



Title	混合メディア画像の効率的符号化
Author(s)	高橋, 将; Takahashi, Masaru; 小川, 吉彦 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 127, 39-48
Issue Date	1985-07-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41948
Type	departmental bulletin paper
File Information	127_39-48.pdf



混合メディア画像の効率的符号化

高橋 将* 小川 吉彦* 北島 秀夫* 下野 哲雄* 竹田 順彦**

(昭和 60 年 3 月 30 日)

Effective Coding of Documents Containing Gray Scale Images

Masaru TAKAHASHI, Yoshihiko OGAWA, Hideo KITAJIMA,
Tetsuo SHIMONO and Masahiko TAKEDA

(Received March 30, 1985)

Abstract

For coding of pictures mixed with characters and gray scale images, block coding is suitable because of its basic properties. To obtain higher compression ratios under a certain distortion level, it is most advantageous to adopt the adaptive block coding which changes the block size according to the local activity within a picture. The drawback to this method, however, is the necessity to code the block sizes. In this paper, a new coding method, called block-connected coding, is proposed. This coding procedure is as follows: Initially the picture is divided into fixed-size blocks. These blocks are connected adaptively according to the statistics of each block, this operation is equivalent to changing the block sizes. And the run-length coding is applied to the connected blocks. Furthermore, the results of computer simulations are shown.

1. ま え が き

ファクシミリやキャプテンシステムなど、写真のような連続階調画像と文字のような 2 値画像の混在する静止画像を扱う媒体が増えてくるにつれ、このような画像を効率良く符号化する必要性が高まってきている。その符号化方式としては、画像を伝送する場合の伝送コストや蓄積する場合のメモリのコストなどを考えると、圧縮率の高い符号化方式が望ましい。また、符号化・復号化にかかるコストの面から、符号過程・復号過程はできるだけ簡単であることが好ましいが、復号を開始してから実際の画像が得られるまでの待時間や、一か所から多数の端末へ画像をサービスする場合などを考えると、特に、復号過程の簡易さが重要である。さらに、静止画像に対しては、画像の精細性が強く求められると考えられ、2 値画像を含む場合には、2 値画像が鮮明に再現されることが重要となる。従来、静止画像の符号化方式としては、テレビジョン信号のフレーム内符号化方式が流用されることが多かったが、このような符号化方式はもともと動画像を対象としているので、本質的に静止画像の符号化には適さない。このような観点から、静止画像専用の符号化方式として考え出されたのがブロック符号化法¹⁾で、階調性・精細性を損なうことなく、少ない符号量で符号化が行える。この符号化法は、画像を適当な大きさのブロックに分割し、ブ

* 電子工学科電子回路工学講座

** (株) 東芝

ロック内を二つの階調で近似するというもので、2値に近い画像に対して符号化誤差が小さいという特徴がある。この性質に着目して、この符号化法を写真と文字の混在する中間調ファクシミリ信号に適用したのが差分ブロック符号化方式²⁾で、不必要な情報を削減することにより、高い圧縮率を実現している。

本論文では、小ブロックを適応的に連結して符号化する新しい方式を提案し、差分ブロック符号化方式に勝る性能が確認されたので報告する。この符号化方式の特徴は、画像の精細性を損なうことなく高い圧縮率が得られ、なおかつ、符号形式が平易で、復号側にかかる負担が軽いことである。本論文で述べる新しい符号化方式を以後、ブロック連結符号化方式と呼ぶことにし、以下ではまず、ブロック符号化法と差分ブロック符号化方式の概略を紹介してその問題点を明らかにし、次にブロック連結符号化方式の原理について述べ、最後に計算機シミュレーションの結果を報告する。なお、本論文で扱う階調の数値表現は、0が黒であることに統一する。

