各方法による処理画例 (8画素/mm)

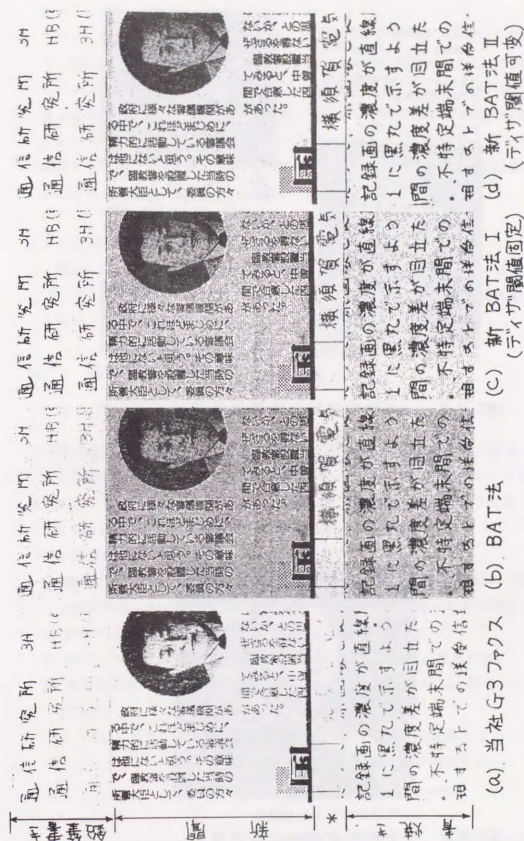


図5.3.5

各種2値化処理法の比較 (8画素/mm)

◀大容量 (400Mb/s) デジタル伝送
伝送路のデジタル化をねらいとして、昭和51年に20GHz帯を用いた準ミリ波PCM (20G-400M) 方式を、また昭和52年に同軸ケーブルによる超高速PCM (PCM-400M) 方式を、それぞれサービスに供しました。



光ケーブル伝送▲
低損失・広帯域などにすぐれた特長をも
るによる伝送方式の実用化を進め、昭和56
中小容量方式をサービスに供しました。ま
Mb/s 大容量方式の現場試験を行っています。



ファクシミリ通信▶
昭和56年にファクシミリ
通信の大衆化・利便化をめ

図5.3.6 文字写真混在画像の処理例 (8画素/mm)



図5.3.7 全面写真画像の処理例
(100線/インチ網点、16画素/mm)

補正した場合であって、A G C がかかっているため色地原稿の背景も白く表現されている。

なお、先に図5.2.4、図5.2.5で示した背景レベルW、黒レベルBの自動判定結果は、図5.3.5の画像の場合の値である。図5.3.5から明かなように、鉛筆書き部やジアソコピー部で黒レベルB、閾値Tの変化が大ききことによる画品質への影響はほとんどない。文書の中に小さな写真が入っているような場合には、写真部分まで含めて文字図形領域と判定して黒レベルBや背景レベルWが変動すると写真部分に濃淡ムラが生じやすい。そのような場合には、5.3.2節(1)の濃淡画像コントラスト固定の方法をとることにより濃度ムラを避けることができる。

(2) 濃淡画像の品質

図5.3.6は、図5.3.5(d)と同一条件のもとに処理した文字写真の混在画像、図5.3.7は16画素/mmで処理した全面写真画像である。いずれも濃淡画像に濃度むらではなく高品質に再現されている。

5.4 濃淡表現を必要としない2値化処理

5.4.1 処理アルゴリズム

濃淡表現を必要としない低コントラスト原稿を高品質に2値化する場合、重要なことは2値化の閾値を最適化することのみとなる。背景レベルW、黒レベルBの判定法は基本的には濃淡表現を行う場合と同じであるが、写真の濃淡表現を必要としないので、4.2節で述べたような基準値Pによる領域判定は必要なく、アルゴリズムは次のように大幅に簡略化できる。

- ① 画信号より背景レベルW、黒レベルBを順次判定する。この場合、写真画像領域を識別する必要はないので、非背景レベルの画素の割合rによる判定は必要ない。
- ② 画信号を4×4のブロックに分割する。
- ③ 各ブロックの画信号の最大値 L_{max} および最小値 L_{min} を求める。
- ④ 背景領域と非背景領域を区別するため、所定値Zと比較し、次のように閾値を設定する。

$L_{max} - L_{min} > Z$: 非背景領域であるので、分解能をよくするため、局所的レベル変化範囲の中間値である

$$T_1 = 1/2 (L_{max} + L_{min})$$

の閾値により2値化する。

$L_{max} - L_{min} \leq Z$: 背景領域の可能性が高い。この場合、局所的レベル変化は小さく前記 T_1 の値は背景レベルに近い値とな

横須賀電気通信研究所 3H /アソシノ
横須賀電気通信研究所 HB(55) ファクシミリ
横須賀電気通信研究所 3H(55)



横須賀電気通信研究所

るには、原画と記録画の濃度が直線関係 S に変
この他に、図1に黒丸で示すような量 もの
ベルを、各階調間の濃度差が同立たない ds
選ぶ必要がある。不特定端末間での通信 $\Delta D=0$
には、これを実現する上での送受信端末 解くと

図5.3.8 濃淡表現を行わない処理例 (8画素/mm)

り、閾値としては不適当である。そのため、マクロ
な判定値 W 、 B より、

$$T_2 = 1/2 (W + B)$$

の閾値により2値化する。

この場合、写真領域の識別は必要としないので、 W および B を判定する過程でコントラスト判定のパラメータ D_1 は、原稿や読取系のノイズや濃度むらよりも大きい範囲で設定すればよく、濃度むらやノイズが少ない場合は D_1 の値を特に小さくできる。これにより、画信号のコントラストが小さい場合でも良好に2値化処理が行える。特に文字等の領域では局所的閾値 T_1 を用いるので分解能が良くなる。

5.4.2 計算機シミュレーション

図5.3.8 は図5.3.5 と同一の画像を処理した出力例である。濃淡表現を行う場合に比べて、鉛筆書き部分の低コントラスト画像の品質が良くなるとともに新聞部分の解像度も良くなっていることがわかる。

5.5 まとめ

画像の背景レベル、黒レベルを自動識別し、これにもつぎ前記疑似中間調表現像のパラメータを自動制御する方法を提案し、その有効性を確かめた。

本処理法により、限定された範囲内であるが、「2値/写真」、「濃い/薄い」、「色地原稿」等の選択を行うことなく、各種の画像を簡単な回路で高速高品質に2値化処理することが可能となった。また、本処理法を適用する対象を、濃淡表現を必要としない文字線画等の2値画像に限定すれば、極めて低コントラストの原稿も含めて、実時間で高品質2値化できる。

なお、本論文ではBAT法のパラメータを制御する方法を述べたが、この考え方は他の疑似中間調法にも適用できると考えられる。また、同一主走査線上を複数の画像領域に区別して判定するように本手法を拡張すればより精度の良い処理が可能となる。

第6章 疑似中間調画像の伝送

6. 1 まえがき

疑似中間調画像の伝送方式としては以下の手段が考えられる。

① 文書等のバイナリ画像用の標準符号化方式であるMRでそのまま送れる方式。この場合、文字等の文書画像と濃淡情報を含む画像を区別することなく符号化伝送できる。現在、情報量を圧縮する符号化方式で標準化されているものとして、G3ファクシミリに用いられているモディファイドハフマン(MH)やモディファイドリード(MR)のようなランレングス符号化方式がある。しかし、ディザ法で中間調を表現すると、文字等とは統計的性質が異なり短いランが多発するため、MHまたはMR符号化方式を用いると一般に著しく符号量が增大する。

