

論理演算三角法に基づくロスレス符号化

～ 2 値画像データ圧縮への適用 ～

入江 智和, 辻岡 哲夫, 杉山 久佳, 村田 正

大阪市立大学 工学部 情報工学科

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138

Tel. 06-6605-2777

E-mail : toms@comm.info.eng.osaka-cu.ac.jp

あらまし

データを効率よく伝送・蓄積することを目的として、ロスレス符号化を利用したデータ圧縮がさかんに利用されている。本稿では、論理演算三角法を提案し、新しいロスレス符号化方式を提案する。また、適用分野として2値画像の圧縮について評価を行い、既存の手法との比較から提案方式の特性を明らかにする。

キーワード ロスレス符号化, 2 値画像, ディザ

Lossless Coding based Logical Triangle Method

application to binary image data compression

Tomokazu Irie, Tetsuo Tsujioka, Hisayoshi Sugiyama and Masashi Murata

Faculty of Engineering, Osaka City University

3-3-138 Sugimoto Sumiyoshi-ku Osaka 558-8585

Tel. 06-6605-2777

E-mail : toms@comm.info.eng.osaka-cu.ac.jp

Abstract

Lossless data compression is often used for transmitting and storing data efficiently. We propose Logical Triangle Method and new lossless coding method which is one of its application. Furthermore, as its application, we appraise binary image compression method and locate attributions of our proposal method by comparing our coding method with conventional one.

key words lossless coding, binary image, dither

1 はじめに

データを効率よく伝送・蓄積することを目的として、ロスレス符号化を利用したデータ圧縮がさかんに利用されている。ロスレス符号化方式には様々な手法があり、特に LZ 方式から派生した手法がよく用いられている。最近では、文脈に基づいた (Grammar-based) 符号化方式の研究もさかんである [1]。また、画像符号化に特化された方式も従来からさかんに研究が進められており [2]、最近ではロスレスな方式ばかりでなく、実用上ロスレスな方式と同様に扱えるニアロスレスな方式についても研究がなされている [3]。

本稿では、これら従来方式とは異なる方法で符号化を行う論理演算三角法を提案する。提案方式は入力系列を 1 次元の系列として符号化を行う方式であり、符号化処理の主要部分が容易にハードウェア化できるという特徴を有する。提案方式の適用分野として、グレースケール画像を各種のディザ手法にて 2 値化した画像を検討し、提案方式を用いたロスレス符号化による圧縮について評価を行い、既存の手法との比較から提案方式の特性を明らかにする。

2 提案する符号化方式

提案する符号化方式は、符号化対象となるビット系列について、特定のパターンに該当する部分毎に符号化を行う。

例えば 010110000... のようなビット系列を符号化する場合、図 1 に示すように、ビット系列の先頭から 1 ビット、2 ビット (2—3 ビット目)、3 ビット (4—6 ビット目)、...、 k ビット ($\frac{k(k-1)}{2} + 1 - \frac{k(k+1)}{2}$ ビット目、 $k > 1$) をそれぞれグループ化し、視覚的には三角形を築くように積み上げる。ここで、最上段を 1 段目とし、各段において左端を先頭とする。このとき、すべての $i (1 \leq i < k)$ と、各 i に対応するすべての $j (1 \leq j \leq i)$ について、 i 段目の j ビット目の値と $i+1$ 段目の j ビット目の値との論理演算 (例えば論理積、論理和等) の結果が $i+1$ 段目の $j+1$ ビット目の値と等しいなら、三角形を構成するすべてのビット系列は、各段の先頭の値から成るビット系列と使用した論理演算から完全に導出可能である。つまり、使用する論理演算が既知であるとすれば、 $\frac{n(n+1)}{2}$ ビットを n ビットに符号化できる可能性を有する。先に挙げた図 1 の例