2. ブロック符号化法と差分ブロック符号化方式

2.1 ブロック符号化法

a) 基本原理 ブロック符号化法では、画像が強い2次元の相関を持つことを利用し、画像を適当な大きさのブロックに分割して、ブロックごとにいくつかの適当な階調を割当て、ブロック内をこれらの階調で表現する。符号量を減らすため、割当てる階調の数は少なくする必要がある。また、精細性を保つためには、画素ごとに階調が変化できることが必要となる。

そこで、ブロックごとに二つの階調を割当て、ブロック内の各々の画素がどちらの階調に属するかを指定する。具体的には、ブロックごとにしきい値を設定し、しきい値より明るい画素と暗い画素をそれぞれ一つの階調で近似する。したがって、記号を

N : ブロックサイズ (ブロックに含まれる画素の数)

p_i : ブロック内の i 番目の画素

x_i : p_i の階調

y_i : 近似化後の p_i の階調

a_0, a_1 : 階調成分 (割当てる二つの階調)

ϕ_i : 分解能成分 (p_i が a_0 か a_1 かを示す)

x_T : しきい値

と定義すると、

$$y_i = \bar{\phi}_i \cdot a_0 + \phi_i \cdot a_1 \quad (1)$$

$$\phi_i = \begin{cases} 0 & (x_i < x_T) \\ 1 & (x_i \geq x_T) \end{cases} \quad (2)$$

のように表される。そして、 a_0, a_1 と ϕ_i を符号化すれば、復号の際には、(1)式を用いて近似画像を再現することができる。

b) 符号化ビット数 a_0, a_1 を p ビット、 ϕ_i を1ビットで表せば、1画素当たりのビット数 B は、

$$B = 1 + \frac{2p}{N} \quad (3)$$

となる。例えば、 $p=8$ (256階調)、 $N=4 \times 4$ の場合、階調成分と分解能成分はそれぞれ1ビット/画素、合わせて2ビット/画素で表現できる。

となる。例えば、 $p=8$ (256 階調)、 $N=4 \times 4$ の場合、階調成分と分解能成分はそれぞれ 1 ビット/画素、合わせて 2 ビット/画素で表現できる。

c) パラメータの設定 a_0, a_1, x_T は、近似誤差の 2 乗平均

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (4)$$

を最小とする値に設定すれば良い。(4)式の a_0, a_1, x_T に対する変分をそれぞれ 0 とおくことにより、

$$x_T = \frac{1}{2} (a_0 + a_1) \quad (5)$$

$$a_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{x_i < x_T} x_i, \quad N_0 = \sum_{x_i < x_T} 1 \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{x_i \geq x_T} x_i, \quad N_1 = \sum_{x_i \geq x_T} 1 \quad (7)$$

と求まる。ただし、 x_T を(5)式のようにすると、 x_T が可変となり計算手順が複雑になるので、通常は、この代わりに平均値

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (8)$$

が用いられる。

d) ブロックサイズを可変にする方法 ブロックの形状は、画像の 2 次元相関を有効に利用するため、正方形にする。ブロックサイズについては、(3)式からわかるように、大きければ大きいほど符号量を減らすことができる。しかしその反面、近似誤差は大きくなり、画質が劣化する。画像には近似誤差の大きくなる部分と小さくなる部分が存在するので、それに応じてブロックサイズを変えれば、画質の劣化を小さく抑えたまま符号量を減らすことが可能となる。

例えば、 8×8 画素のブロックサイズから始めて、(4)式に示した ε^2 を計算し、その大小によって 4×4 のブロックに分割するかどうかを定める。そして、 4×4 に分割されたブロックについては、さらにそれぞれ ε^2 を計算し、 2×2 のブロックに分割するかどうかを決める。このようにすると、 ε^2 のしきい値の選び方によって、画質と符号量が交換可能となる。しかしその代り、階調成分・分解能成分の他に、どのブロックサイズであるかを識別する符号が必要となる。

2.2 差分ブロック符号化方式

a) 基本原理 ブロック符号化法は、2 値に近い画像が鮮明に再現されるので、写真と文字の混在する中間調ファクシミリ信号への適用が考えられる。ブロックサイズは 4×4 画素に固定する。