② 疑似中間調画像の統計的性質に合わせて、ディザ専用の符号化方式を用い情報圧縮を行うもので、高い圧縮比が得られる。しかし、ディザ画像用の復号機能を持つ装置でしか受信できない問題がある。また、高い圧縮比を得るためには一般にディザ表現法をあらかじめ定めておく必要がある。しかしディザ表現法は各出力装置の性能、種類や用途によって異なる場合が多く、送信側で一元的に決めることは困難である。

③ 3章で述べたような手段で、濃淡情報をそのまま符号化して伝送し、受信側で原画像を再現した後、疑似中間調に変換して出力する。この方法は疑似中間調処理されてない連続階調の画像情報を符号化するため、不必要な情報まで符号化することになり一般に符号量は多い。

画像を最終的に白黒2値で疑似中間調表現する場合は、①の方式により高い圧縮比が得られるならば、文字等の場合と区別して符号化方式を切り替える必要のないこの方式が最も優れていることは明かである。従来、②の観点からの検討はいくつか行われている⁽⁶⁰⁾⁻⁽⁶²⁾が①についてはほとんど検討されていない。

そのため本章では、まず6.2節で①に関し、MHあるいはMR方式により高い圧縮比を得るための疑似中間調表現の閾値配置ならびに、文字/写真等の原稿種別を意識することなく、高品質/高能率の伝送を行う手法について述べる。つづいて6.3節では、より高い圧縮比を得るための②の方式に関して4章で述べたBAT法を応用した一方式を述べる。

6. 2 2値画像用標準符号による疑似中間調画像の伝送。⁽⁷⁶⁾

6. 2. 1 各種閾値配置と符号量

MHやMR等の符号化方式により高い圧縮比を得るには、画信号のランレングスが

6	4	2	0	1	3	5	7
14	12	10	8	9	11	13	15
22	20	18	16	17	19	21	23
30	28	26	24	23	27	29	31
1	3	5	7	6	4	2	0
9	11	13	15	14	12	10	8
17	19	21	23	22	20	18	16
25	27	29	31	30	28	26	24

(c) 直線形Ⅱ

0	2	4	6	1	3	5	7
8	10	12	14	9	11	13	15
16	18	20	22	17	19	21	23
24	26	28	30	25	27	29	31
1	3	5	7	0	2	4	6
9	11	13	15	8	10	12	14
17	19	21	23	16	18	20	22
25	27	29	31	24	26	28	30

(b) 直線形Ⅰ

0	16	4	20	1	17	5	21
24	8	28	12	25	9	29	13
6	22	2	18	7	23	3	19
30	14	26	10	31	15	27	11
1	17	5	21	0	16	4	20
25	9	29	13	24	8	28	12
7	23	3	19	6	22	2	18
31	15	27	11	30	14	26	10

(a) ベイヤ形

0	4	16	20	1	5	17	21
8	12	24	28	9	13	25	29
18	22	2	6	19	23	3	7
26	30	10	14	27	31	11	15
1	5	17	21	0	4	16	20
9	13	25	29	8	12	24	28
19	23	3	7	18	22	2	6
27	31	11	15	26	30	10	14

(f) 閾点形Ⅲ

26	10	18	28	27	11	19	29
16	0	2	12	17	1	3	13
8	6	4	20	9	7	5	21
24	22	14	30	25	23	15	31
27	11	19	29	26	10	18	28
17	1	3	13	16	0	2	12
9	7	5	21	8	6	4	20
25	23	15	31	24	22	14	30

(e) 閾点形Ⅱ

13	6	7	14	18	25	24	17
5	0	1	8	26	31	30	23
4	3	2	9	27	28	29	22
12	11	10	15	19	20	21	16
18	25	24	17	13	6	7	14
26	31	30	23	5	0	1	8
27	28	29	22	4	3	2	9
19	20	21	16	12	11	10	15

(d) 閾点形Ⅰ

図6.2.1 各種ディザ閾値配置

長いことが望ましい。本節では各種のディザ閾値によるランレングス符号量を比較評価する。

ダイナミックレンジを0（黒）から31（白）までの32階調とする場合の各種閾値配置を図6.2.1に示す。図6.2.2は、各閾値配置について階調レベル22のときの黒画素配置を表現したものである。網点形Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは新聞などで用いられている網点写真の表現と類似したものである。分解能は網点形Ⅲ、Ⅱ、Ⅰの順で優れており、ベイヤ形は白・黒ドットが分散するため最も分解能が良い。直線形Ⅰおよび直線形Ⅱは本論文で提案するものであり、ランレングスを長くするため一次元方向に白または黒画素が並ぶようにしたものである。濃淡画像では一般に濃淡の変化が少ないことを考えると、図より、直線形閾値では短いランが多数発生するのは4ラインに1回となることがわかる。写真原稿に対して、これらの閾値配置を用いて2値化したときのランレングス統計量と符号量を表6.2.1に示す。表におけるエントロピーは1画素あたりの平均ランレングスエントロピーであって、黒ランと白ランを独立として次式により求めた。

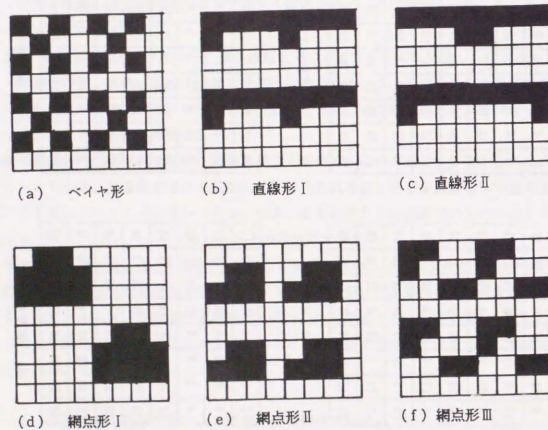


図6.2.2 各種閾値配置によるテクスチャー

表6.2.1 計算機シミュレーションによるランレングス特性

Dither threshold pattern	Total number of runs ($\times 10^5$)	Entropy H (bits/pel)	MH Code (bits/pel)	Compression ratios		MH Coding efficiency
				MH	MR ($k=\infty$)	
Bayer type (ベイヤ形)	9.26	0.332	2.077	0.48	0.46	0.160
	2.30	0.370	2.084	0.48	0.46	0.177
Line type (直線形)	1.63	0.226	0.360	2.78	1.77	0.628
	0.43	0.260	0.407	2.46	1.68	0.639
Line type (直線形)	1.06	0.203	0.263	3.80	2.59	0.772
	0.30	0.238	0.316	3.17	2.37	0.754
Imitation halftone type (網点形)	3.10	0.416	0.605	1.65	1.85	0.688
	0.79	0.445	0.633	1.58	2.17	0.702
Imitation halftone type (網点形)	4.79	0.477	0.937	1.07	0.95	0.509
	1.21	0.507	0.970	1.03	0.94	0.522
Imitation halftone type (網点形)	5.45	0.416	0.952	1.05	0.82	0.437
	1.36	0.448	0.975	1.03	0.82	0.460