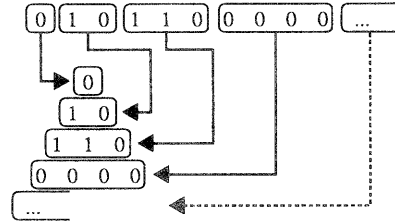


図 1: ビット系列から論理演算三角を構成

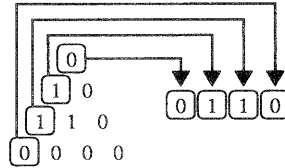


図 2: 論理演算三角から符号を構成

では、 $k = 4$ で論理演算を論理積とすれば、条件を満たしており、図 2 に示す通り、0110 に符号化することができる。

提案方式の 1 符号語あたりのビット列長は、1 段目以降何段目までが条件を満たすかによって可変である。場合によっては、1 段目の値と 2 段目の 1 ビット目の値との論理演算の結果が 2 段目の 2 ビット目の値と等しくないことも考えられるが、この場合は、1 段のみで構成される三角形として扱うことにより、符号化・復号化の処理を一意的にする。以上のような規則的なアルゴリズムにより、図 3 に示すような簡単なハードウェアで符号器を実現可能であり、他の符号化方式と比べて、CPU による処理やテーブルを必要としない特徴を有する。

なお、提案方式を使用するに際しては、符号語を連続して配列することで符号語の区切りが明確でなく、復号結果が一意に定まらない問題を解決する必要がある。これには様々な仕組みが考えられるが、本稿では、符号語を各段の先頭の値のみを羅列したものではなく、各段の先頭の値それぞれの直後に 1 ビットのフラグを付加し、復号結果を一意にする方法を用いる。ここで使用するフラグは符号語の継続、終端を意味するものである。符号語の継続を意味するフラグを 1、符号語の終端を意味するフラグを 0 とすると、先に示した図

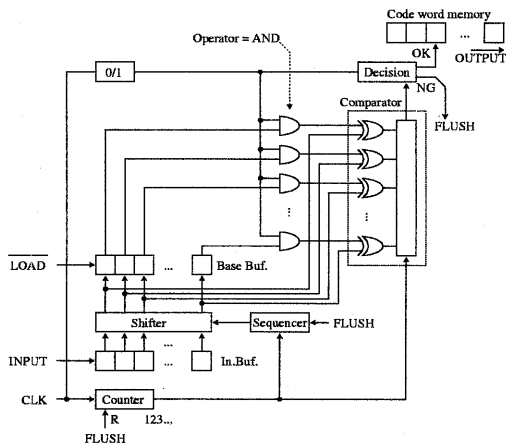


図 3: ハードウェアの構成例

2 の符号語は 01111100 となる。

なお、三角形が 3 段 (6 ビット) 以下で構成された場合に、ビット系列が伸張する可能性が高いが、提案方式では、三角形が m 段 ($m \geq 1$) で構成された場合に、後続のビット系列中の $m+1$ ビット目 ($m+1$ 段目の最終ビット) の値が論理的に導出可能な場合があることを利用し、符号化の結果、ビット系列が伸張する可能性を低減する仕組みを取り入れる。具体例として、図 4 に示すように、 m 段で構成された三角形において、後に $m+1$ ビット以上の系列が続く場合を考える。この時、 m 段目の m ビット目の値 a と $m+1$ 段目の m ビット目の値 b との論理演算の結果が $m+1$ 段目の $m+1$ ビット目の値 c と異なる場合、すなわち他の全ての m 段目の l ($1 \leq l < m$) ビット目の値と $m+1$ 段目の l ビット目の値の論理演算の結果が $m+1$ 段目の $l+1$ ビット目の値と等しいならば、復号に際して、 c はビット系列上の値に関係なく a と b より求めることができる。なぜなら、 m 段の三角形において、それに続く m ビットが符号化の条件を満たす場合、 c も符号化条件を満たせば、 $m+1$ 段の三角形となり、仮定に矛盾する。したがって、 c は符号化条件を満たさないことがわかる。つまり復号器は m 段の三角形において、それに続く $m+1$ の系列における符号化の際の比較結果が等しいとき、三角形が $m+1$ 段として符号化されていると解釈する。三角形が m 段で構成され、