文字部分を符号化する場合を考えると、文字の所で $\phi_i = 0$ 、白地の所で $\phi_i = 1$ となるので分解能成分は 2 値ファクシミリ信号に近いと予想され、従来の 2 値ファクシミリの符号化方式を適用することにより分解能成分の符号量を低減できることが期待される。問題となるのは、文字を含まないブロックにおいて、白地であっても $\phi_i = 0$ となる画素が存在することであり、この場合、 a_0 と a_1 は非常に近い値である。

そこで、差分ブロック符号化方式では、このようなブロックに対しては全画素を平均値で近似することにし、 ϕ_i はすべて 1 とする。その方法としては、 m, n をパラメータとして

$$a_1 - a_0 \geq n \text{ または } N_0 \leq m \text{ または } N_1 \leq m \text{ のとき}$$

$$a_1 = \bar{x} \quad (9)$$

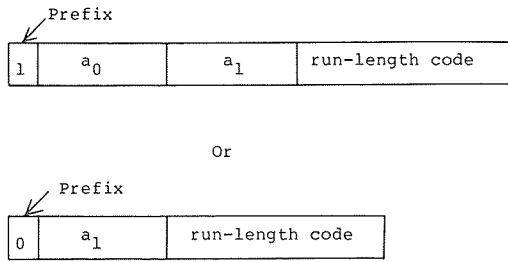


図1 差分ブロック符号化方式の階調成分符号形式

run length	run-length code
1 - 2	0 *
3 - 6	1 0 **
7 - 14	1 1 0 ***
15 - 30	1 1 1 0 ****
31 - 62	1 1 1 1 0 *****
63 - 126	1 1 1 1 1 0 *****
127 - 254	1 1 1 1 1 1 0 *****
255 - 510	1 1 1 1 1 1 1 0 *****

*: natural binary code

図2 Wyle 符号

$$\phi_i = 1$$

(10)

とする。このような近似化は写真部分の階調変化が緩やかな所でも行われるので、写真部分でも ϕ_i は1が多くなり、2値ファクシミリ信号に近くなる。したがって、分解能成分に対して2値ファクシミリ信号符号化方式の国際規格であるMHあるいはMR符号化を適用して、分解能成分の符号量を減らすことができる。階調成分に対しては、同じ階調成分を持つブロックが続くことを期待して、ランレンクス符号化を適用する。その符号形式は図1のようになる。ランレンクス符号としては、図2に示すWyle符号を用いる。以上のようにすると、パラメータ m 、 n の値によって、画質と符号量が交換可能となる。

b) 問題点 差分ブロック符号化方式は、非常に圧縮率の高い符号化方式であるが、次に述べられるような問題点があると考えられる。

まず画質について。差分ブロック符号化方式の再生画は、写真部分中の階調変化のなだらかな所で、正方形のブロック構造が目につく³⁾。この現象は(9)式、(10)式で示されるような近似化を行ったブロックで起こり、その原因はブロック内に一つの階調しか割当てないこと、すなわち、画素ごとに階調が変化できないことにある。また、この画質劣化は復号時に修復することができる³⁾が、復号側の負担となる。

次に符号量について。階調成分をランレンクス符号化するのであるが、たった1階調違っただけでもランはとぎれるので、2値信号のランレンクス符号化のようには行かず、符号量の低減効果は小さい。階調レベル数が増えると、隣り合うブロック同士が同じ階調成分を持つ確率は小さくなるので、符号量の低減効果はさらに小さくなる。一方で(3)式が示すように、階調レベル数が増えると全符号量に占める階調成分の割合が増えるので、階調成分を削減することが重要となってくる。

また、文字部分の階調成分は、理想的には文字部分全体に対して一組あれば事足りる。これに対し差分ブロック符号化方式では、文字部分において、二階調で表現するブロックと一階調で表現するブロックが入り乱れて現れるので、階調成分の削減には限界がある。