32 levels representation, Upper: 14.4 pels/mm, Lower: 7.2 pels/mm

黒ランのエントロピー $H_b = \sum P_{bi} \text{LOG} (P_{bi})$

白ランのエントロピー $H_w = \sum P_{wi} \text{LOG} (P_{wi})$

平均エントロピー $H = (N_b H_b + N_w H_w) / N_{poi}$

ここで、 P_{bi} と P_{wi} はそれぞれ黒および白の発生確率であり、添字 i は個々のランレングスを表す。 N_b 、 N_w および N_{poi} はそれぞれ黒ラン、白ランおよび画素の総数を、 Σ はすべての i についての和をとることを表す。MH方式による符号長を比較すると、直線形Ⅱが一番高い圧縮比 (3.8 : 14.4画素/mm時) を得ている。一方、直線形以外の閾値配置では高い圧縮比は得られない。特にベイヤ形では、符号量が元の情報の2倍以上にもなっており、MH符号化効率 (最適符号割当てを行った場合とMHコードを使った場合の符号量の比) でみても十数%に過ぎない。以上より、圧縮比の点からは、直線形閾値が優れていることが分かる。特に直線形Ⅱは表6.2.1からわかるように、MRによる符号化効率も高い。

6. 2. 2 各閾値配置と画品質

図6.2.3および図6.2.4は、図6.2.1の各閾値配置で処理した記録画である。図6.2.3の8画素/mmでは、網点形Ⅰの画品質が良い。図6.2.4の4画素/mmでは、網点形Ⅱ、Ⅲおよび直線形Ⅰが比較的品质が良い。ベイヤ型は最も分解能が高いが、テクスチャの変化による疑似輪郭が目立つ欠点がある。ここでは示していないが、16画素/mmではテクスチャの粗さはあまり問題にならず、網点形Ⅰのように階調レベルによってテクスチャの変化が少ない閾値配置が品質の安定性に寄与する。また、記録方式 (例えば、感熱記録、静電記録、電子写真記録など) により画素サイズと記録ドットサイズが比較的異なるため、ディザ閾値配置による記録品質は記録方式に依存する。その中でも網点形Ⅰおよび直線形Ⅱは、記録ドットサイズの大きさの影響を受けにくい。図6.2.5は、黒ドットの面積を画素面積の2倍として、黒ドット数と黒面積率の関係を計算したものである。直線形Ⅱが最もリニアに近く記録ドットサイズの影響を受けにくい安定性が高いことがわかる。

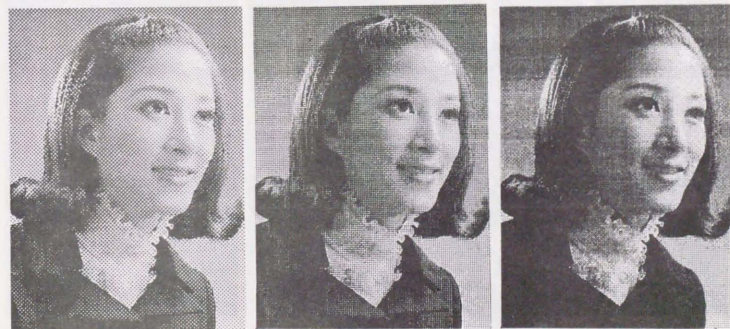
種々の条件によって最適閾値は異なるが、符号化効率の良い直線形閾値が、他の閾値と比べて画品質面でも悪くないことがわかる。比較のために、高い圧縮比が得られるディザ表現法としてよく知られている1次元ディザ法 (8画素/mm) の例を図6.2.6に示す。1次元ディザによれば当然高い圧縮比が得られるが、画品質は極めて悪い。これに対して、直線形閾値によるディザ表現によれば、他の閾値配置によるディザ表現と同程度の画品質を保持しながら、6.3節で述べる画素リオーグリング法と同程度の効率が得られる。



(a) ベイヤ形

(b) 直線形Ⅰ

(c) 直線形Ⅱ



(d) 網点形Ⅰ

(e) 網点形Ⅱ

(f) 網点形Ⅲ

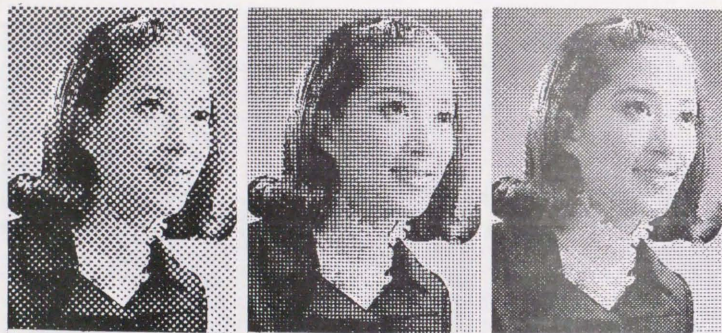
図6.2.3 ディザ記録出力例 (8画素/mm)



(a) ベイヤ形

(b) 直線形Ⅰ

(c) 直線形Ⅱ

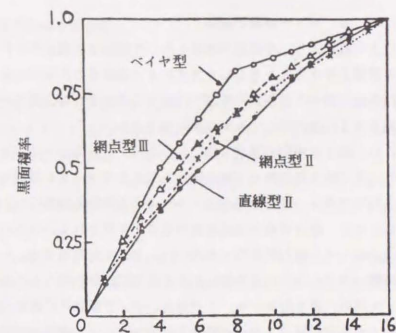


(d) 網点形Ⅰ

(e) 網点形Ⅱ

(f) 網点形Ⅲ

図6.2.4 ディザ記録出力例 (4 画素/mm)



16画素当たりの黒ドット数
図6.2.5 黒ドット数と黒面積率の関係



図6.2.6 1次元ディザの出力画像例

6. 2. 3 ディザ画像の伝送

以上の結果より、直線形の閾値を用いて疑似中間調表現を行えば、標準の2値画像用の標準符号化方式であるMR方式により高効率の伝送が可能となる。また、4章および5章で述べた識別適応処理を合わせて適用すれば、文字／線画、写真、網点写真の混在する画像に対しても対応が可能である。

この、総合的処理の構成を図6.2.7に示す。入力信号は、 4×4 のブロックに分割して、まず網点処理部に網点構造を有するブロックを識別する。網点画像領域と識別されたブロックは低域通過フィルタにより平滑処理を行い、網点構造を除去する。これにより、網点写真は連続階調の写真に変換される。つづいて画信号をBAT処理部およびレベル識別処理部に入力する。BAT処理部では、レベル識別部で求めた像域分離パラメータPの値を用いてBAT判定処理を行うとともに、W、Bの値によりディザ閾値の値を制御する。この場合、ディザ閾値は圧縮比の大きい直線形を用いる。また、文字等領域の2値化の閾値Tはやはりレベル識別処理部のW、Bから算出される。なおBAT処理部の領域判定結果はレベル識別処理部に入力され、 $L_{max} - L_{min} > P$ のブロック数Hのカウントに用いる。このようにして処理された画像をMR符号化方式により符号化する。