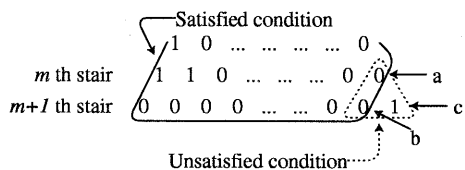


図 4: m 段で構成された論理演算三角の後続ビット系列中 $m+1$ ビット目が論理的に導出可能な場合の例

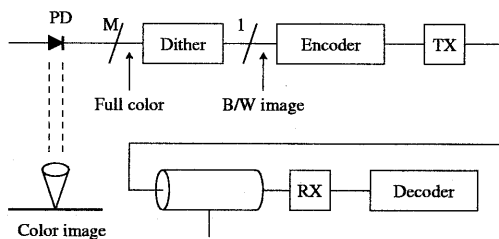


図 5: 評価モデル

符号化されるためには、少なくとも後続の $m+1$ ビットの系列のいくつかは m 段目との符号化の際に比較した結果が異なる必要がある。

3 計算機シミュレーション

3.1 シミュレーションモデル

前節で示した提案方式の適用分野のひとつとして、2 値画像をロスレス符号化する計算機シミュレーションを行った。シミュレーションに用いた評価モデルを図 5 に示す。この評価モデルでは、カラー画像にディザ手法を適用し 2 値化およびロスレス符号化を行い、送信する。本評価モデルは、ファクシミリを用いて中間調を含む画像を伝送するモデル、および、スクリーンでディザ処理された新聞の写真をスキャンし伝送するモデルを想定する。この場合、実際にロスレス符号化される 2 値画像は、原画像の解像度から独立したモデルとして扱うことが可能となり、原画像自体が既に 2 値化されているものをスキャンする場合とは異なる。提案方式はビット系列を 1 次元の系列として符号化するため、比較対象も同様に 1 次元系列に対して符号化

表 1: サンプル画像のサイズ

Image	Width	Height
A	2,800	2,100
B	4,400	3,000

Pixel

を行う修正ハフマン (Modified Huffman : MH) 符号や、計算機上で2値画像の保存によく用いられる2値GIFを用いる。提案方式については、MH符号と同一の条件で符号化が行えるよう、サンプル画像に対して行単位で符号化を行う。また、MH符号で使用されている改行 (End-Of-Line : EOL) コード自体の長さが結果に大きな影響を及ぼさないように、今回のシミュレーションにおいては、提案方式、MH符号共にEOLコード等の制御コードは符号化結果に影響を与えないものとし、考慮しないことにする。提案方式が符号化の際に用いる論理演算は論理積とする。ディザの手法として、誤差拡散法 (Error Diffusion)、パターンディザ、ハーフトーンスクリーンを考える。サンプル画像はフルカラー (24bpp) でスキャンした画像 (主に写真) をグレースケール化後、各種ディザ手法を適用し、符号化を行う。

次に、提案方式の基本特性を明らかにするために、ビットが0となる確率を0から1まで順に設定し、発生させたランダムなビット系列を用い、サイズが640×480, 800×600, 1024×768, 1152×882, 1280×1024となる画像を作成し、符号化を行った。これらの結果を用い、提案方式の特性を定量的に明らかにする。

3.2 結果

図6から図8に2種類の256階調グレースケールのサンプル画像、および各サンプル画像に対する誤差拡散法、パターンディザの適用結果を示す。また、それぞれのサンプル画像のサイズを表1に示す。ディザ手法として誤差拡散法を適用した画像 (図7) とパターンディザを適用した画像 (図8) を、提案方式、MH符号、GIFのそれぞれで圧縮した場合の結果を表2、表3にそれぞれ示す。表中の数値は、符号化の結果、1ピクセルの符号化に用いられたビット数 (Bit / Pixel :

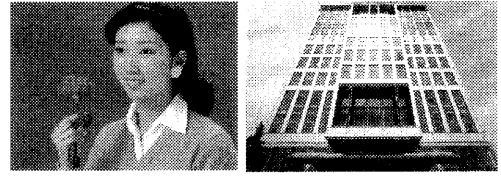


Image A

Image B

図 6: 256 階調グレースケールのサンプル画像

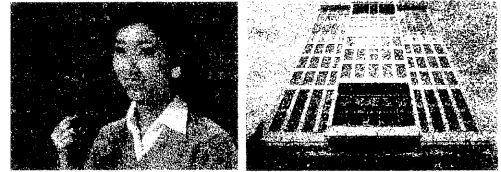


Image A

Image B

図 7: ディザ後のサンプル画像 (誤差拡散法)