以上の問題点はすべて、画像の持つ2次元相関を 4×4 画素の範囲しか利用できていないことに原因がある。したがって、これらの問題点はブロックサイズを可変にすることにより解決できると考えられる。

さらに、差分ブロック符号化方式の最大の特徴は、(9)式、(10)式で示されるような近似化を行うことによって分解能成分が2値ファクシミリ信号に近くなることであるが、文字部分については、ブロックサイズが大きくなれば文字を含まないブロックが減るので、ブロックサイズを大きくすることによっても分解能成分は2値ファクシミリ信号に近くなる。文字部分はブロック符号化による近似誤差の小さくなる部分であるから、ブロックサイズを可変にすることによって、文字部分の分解能成分は、ごく自然に2値ファクシミリ信号に近くなる。一方、写真部分では、ブロックサイズを可変にしても分解能成分は2値ファクシミリ信号に近くならない。しかし、ブロックサイズの大きな部分では分解能成分は比較的簡単になり、エントロピーは低減されると考えられるので、MHあるいはMR符号化の適用は考えられないまでも、その他の符号化方式によって、ある程度符号量を低減することができる。これに対し、差分ブロック符号化方式において写真部分の分解能成分が2値ファクシミリ信号に近くなるのは、精細性を犠牲にしていると言える。

3. ブロック連結符号化方式

3.1 ブロック連結の考え方

以上の考察から明らかなように、ブロックサイズは可変とする方が良い。また、近似誤差の大きくなる部分と小さくなる部分は入り組んで現れることが考えられるので、ブロックサイズだけでなく、ブロックの形状を任意にできることが望ましい。しかし、とり得るブロックの形状を増やしてそれを識別しようとする、識別符号が増え、符号形式が複雑になり、復号側の負担が大きくなる。

このような、ブロックの形状を任意にしたい、符号形成を簡単にしたい、という二つの一見矛盾する要求を満たすことは、近似化(狭義のブロック符号化)段階と符号化段階とに分けて考えることにより可能となる。まず、識別符号を排すため、ブロックサイズを十分に良好な画質の得られる小さいブロックサイズ(基本単位)に固定する。次に近似化段階では、ブロックごとの統計的性質を利用して隣接するブロック同士を連結するか否かを判定し、連結されたブロック全体を一つのブロックとしてブロック符号化する。こうすることによって、ブロックの形状を任意に近くすることができる。そして、得られた階調成分は、小ブロック一つ一つが保有していると考ええる。

ただし、このままでは、符号化ビット数は(3)式において N をブロックサイズの基本単位とした値であり、ブロックサイズを大きくすることによる符号量の低減効果は得られていない。しかしながら、階調成分が揃ったことによりエントロピーの低減は果されており、低減されたエントロピーの実現は次の符号化段階に委ねれば良い。

また、分解能成分についても、ブロックサイズが可変になったと同じことであるので、エントロピーは低減されている。

3.2 ランレングス符号化による符号化ビット数

低減された階調成分のエントロピーを実現する手段としてはいろいろ考えられるが、ここでは符号形式が簡単で比較的高い効率を得ることのできるランレングス符号化を考える。階調成分の符号形成は、1ラン当たり図3のようになる。ランレングス符号化を想定すると、副走査方向に連結しても階調成分は削減されないので、連結処理は主走査方向にのみ行うことにする。したがって、連続長は必然的に、近似化段階で連結したブロックの数となる。

いま、連続長 l に対するランレングス符号の長さを m_l ビット、ブロックサイズの基本単位を n とすると、連続長 l のブロックの階調成分の1画素当たりのビット数 B_l は