このようにして、網点処理、BAT法、レベル識別の各手法を併せて用いることにより、連続階調写真、網点写真、文字／写真、濃い画像、淡い画像に対して適応処理が行える。

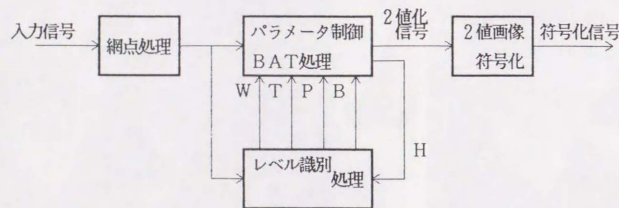


図 6.2.7 総合回路構成

6. 3 文字・写真の領域分離符号化

6. 3. 1 概要

文字や写真が混在する画像を対象とする符号化方式としては、文字や写真の属性ごとに領域を分離してそれぞれに適応符号化する方法が検討されている。この方法は編集や検索を行うために文書を構造化して扱う場合には適合性がよい。しかし、一般に処理量が多くなりファクシミリのように実時間処理が要求される場合には適さない。ここでは前節までに述べた疑似中間調表現された画像を、実時間で伝送するに適合性のよい符号化方式について述べる。

本節では図2.2.2の写真と文字が混在する画像を図6.3.1のように3段階で疑似中間調表現した場合を例にとる。図6.3.1は原画像を図6.3.2の網点形IIの閾値により処理した結果である。

2値画像用の標準符号化方式により復号可能な方式として、リ・オーダリング方式⁽³¹⁾がよく知られている。この方式はディザ表現された画像に対して、長いランが得られるように局所的な画素の再配置を行うものである。具体的には、閾値の近い画素が近接するように画素の入れ替えを行ってランレングス符号化する。図6.3.1の画像を図6.3.2の閾値によりディザ表現した後、図6.3.4のように画素入れ替えして再配置した画像を図6.3.3に示す。符号化信号を復号して図6.3.3の画像を得た後、入れ替えた画素をもとに戻すことにより図6.3.1の復号画像を得る。図から明かなようにリ・オーダリング方式では、入れ替えた画素を復号後にもとに戻さなくても理解性のある濃淡画像が得られることである。従って、MHあるいはMR等の2値画像用の標準符号化方式のままでも図6.3.3の復号画像を得ることができる。しかし、文字等の部分では黒画素が分散するため、分解能が劣化するとともに符号量も増加する。

また、類似の方式としてビット・インターリーブ方式⁽²⁹⁾がある。この方式は同一の（あるいはほとんど同じ）閾値の画素を1カ所にまとめて長いランレングスが得られるようにしたもので、画素入れ替え法および画素入れ替え後の画像をそれぞれ図6.3.6、図6.3.5に示す。この場合も文字部分の黒画素が分散するためMRに比べて効率が悪い。

そのため本節では、4章で述べたBAT法により濃淡画像と文字画像の領域を分離し、濃淡画像領域のみ画素入れ替えを行う像域分離符号化方式を提案する。

6. 3. 2 BAT法による像域分離符号化

本方式は、BAT法により濃淡変化の大きいブロックと小さいブロックを分離し、処理内容を切り替えるものである。

(1) アダプティブ・リ・オーダリング法



図6.3.1 通常ディザ画像

25	19	11	27	24	18	10	26
9	1	3	21	8	1	2	20
17	7	5	13	16	6	4	12
31	15	23	29	30	14	22	28
24	18	10	26	25	19	11	27
8	1	2	20	9	1	3	21
16	6	4	12	17	7	5	13
30	14	22	28	31	15	23	29

図6.3.2 濃淡表現のディザ閾値

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごとく、数年以下で開催される主催者会議というような大会議の決定をまたなくてもあ

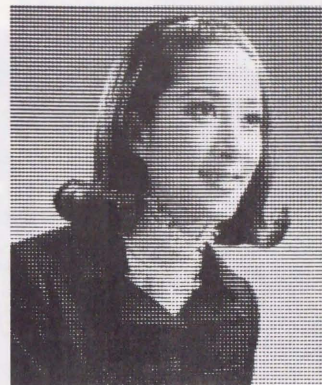


図6.3.3 リ・オーダード ディザ画像

25	19	11	27	24	18	10	26
9	1	3	21	8	1	2	20
17	7	5	13	16	6	4	12
31	15	23	29	30	14	22	28
24	18	10	26	25	19	11	27
8	1	2	20	9	1	3	21
16	6	4	12	17	7	5	13
30	14	22	28	31	15	23	29

Original location of picture
elements after dithering

preprocessing
→
←
postprocessing

1	3	5	7	6	4	2	1
9	11	13	15	14	12	10	8
17	19	21	23	22	20	18	16
25	27	29	31	30	28	26	24
24	26	28	30	31	29	27	25
16	18	20	22	23	21	19	17
8	10	12	14	15	17	19	21
1	3	5	7	6	4	2	1

Picture elements location
after rearrangement

図6.3.4 リ・オーダリングの画素順序入れ替え



図 6.3.5 ビット・インタリーブド 画像

25	24	25	24	.....	19	18	19	18	.....	11	10	11	10	.....	27	26	27	26	.....
24	25	24	25	.....	18	19	18	19	.....	10	11	10	11	.....	26	27	26	27	.....
.....
9	8	9	8	.....	1	1	1	1	.....	3	2	3	2	.....	21	20	21	20	.....
8	9	8	9	.....	1	1	1	1	.....	2	3	2	3	.....	20	21	20	21	.....
.....

図6.3.6 ビット・インタリーブによる順序入れ替え後の画素配置



図6.3.7 B A T法によるアダプティブディザ処理画像

<符号化>

- ① 原画像をブロックに分割し、4.2節で述べたB A T法により濃淡変化の小さいブロック（以下、領域Aと呼ぶ）と大きいブロック（領域B）に分離し、それぞれに対し適応2値化処理を行う。この結果を図6.3.7に示す。これによりまず文字部分の品質が向上する。
- ② 領域Aの画素はランレングスを長くするため、リオーダーリング法と同じ順序入れ替えを行う。領域Bの画素はMH, MRに適した画像なので順序入れ替えを行わずそのままとする。この結果得られる図6.3.8(a)の再配列ディザ画像をMRにより符号化する。
- ③ 順序入れ替えを行ったか否かを識別するための情報を、ブロックごとに1ビットで表現すれば図6.3.8(b)のブロック識別画像が得られる。白(0)は領域Aを、黒(1)は領域Bを表す。これをMRにより符号化する。

<復号>

- ① まず、図6.3.8(a)の再配列ディザ画像および(b)のブロック識別画像をそれぞれ



(a) アダプティブ・リ・オーダード画像

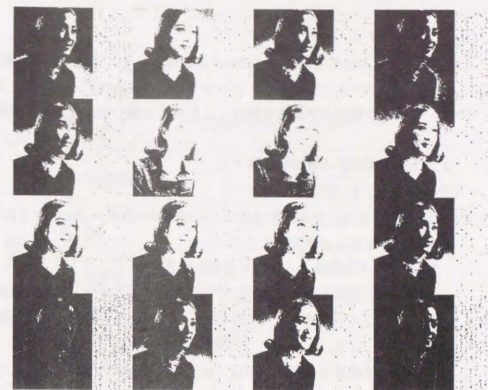


(b) ブロック識別画像

図6.3.8 アダプティブ・リ・オーダーリングによる画素入れ替え

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、本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、この活動は、つねに時代の最先端を行くもので、C C I T T の活動方また世界の国際通信の活動方向であるといえる。

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごく、数年以下で開催される主管庁会議というよう大会議の決定をまたなくともあ