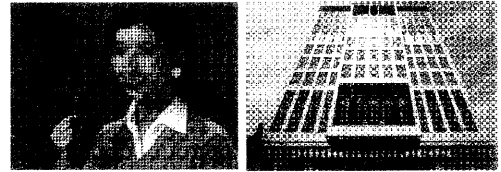


Image A

Image B

図 8: ディザ後のサンプル画像 (パターンディザ)

BPP) であり、例えば2値画像の場合は符号化前の状態で1BPPであり、256階調グレースケール画像の場合は8BPPである。表2、表3より、サンプル画像Aでは、パターンディザ+GIFの場合を除き、いずれの方式でも圧縮を行うことができなかった。一方、サンプル画像Bには、どちらのディザ手法を適用した場合においても提案方式がMH符号よりも優れた特性を示し、特に誤差拡散法においては、提案方式はGIFと比較しても効率的に符号化できていることがわかる。

次にディザ手法として新聞等で用いられているハーフトーンスクリーンを適用した場合の結果を図9, 10に示す。グラフの縦軸はBPP、横軸はハーフトーンスクリーンの線幅のピクセル数 (図11参照) を示している。この結果より、ハーフトーンスクリーンの線幅がおおよそ4—5ピクセルの状態を境に、提案方式の方が、MH符号よりも小さいBPPを達成していることが確認できる。一般的に線幅が大きいとランレング

表 2: 誤差拡散法適用 2 値画像の符号化結果

Method	Image A	Image B
Prop.	1.037837	0.867457
MH	2.588943	1.567467
GIF	1.026698	0.871035

Bit / Pixel

表 3: パターンディザ適用 2 値画像の符号化結果

Method	Image A	Image B
Prop.	1.016816	0.793171
MH	2.444728	1.520056
GIF	0.703842	0.537701

Bit / Pixel

ス長が大きくなり、MH 符号に適したサンプルとなる。シミュレーションに使用したサンプル画像においては、ハーフトーンスクリーンの線幅がおおよそ 4—5 ピクセル以下の状態で高精細な 2 値画像が得られたため、提案方式が MH 符号よりも高精細な 2 値画像の符号化に適していると考えられる。

最後に、ランダムなビット系列の符号化結果を図 12 に示す。比較として gzip を用いた符号化結果を示す。グラフの横軸は 0 の発生確率であり、縦軸は BPP を示している。この結果より、0 の発生確率が約 0.9 以下では MH 符号よりも提案方式の方が優れた特性を示していることがわかる。また、0 の発生確率が 0.5 であっても、伸張の度合いは低く抑えられ、gzip に近い特性を示している。

3.3 考察

図 5 に示した評価モデルが有効であるためには、256 階調グレースケールに対する符号化結果と比較して BPP が小さくなる必要がある。そこで、シミュレーションに使用したサンプルについて、256 階調グレースケール画像の符号化結果を表 4 に示す。示されている数値は BPP である。表 2、表 3 との比較により、提案方式、MH 符号、2 値 GIF のいずれについても、256 色 GIF より小さい BPP を達成しており、図 5 に示し