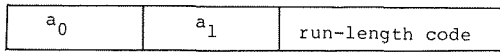


図3 階調成分の符号形式

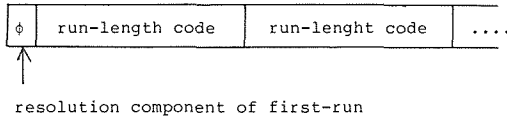


図5 分解能成分の符号形式

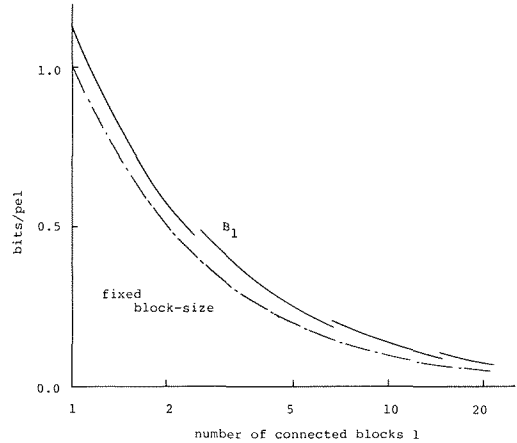


図4 階調成分の符号化ビット数 (P = 8)

$$B_l = \frac{2(p + m_l)}{N} \tag{11}$$

ただし $N = n \times l$

となる。ここで、 $m_l = 0$ のときはブロックサイズを N に固定する場合に相当する。

ランレングス符号として Wyle 符号を用いた場合の l に対する B_l の値と、それに相当するブロックサイズに固定した場合の階調成分の符号化ビット数の値を図4に示す。ただし、 $n = 4 \times 4$ とする。それによると両者の差は小さく、Wyle 符号によるランレングス符号化によってほぼ、ブロックサイズを大きくすることによる符号量の低減効果を実現されることがわかる。

一方、分解能成分に対してもランレングス符号化を適用する。MH 符号を用いると連続階調画部分での効率が悪くなるので、ランレングス符号としては Wyle 符号を用いる。符号形式は、図5のようになる。0 ランと1 ランは必ず交互に現れるので、最初のランについてのみ0 であるか1 であるかを示せば良い。

3.3 連結判断の具体的方法

図6は連結判断方法の概念図である。(a)のように主走査方向に並んだ小ブロックをそれぞれブロック符号化した場合の a_0, a_1 は、例えば2値画部分では(b)のようになると考えられる。さて、各ブロック内には a_0 で表される画素と a_1 で表される画素が存在し、差分ブロック符号化方式では、この a_0 と a_1 の差が n 以下である場合に、これらを一つの階調で表した。そこで、ブロック連結符号化方式では、ブロック間の垣根をとりはずし、隣接するブロックの a_0, a_1 が(b)のように幅 w の二つの帯の中に収まるときに、全体を二つの階調で表現する。すなわち、全体を一つのブロックとしてブロック符号化する。連続階調画部分でも、(c)のような場合に、全体を二つの階調で表現する。

したがって、符号化手順は次のようになる。まず、左端のブロックから順々にブロック符号化してゆき、得られた a_0, a_1 が二つの帯に含まれる間は、次々と連結してゆく。そして、 a_0 もしくは a_1 が二つの帯に収まらないブロックが現れたら、そこで連結をうち切り、そのブロックを新たな連結の開始点として同じ処理をくり返す。

次に、連結されたブロック全体を一つのブロックとして、再びブロック符号化する。ただし、連結した結果、すべての a_0, a_1 が一つの帯に収まっている場合は、やむを得ず、 a_0 も a_1 も全体の

平均値とし、 ϕ_i はすべて1とする。左端のブロックから右端のブロックまですべて2値画の白地であった場合などがこれに当たる。なお、2値画部分においてブロックサイズが大きくなると、(8)式に示す平均値が白地の階調に偏り過ぎてしまうため、本方式では、しきい値として(5)式を用いる。

最後に階調成分を図3、分解能成分を図5のように符号化すれば、簡単な符号形式で、かつ少ない符号量で、画質劣化の小さい画像を再現することができる。パラメータ w の値によって、画質と符号量が交換可能となる。

4. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより、ブロック連結符号化方式と差分ブロック符号化方式を比較する。原画としては、画像データベースSIDBAに取められたGIRL画像と、印刷物を走査型画像読取装置で読み取らせた文字画像を、縦につないで用いた。大きさは、GIRL画像が 256×256 画素、文字画像が 256×236 画素で、階調レベル数は256とした。原画の一部(128×128)を図10に示す。