(a) ビット・インターリーブド画像成分（画像X）



(b) ノン・ビット・インターリーブド画像成分（画像Y）

図6.3.9 アダプティブ・ビット・インターリーブ処理

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、本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、この活動は、つねに時代の最先端を行くもので、C C I T T の活動方また世界の国際通信の活動方向であるといえる。

この意見は、また、電信規則以下のその他の規則のごく、数年以下で開催される主管庁会議というよう大会議の決定をまたなくともあ

れ復号する。

- ② 復元された再配列ディザ画像の各画素のうち、ブロック識別画像が“0”の領域に対応するブロックは、あらかじめ決められたディザ閾値マトリクスを前提に画素の順序入れ替えを行う。これにより図6.3.7のBAT処理画像が復号される。

(2) アダプティブ・インタリーブ法

<符号化>

- ① ディザ画像を作る過程ではアダプティブ・リオーダーリングと同様にBAT法により像領域の分離処理を行う。

- ② 次のような画像Xと画像Yを構成する。

画像X：領域Bの画素はすべて白(0)とした上で、領域Aの画素のランレングスを長くするため、ビットインタリーブによる画素順序入れ替えを行う。

画像Y：領域Bの画素はMH、MRに適した画像なので順序入れ替えを行わずそのままとする。領域Aの画素はすべて白(0)とする。

画像X、Yをそれぞれ図6.3.9の(a)(b)に示す。

- ③ 画像XおよびYはそれぞれ独立にMRにより符号化する。

<復号>

- ① 復号時には、画像Xおよび画像Yをそれぞれ独立に復号する。
- ② 画像Xに逆インタリーブを施し、順序入れ替え前の画像(X')を再現する。
- ③ 画像Yの各ブロックで、黒画素が存在すれば該ブロックの復号画像として画像Yの該当ブロックを選択する。すべて白画素なら画像X'を選択する。これにより図6.3.7の復号画像が得られる。

(3) 各方式の比較

写真、文字部分それぞれについて、アダプティブ処理を行わない従来方式の場合とアダプティブ処理を行う本処理法の場合の符号量をそれぞれ表6.3.1、表6.3.2に示す。これらと図6.3.7～図6.3.9より次のことがわかる。

- ① BAT法による処理を行うことによりMRによる文字部分の符号量自体が減少している。これは、BAT法の効果である。また、文字部分に関する限りは、順序入れ替えを行わず図6.3.7の画像をそのままMRで符号化の方が効率が良い。
- ② アダプティブ・リ・オーダーリング法によれば、従来のリ・オーダーリング法に比べて以下の利点が生じる。
- ・濃淡画像部分では符号量は変わらないが、MRのみで復号した(再配列画素をもとに戻さない)場合に得られる画像の品質が向上する。
 - ・混在する文字／線画等の符号量が減少するとともに分解能が良くなる。

表 6.3.1 ディザ画像符号化方式の比較

符号化方式	符号量 (ビット/画素)	
	写真	文字／線画
モディファイド・リード(MR)	1.005	0.327
リ・オーダーリング(4×4リ・オーダ)	0.380	0.465
ビット・インタリーブ	0.239	0.538

8画素/mm, 32階調表示

表 6.3.2 適応処理を施した各方式の比較

符号化方式	符号量 (ビット/画素)	
	写真	文字／線画
モディファイド・リード(MR、BAT処理)	1.005	0.250
アダプティブリ・オーダーリング	0.380	0.313
アダプティブビット・インタリーブ	0.268	0.325

8画素/mm, 32階調表示

- ③ アダプティブ・ビットインタリーブ法によれば、従来のビットインタリーブ法に比べて、濃淡画像の符号量は若干増加するが、混在する文字／線画や濃淡画像中の輪郭部の符号量が大幅に減少するとともに分解能が良くなる。

アダプティブ・リ・オーダリングとアダプティブ・ビットインタリーブを比較すると、文字部分の符号量はリ・オーダリングの方が少ないが、濃淡画像の圧縮比についてはリ・オーダリング法とビットインタリーブ法の差異がそのままアダプティブ処理法に現れているためビットインタリーブ法の方が効率がよい。しかし、従来の白黒2値画像用の標準符号化方式であるMRでも了解性のある画像が得られる点を重視するとアダプティブ・リ・オーダリングの方が優れている。この場合、MRで復号したブロック識別画像を無視すればよい。

6. 4 むすび

疑似中間調画像の伝送について検討し以下の事項を明かにした。

- ① 直線形の閾値を用いて疑似中間調表現を行えば、2値画像用の標準符号化方式であるMR方式により高能率の伝送が可能となる。
- ② また、5.3節で述べた白黒レベル識別によりパラメータを制御する拡張形のMBAT法を合わせて適用すれば、文字／線画と濃淡画像の混在する画像に対しても対応が可能である。
- ③ さらに、4章で述べた網点構造の識別／除去の処理を併用すれば、各種の画像に対して適応処理が可能になり、ほとんどの原稿を、原稿種別を区別することなくMR方式で高速高品質に伝送できる。
- ④ 直線形の閾値が適用出来ない場合には、従来のビット・リ・オーダリング法にBAT法の処理を応用してアダプティブ処理を加えるアダプティブ・リ・オーダリング法により画品質、符号化効率ともに大幅な改善ができる。

第7章 結論

本論文は、筆者が10年来行ってきた静止画像の高能率信号処理技術の研究の結果をまとめたものである。その主眼とするところは、ファクシミリのように濃淡画像と文字／図形等が混在する場合にも、性質の異なる両者の画像をとも高品質に再現、高能率に符号化できるようにすることにある。以下、その成果を要約して述べる。

1章は序論であり、画像通信の現状と符号化方式への要求条件ならびに自然画像および疑似中間調画像の符号化方式の研究動向について概説し、本研究の目的と位置づけを明かにした。また、本論文の構成と各章の概要を述べた。

2章では、情報省略と画品質の関係を主観的に評価し、濃淡画像をブロック分割して符号化する場合について、ブロック内の濃淡変化と必要な階調数の関係を明かにした。この結果、1ブロックを2レベルで表現する従来のBTC（ブロックトランシェン）符号化方式でMOS3.5以上の品質が得られることを示すとともに、高品質の画像（MOS4以上）を対象にBTC符号化方式により符号化する場合には、2レベルの表現では輪郭部での劣化が大きいため、濃淡変化の大きいブロックを4レベル以上で表現する必要があることを示した。

3章では、2章の結果にもとずき、画像のダイナミックレンジを近傍画素の最大値と最小値の間に制限して等間隔に量子化することにより、文字等の2値画像に対して効率が優れ、従来のバイナリの標準符号化方式であるMR符号化方式と適合性のよい差分適応ブロック符号化方式（DABC）を提案し、計算機シミュレーションによりその高能率性を示した。特に、本DABC方式では1ブロックを4レベル以上で表現可能なため、階調数をアダプティブに変えるようにすることとあわせて、少ない符号量の領域から高品質の領域まで高範囲にわたって高能率を実現できるようになった。また、DABCが特徴的成分に分離して符号化するため、部分復号により2値画像情報や概略画像を取り出すことができることを示した。さらに、差分適応ブロック符号化方式の基準レベルやレベル指定信号の符号化に階層性の優れたPCS符号化方式の処理法を取り入れ、段階表示に優れるとともに情報省略のない可逆画像の再現も可能なBSPC符号化方式について述べた。