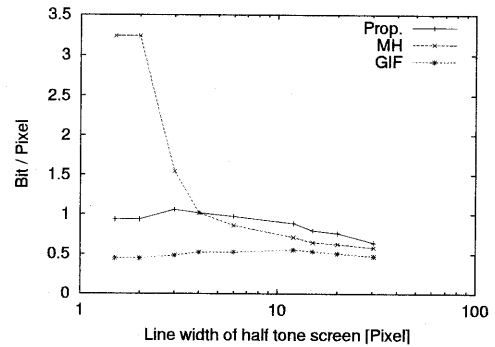


図 9: ハーフトーンスクリーン適用 2 値画像の符号化結果 サンプル画像 A

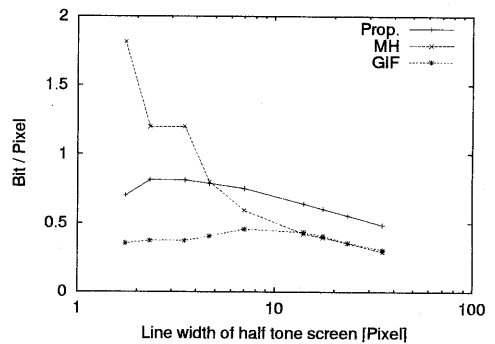


図 10: ハーフトーンスクリーン適用 2 値画像の符号化結果 サンプル画像 B

た評価モデルの有用性が確認できる。また、参考として、ロスレスな方式でない 256 色 JPEG 4 についても圧縮を行った。サンプル画像 B の結果について、提案方式が達成した BPP は、256 色 JPEG 4 の BPP よりも大きい。しかし、その差はパターンディザのサンプル画像 B 場合で 0.1 程度であり、ハードウェア化や、符号化に要する資源量を考えた場合、複雑度の小さい提案方式が有用であると考えられる。

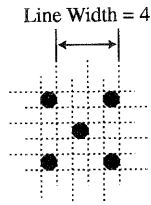


図 11: ハーフトンスクリーンにおける線幅

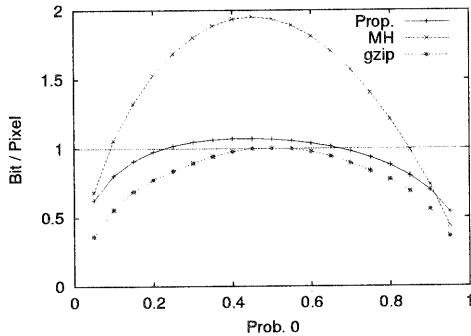


図 12: 0 の発生確率に対する符号化結果

4 まとめ

本稿では、符号化処理の主要部分のハードウェア化が容易な符号化方式、論理演算三角法を提案した。提案方式を2値画像ロスレス符号化に適用し、従来方式の1つであるMH符号に対して、その優位性を確認することができた。本稿で想定したシステムモデルにおいて、提案方式の有用性を確認することができ、提案方式の主要な特性を明らかにすることができた。

今後の課題として、符号化処理アルゴリズムの最適化、符号化効率 (BPP) の向上、2値画像以外の応用

表 4: 256 階調グレースケールの符号化結果

Method	Image A	Image B
256 GIF	9.454702	5.508467
JPEG 4	2.212547	0.696876

Bit / Pixel

分野への適用等が挙げられ、細部にわたる実装についても検討を加える必要がある。さらに、符号化処理に使用する論理演算について、論理積以外のものについても検討を加える必要があると考える。

参考文献

- [1] E. Yang, and J. C. Kieffer, "Efficient Universal Lossless Data Compression Algorithms Based on a Greedy Sequential Grammar Transform — Part One: Without Context Models," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.46, no.3, pp.755-777, May 2000.
- [2] S. Wong, L. Zaremba, D. Cooden, and H. K. Huang, "Radiologic Image Compression — A Review," *Proceedings of the IEEE*, vol.83, no.2, pp.194-219, Feb. 1995.
- [3] 仲地 孝之, 藤井 竜也, 鈴木 純司, "領域分割に基づく画素適応形可逆予測符号化法," *信学技報 IE98-3*, pp.17-23, April 1998.
- [4] 仲地 孝之, 藤井 達也, 鈴木 純司, "カラー静止画像の可逆・準可逆符号化法," *信学技報 IE99-4*, pp.25-32, April 1999.
- [5] J. G. Cleary, and I. H. Witten, "Data Compression Using Adaptive Coding and Partial String Matching," *IEEE Trans. Commun.*, vol.32, no.4, pp.396-402, April 1984.
- [6] 吉田 茂, 岡田 佳之, "LZ 方式を使わない独自方式パソコンから大型機に対応," *データ圧縮とデジタル変調 98 年版*, 日経 BP 社, pp.235-242, 1997.
- [7] ITU-T, "勧告 T.4 文書伝送用 G3 ファクシミリ装置の標準化," 1996.
- [8] 社団法人テレビジョン学会, "テレビジョン学会テストチャート集," 1982.