画質を表す値として、次に示すSN比を用いる。

$$S/N = 10 \log \frac{255^2}{\sum_{k=1}^M (x_k - y_k)^2 / M} \quad (12)$$

ここで、255は信号の $p-p$ 値、 M は全画素数である。

SN比と1画素当たりの符号化ビット数の関係を、GIRL画像と文字画像それぞれについて求めたものを図7に示す。ただし、差分ブロック符号化方式は、 m パラメータを最適とされる2に固定し¹⁾、分解能成分にMH符号化を適用した。それによると、GIRL画像と文字画像の両方において、同じ画質に対してブロック連結符号化の方が少ない符号量で済むことがわかる。特に、文字画像に対する符号量の低減が大きい。両符号化方式とも、シミュレーションを行ったパラメータの範囲内であれば、文字画像の画質はほとんど問題ない。したがって、GIRL画像と文字画像を合わせた場合には、GIRL画像のSN比と全体の符号化ビット数との関係が問題となる。その関係を図8に示す。文字画像の割合が大きくなれば、両符号化方式の差はさらに大きくなる。符号量の内訳を図9に示す。階調成分の符号量が大きく異なっていることがわかる。再生画の例を図11、12に示す。

5. む す び

連続階調画と2値画の混在する画像を効率的に符号化する方法について述べた。その中で、基本単位のブロックを適応的に連結してブロック符号化することによって等価的にブロックサイズを可変にし、その後階調成分・分解能成分の双方にランレングス符号化を適用する、新しい符号化方式を提案した。計算機シミュレーションの結果、従来の差分ブロック符号化方式に勝る性能

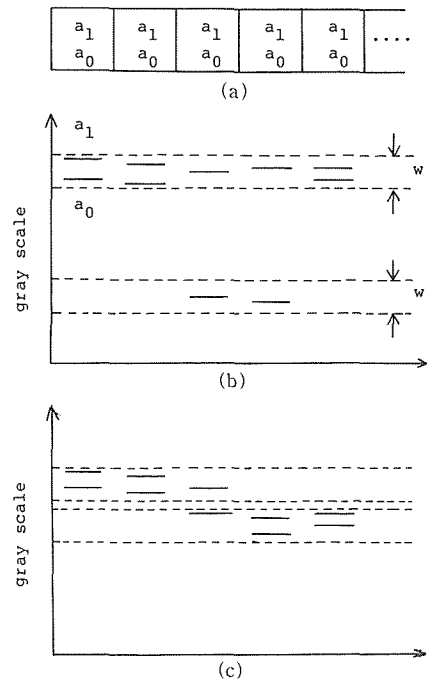


図6 連結判断の原理

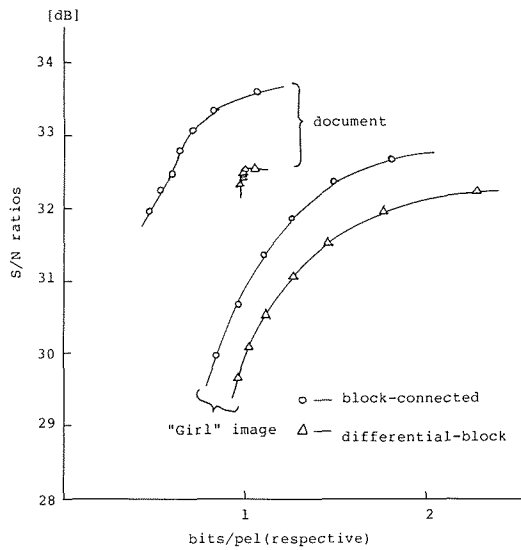


図7 シミュレーション結果 (個別)