4章では、対象とする濃淡画像の性質ならびに疑似中間調処理との関係を概説した後、性質の異なる文字／写真／網点写真の各種混在画像に対して属性の識別を行わずブロック単位の特徴に応じて適応処理を行う手段として、ブロック別領域分離（BAT）法、ならびに網点領域の識別と適応処理を行うブロック分離変換（BSET）法を提案した。BAT法はブロックごとに濃淡の変化より文字／写真の領域を分離して別々の処理を行うもので、本方式により文字／線画の画品質低下がほとんどなく濃淡を疑似的に表現することが可能となった。BSET法は画信号中の網点領域を濃淡変

化回数により識別して選択的に平滑処理して網点構造を除去するもので、本方式により網点画像をディザ表現する場合のモアレの発生等を防ぎ画品質が向上することを示した。従って、原稿内に文字、連続階調写真、網点写真が混在する場合にも、B A T法とB S E T法を併用すれば、輪郭部や文字部などの精細性が損なわれることなくモアレの発生のない高品質の出力画が得られる。

5章では、コントラストの悪い画像への対策として、画像の背景レベル、黒レベルを自動識別し疑似中間調表現法のパラメータを自動制御する方法を提案し、その有効性を確かめた。これにより前記B A T法のパラメータを自動設定することができB A T法の適用可能な画像の範囲が大幅にひろがることを示した。本処理法により、限定された範囲内であるが、「2値／写真」、「濃い／薄い」、「色地原稿」等の選択を行うことなく、各種の画像を実時間で高速高品質に2値化処理することが可能となった。また、本処理法を適用する対象を濃淡表現を必要としない文字線画等の2値画像に限定すれば、極めて低コントラストの原稿も含めて簡単に高品質2値化できることが確かめられた。

6章では、文字／写真混在画像の読み取り／伝送という観点から、バイナリ画像用の国際標準符号化方式であるM R方式を利用して高能率伝送を行う方法について述べた。まず、従来の2値画像用の標準方式であるM R方式で比較的高能率が達成できる直線形のディザ閾値配置による疑似中間調表現法を提案した。直線形閾値はB A T法と併用することにより文字等の品質低下を防ぐことができるので、ほとんどの原稿を原稿種別を区別することなくM R方式で高速高品質に伝送できる。また、直線形の閾値が適用出来ない場合には、従来のビット・リ・オーダリング法にB A T法の処理を応用し、濃淡画像／文字図形の混在画像に対してアダプティブ処理を加えるアダプティブ・リ・オーダリング法により画品質、符号化効率ともに大幅な改善ができ、M R方式に若干の機能を付加するだけ高能率がはかられることを示した。

以上、本研究では静止画像を対象に、文字図形等が混在することを考慮して、濃淡画像の高品質表現／高能率伝送方式について検討を行い、ブロックランケーション(B T C)符号化方式において、ブロックごとに4レベル以上で表現することを可能にして高能率化を実現した。同時に、概略画像を表す平均値成分、微細構造を表す分解能成分、微分値を表す差分値等の特徴成分に分離して階層符号化することにより、プログレッシブな段階表示とともに、これら特徴成分を利用する符号化方式の新しい応用への可能性を示した。また、濃淡画像の簡易な表現／伝送手段として疑似中間調処理を行う場合を対象に、文字図形／写真／網点写真のそれぞれの混在やコントラストの大小等を考慮してこれら性質の異なる画像それぞれを高品質に表現ならびに高能率に伝送するための適応処理を行うことを検討し、広範囲の画像に対してその有効性

が確かめられた。

従来より、高能率符号化方式は符号量を削減して少ない符号量で高品質の画像を再現すること目的に研究が進められてきた。しかし近年の画像通信サービスの多様化により、今後は単に符号量を削減だけでなく、より高能率化をはかりながらも、同時に検索、編集、認識あるいは表示などの応用にあわせて、より利用しやすい符号化方式の実現が望まれる。

本論文をまとめるにあたり、懇切なる御指導ならびに御鞭撻をいただいた東京大学安田靖彦教授、および懇切な御教示を賜った東京大学羽鳥光俊教授、斉藤忠夫教授、原島博教授、坂内正夫教授、石塚満助教授に謹んで御礼を申し上げます。

本研究は、筆者が日本電信電話株式会社電気通信研究所における研究業務の一環として担当したものである。この間、本研究の遂行およびとりまとめの機会を与えていただき、かつ御指導御鞭撻いただいた日本電信電話株式会社ヒューマンインタフェース研究所安田浩画像メディア研究部長、本研究の遂行の機会を与えて下さった橋本新一郎元複合通信研究所画像通信研究部長（現セコム株式会社）、藤手喜男元複合通信研究所ファクシミリ研究室長（現東芝株式会社）、有村孝文元複合通信研究所ファクシミリ研究室長（日本電信電話株式会社国際部）、山本哲二元複合通信研究所主幹研究員（現松下電送株式会社）に深く感謝の意を表す。

本研究は初期の検討の段階から、多くの方々の御協力に負うところが大きい。

3章の研究の遂行にあたっては、技術情報センタ小林誠主任技師およびヒューマンインタフェース研究所茨木久主任研究員に多大の御協力をいただいた。ヒューマンインタフェース研究所安藤大研究員および谷中一寿主任研究員には提案方式とDCT方式の符号化効率の比較データ取得に御協力いただいた。また、国際標準化方式提案作業の中で、前記安田靖彦教授、工学院大学南敏教授、ヒューマンインタフェース研究所安田浩画像メディア研究部長および小倉健司担当課長、富士通株式会社の関係各位をはじめ自然画像符号化標準化検討会（NIS）の各位には有益な討論をいただいた。さらに、3、8項はKDD研究所テレマティクスグループ遠藤俊明主査、山崎泰弘次長および前記ヒューマンインタフェース研究所茨木久主任研究員との共同研究の所産である。

4章の研究の遂行にあたっては、ヒューマンインタフェース研究所鉄谷信二主任研究員および前記茨木久主任研究員に御協力をいただいた。特に4、2項は鉄谷氏、4、3項は茨木氏との共同研究の所産である。

以上の方々に深く感謝の意を表する。また、本研究の遂行およびまとめの過程において有益な助言、討論、協力をいただいた同僚各位に心から謝意を表する。

- (1) R.Wyle and R. Banow: "Reduced-time facsimile transmission by digital coding", IRE Trans., vol. CS-9, No. 3 pp. 215 (1961)
- (2) "出そろったファクシミリ帯域圧縮方式を評価する", 日経エレクトロニクス, No. 67, pp. 52-98 (1973.10.22)
- (3) CCITT: Recommendations, T.30
- (4) CCITT: Recommendations, T.4
- (5) CCITT: Recommendations, T.6
- (6) B. Lippel, M. Kurland: "The Effect of Dither on Luminance Quantization of Pictures", IEEE Trans. Vol. COM-19, No. 6, pp. 879-888 (1971)
- (7) "ディザ法による濃淡画像の表示", 日経エレクトロニクス, No. 185, pp. 50-65 (1978.5.1)
- (8) 坂内正夫: "画像データベースとその構成技術", 映像情報, pp. 31-35 (1986-10)
- (9) 原島博: "顔画像の分析合成符号化方式の動向", テレビ技報, Vol. 12, No. 9, ICS88-17 (1988)
- (10) 小林誠: "多階調ファクシミリ信号の差分ブロック符号化方式", 信学論(B), Vol. J66-B, No. 2, pp. 177-184 (1983)
- (11) 山田敬嗣、美濃澤彦、坂井利之: "文書画像の領域に適応する符号化方式" 情処第29大 6M-6, 1143 (昭和59年度後期)
- (12) 牧野寛、赤田住久: "濃淡領域を含む文書画像の2値再生について", 信学論(D), Vol. J65-D, No. 3, pp. 307-314 (1982)
- (13) 安田靖彦、加藤茂夫、高木、栗野: "階層的符号化による静止画像の段階的伝送および表示", 信学論(B), Vol. J63-B, No. 4, pp. 379-386 (1980)
- (14) E. J. Delp and O. R. Mitchell: "Image Compression using Block Truncation Coding", IEEE Trans. Vol. COM-27, No. 9, pp. 1335-1342 (1979-09)
- (15) 岸本登美夫、三ツ矢英司、星田勝典、釜江尚彦: "静止画像のブロック符号化方式", 信学論(B), Vol. J62-B, No. 1, pp. 17 (1979)
- (16) H. Ahmed, T. Natarajan, K. R. Rao: "Discrete Cosine Transform", IEEE Trans. Vol. C-23, No. 1, pp. 90-93 (1974)
- (17) Y. Linde, A. Buzo, R. M. Gray: "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans., Vol. COM-28, No. 1, pp. 84-95 (1980)
- (18) 山田芳郎、田崎三郎: "画像信号を対象としたベクトル量子化器設計", 信学論(B), Vol. J66-B, No. 8, pp. 965-972 (1983)
- (19) 遠藤俊明、山崎泰弘: "多値画像の順次再生符号化方式", 信学論(B), Vol. J70-B, No. 1, pp. 105-114 (1987)
- (20) 石橋聡、小倉健司: "静止画像の成分分離階層符号化", 信学論(B), Vol. J69-B, No. 6, pp. 600-608 (1986)
- (21) L. G. Roberts: "Picture Coding Using Pseudo-Random Noise", IRE Trans. Vol. IT-8, pp. 145-154 (1962)
- (22) J. O. Limb: "Design of Dither Waveforms for Quantized Visual Signals", BSTJ, Vol. 49, pp. 2555-2582 (1969)
- (23) B. E. Bayer: "An optimum method for two level rendition of continuous-tone picture", International Conference on Communication, 26-11 (June 1973)
- (24) J. F. Jarvis, C. N. Judice, W. H. Ninko: "A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Picture on Bilevel Displays", BSTJ, Vol. 5, pp. 13-40 (1976)

- (25) J.V. Jarvis, and C.S. Roberts: "A New Technique for Displaying Continuous Tone Images on a Bilevel Display", IEEE Trans. Vol. COM-24, No. 8, (1976-08)
- (26) T.H. Morrin: "A Black-White Representation of a Grey-Scale Picture", IEEE Trans. Vol. C-23, No. 2, pp.124-125 (1977-04)
- (27) 宮田昌近、吹抜敬彦、吉木宏: "疑似ハーフトーン表示における画質ならびに符号化効率の向上に関する考察", 信学全大, 昭54, S17-4
- (28) "ディザ法が応用され始めた高速ファクシミリの中間記録", 日経エレクトロニクス (1981.2.2)
- (29) C.N. Judice: "Data Reduction of Dither Coded Images By Bit Interleaving", Proc. of S.I.D. Vol.17/2 (1976)
- (30) 安田靖彦、加藤茂夫: "ディザ化した濃淡画像の帯域圧縮", IE-77-53, (1977-10)
- (31) B.O. Johnson, A.N. Netravali: "An Extension of CCITT Facsimile Codes for Dithered Pictures", BSTJ, Vol. 60, No. 3, March pp.391-404 (1981)
- (32) A.N. Netravali, F.W. Mounts, J.D. Beyer: "Techniques for Coding Dithered Two-Level Pictures", BSTJ, Vol. 56, No. 5, May, pp.809-819 (1977)
- (33) 上野裕、今中良史、瀬政孝義: "2値ディザ化ファクシミリ信号の予測分割符号化方式", 昭55信学通信部門全大, S7-6, 1-392
- (34) 谷中一寿、浅井光太郎、齊藤忠夫、緒猪博: "2値・濃淡混在画像の帯域圧縮符号化の方式", テレビ技報, IT47-5, pp.49-54 (1981-03)
- (35) 中野一男、沖野美晴: "階調ファクシミリのデータ圧縮", 沖電気研究開発, 46, No. 5, pp.43-49 (1980)
- (36) 石橋聡: "静止画像のブロック符号化における符号化パラメータの最適化", 信学論(B), Vol. J71-B, No. 10, pp.1102-1109 (1988)
- (37) 中村納、小松哲二、三王賢治、南敏: "ブロック統合処理に基づく可変ブロックサイズ符号化", 信学論(B), Vol. J69-B, No. 10, pp.1111-1120 (1986)
- (38) 佐藤裕、小川吉彦: "ブロック連結画像符号化方式", 画電学誌, Vol. 16, No. 1, pp.21-26 (1987)
- (39) 越智宏: "濃淡画像の差分適応ブロック符号化", 画電学研資, 85-07-04 (1985)
- (40) 越智宏、小林誠: "濃淡画像の差分適応ブロック符号化方式", 信学論(B), Vol. J70-B, No. 1, pp.66-76 (1987)
- (41) 吉田、阿部: "濃淡画像の多階調ブロック符号化", 第93回画電研予稿 (1986)
- (42) 伊東晋、木原良彦、嶋田光一、山口昇、宇都宮敏男: "画像の階調数選択形ブロック符号化方式", 信学論(B), Vol. J71-B, No. 12, pp.1528-1536 (1988)
- (43) 高島洋典、白濁徹: "文字・写真混在画像の網点化", 画像電子学会研究会83-3, pp.13-18 (1983)
- (44) W. Postl: "Decomposition of Scanned Halftone Images into Continuous-Tone and Discrete-Tone Overlays", Siemens Forsch.-u. Entwickl.-Ber. Bd. 13, pp. 121-25 (1984)
- (45) P.G. Roetling: "Halftone method with edge enhancement and Moire suppression", J. Opt. Soc. Am. Vol. 66, No. 10, pp. 985-989 (1976-10)
- (46) 越智宏: "中間調画像の情報省略と画品質", 画電学研資, 85-02-03 (1985)
- (47) 越智宏、小林誠、茨木久: "濃淡画像の拡張形差分適応ブロック符号化方式", 信学論(B-1), Vol. J73-B-1, No. 4, pp. 337-346 (1990)
- (48) 宮川、渡部: "画像エレクトロニクスの基礎" pp.128, コロナ社 (1975)
- (49) 安田浩: "カラー静止画符号化方式の国際標準化", テレビ誌, 41, No. 9 (1987)

- (50) Joint Photographic Experts Group ISO/IEC JTC1/SC2/WG8 CCITT SGVW, "JPEG Technical Specification", JPEG-8-R7, July, 6, 1990
- (51) 遠藤俊明、山崎泰弘: "会話形画像通信に適したファクシミリ信号の順次再生符号化方式", 信学論(B), Vol. J67-B, No. 12, pp.1462-1469 (1984)
- (52) 遠藤俊明、越智宏、山崎泰弘、茨木久: "カラー画像の成分分離階層形符号化方式", 昭63信学総全大
- (53) 小林誠、越智宏、南敏、中村納、吉田茂: "多階調適応形ブロック符号化方式", 昭62画電全大6
- (54) Japan: "Generalized Block Truncation Coding", ISO/TC97/SC2/WG8 N510 (June 1987)
- (55) Japan: "Block Separated Component Progressive Coding (BSPC)", ISO/TC97/SC2/WG8, N641, (Jan. 1988)
- (56) J.M. White: "Recent Advances in Thresholding Techniques for facsimile", J. Appl. Phot. Eng. Vol. 6, No. 2, pp.49-57 (1980)
- (57) 鉄谷信二、越智宏: "文字画像を考慮した疑似中間調再現の検討", 信学技報, IE81-57 (1981)
- (58) 鉄谷信二、越智宏: "2値画像と濃淡画像の混在する原稿の2値化処理法", 信学論(B), Vol. J67-B, No. 7, pp. 781-788 (1984)
- (59) W. Postl: "Halftone Recognition by an Experimental Text and Facsimile Workstation", Proc. of the 6th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 489-491 (Oct. 1982)
- (60) 齊藤、田中、宇野、三輪: "新聞紙面電送時における文字、網点写真判別法", 昭58信学全大, 1276
- (61) 白濁、大町、飯沼: "新聞の適応予測データ圧縮", 信学技報, IE8-55 (1978)
- (62) 白濁徹: "文字・写真混在画像のデータ圧縮符号化", 画像電子学会研究会予稿, 83-4, pp.19-23 (1983)
- (63) 上野、沖野、伊藤: "網点写真を含む画像の二値化", 第16回画像工学コンファレンス予稿, pp. 281-284 (1985)
- (64) 茨木久、小林誠、越智宏: "網点写真の識別処理方法", 昭61画電全大予稿, 3.
- (65) H. Ibaraki, M. Kobayashi and H. Ochi: "A coding algorithm for halftone pictures", Picture Coding Symposium, 9.3 (Apr. 11986)
- (66) 茨木久、小林誠、越智宏: "網点写真の識別処理方法", 信学論(B), Vol. J70-B, No. 2, pp. 222-232 (1987)
- (67) 吉田、松田: "文字と濃淡画の混在識別2値化方式", 昭60画電全大19
- (68) 永岡、倉田: "濃度勾配を用いた文字/中間調画像実時間識別方式", 昭61画電全大1
- (69) 河村、西垣、出井、三田: "デジタル画像におけるモアレ除去と高精細文字再現", 昭61画電全大予稿2
- (70) 南日俊彦: "文字・写真混在画像の分離処理方法の改善", 第99回画電研予稿 (1987)
- (71) 大津展之: "判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法", 信学論(D), Vol. J63-D, No. 4, pp. 349-356 (1980)
- (72) 鳥生隆、岩瀬洋道: "最小値フィルタと微分フィルタを利用した二値化の閾値決定法", 昭63信学全大予稿, D-115
- (73) 谷口倫一郎、河口英二: "二値画像の複雑さと多値画像の関連処理に関する考察", 信学論(D), Vol. J70-D, No. 1, pp. 164-173 (1987)

- (74) 越智宏、鉄谷信二、茨木久: "コントラストの実時間識別による文字写真混在原稿の2値化処理"、信学研予稿、IE86-64, pp.25-31 (1986)
- (75) 越智宏: "コントラストの実時間識別による文字写真画像の2値化処理"、信学論(D-II), Vol. J-72-D-II, No. 11, pp.1848-1856 (1989)
- (76) H.Ochi, N.Tetsutani: "A New Halftone Reproduction and Transmission Method Using Standard Black and White Facsimile Code", IEEE Trans. COM-35, No. 4, pp.466-479 (APR.1987)

本論文に関連する学術論文

<学術論文>

- (1) 越智、小林、"濃淡画像の差分適応ブロック符号化方式" 信学論(B)、J70-B, No. 1, pp.66-76 (1987)
- (2) 越智、小林、茨木、"濃淡画像の拡張形差分適応ブロック符号化方式"、信学論(B-I)、J73-B-1, No. 4, pp.337-346 (1990-4)
- (3) 鉄谷、越智、"2値画像と濃淡画像の混在する原稿の2値化処理法"、信学論(B)、J67-B, No. 7, pp.781-788 (1984)
- (4) 茨木、小林、越智、"網点写真の識別処理方法"、信学論(B)、J70-B, No. 2, pp.222-232 (1987)
- (5) 越智、"コントラストの実時間識別による文字写真画像の2値化処理"、信学論(D-II)、J-72-D-II, No. 11, pp.1848-1856 (1989-11)
- (6) H.Ochi, N.tetsutani, "A New Halftone Reproduction and Transmission Method Using Standard Black and White Facsimile Code", IEEE Trans. COM-35, No. 4, APR. 1987 (correspondence)

<国際会議>

- (1) H.Ochi, N.Tateishi, Tetsutani, "Super High-speed High-definition Facsimile", GLOBECOM'83, (1983)
- (2) H.Ochi, M.Kobayashi and H.Ibaraki, "Multi-Level Block Truncation Coding with Hierarchical Structure", Asia-Pacific Area Joint Meeting on Picture Coding and Communication, Nov. 1987

その他の論文

<学術論文>

- (1) 越智: "集束性光学纖維素子によるマルチレンズ系の解析"、画像電子学会誌 第4巻、1号、pp.13-21 (1975)
- (2) 越智、松本: "冗長度抑圧形高速ファクシミリにおける現像定着機構"、画像電子学会誌 第7巻、4号、pp.264-272(1978)
- (3) 越智、中村: "トナー帯電量制御による静電記録"、画像電子学会誌 第9巻、4号、pp.236-243(1980)
- (4) M.Matsumoto, H.Ochi and S. Yoshino: "A High-Speed Facsimile Apparatus for Satellite Communication", IEEE Trans. COM-29, No.12, pp.1952-1958(1981)
- (5) 越智: "静電記録による中間調再現"、信学論(C)、J65-C、No.5、pp.328-335 (1987)
- (6) 越智、遠藤、灰木、山崎: "静止画像の成分分離階層形符号化方式"、信学論(B-1)、J74-(B-1)、No.3、PP.208-216 (1991)

<NTT研究実用化報告>

- (1) 越智、"高速ファクシミリのための転写形電子記録の検討"、研実報、第24巻、第7号、pp.1317-1335 (1975)
- (2) 越智、有村、松本、"高速ファクシミリの現像定着機構"、研実報、第28巻、第1号、pp.49-59 (1979)
- (3) 越智、松本、吉野、加藤、"衛生通信用高速ファクシミリおよび通信実験"、研実報、第30巻、第10号、pp.2525-2540 (1981)
- (4) 越智、山本、鉄谷、"超高速ファクシミリ装置"、研実報、第33巻、第11号、pp.2759-2768 (1984)

<Review of the ECL>

- (1) H.Ochi and M.Matsumoto, "A High Speed Facsimile Apparatus for Satellite Link and Communication Experiment", ECL Review, Vol.30, No.1, pp.115-128 (1982)
- (2) H.Kataoka, Y.Yokoyama and H.Ochi, "High-Speed, High-Picture-Quality Digital Facsimile Equipment", ECL Review, Vol.33, No.2, pp.271-276(1985)
- (3) H.Ochi, T.Yamamoto and N.Tetsutani, "Super High-Speed High-Definition Facsimile Equipment", ECL Review, Vol.33, No.4, pp.657-663(1985)