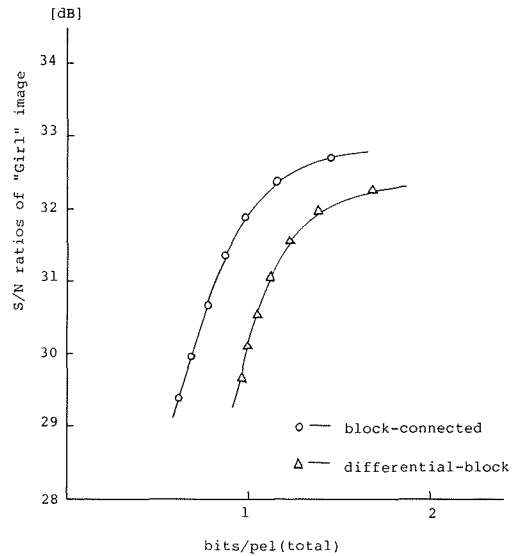


図8 シミュレーション結果 (合成)

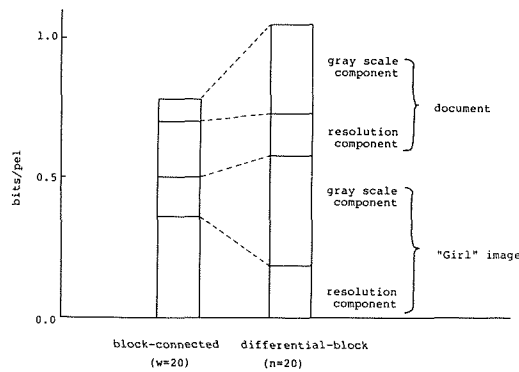


図9 符号量の内訳

が確認された。本方式の特徴は、

- 1) 画像の精細性を保ったまま、高い圧縮率が得られる。
- 2) 符号形式が平易で、復号側にかかる負担が小さい

である。

今後の課題としては、ブロック連結処理の2次元への拡張が考えられる。ここで述べた方法では、副走査方向の画素間の相関は、4走査線分しか利用されていない。副走査方向にも連結することになれば、画素間の相関をより良く利用することができ、ブロックの形状もより任意にすることができる。しかしその場合、符号化段階ではランレングス符号化以外の符号化を考える必要があり、その効率や符号化方式の複雑さについて検討する必要がある。

最後に、本研究を進めるに当たり協力して頂いた若松技官をはじめ研究室の各位に感謝します。

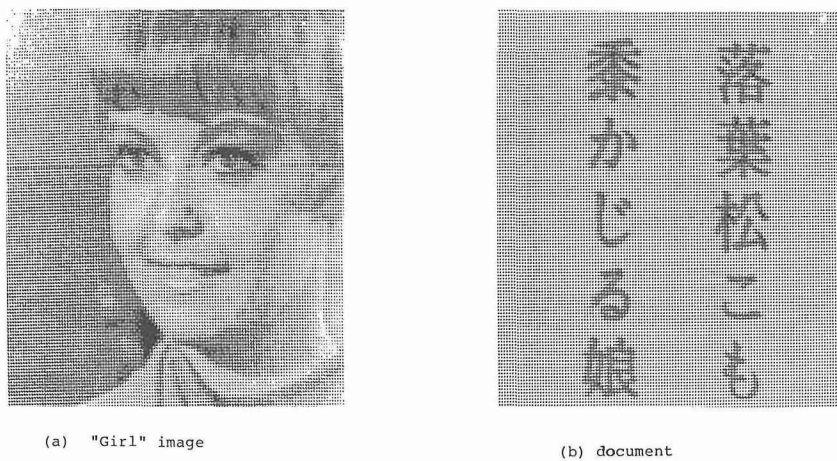


図10 原画

図11 ブロック連結符号化方式の再生画 ($w=20$, 0.781 ビット/画素)図12 差分ブロック符号化方式の再生画 ($n=20$, 1.049 ビット/画素)

参 考 文 献

- 1) 岸本登美夫, 三ツ矢英司, 星田勝典, 釜江尚彦: 電子通信学会論誌, J 62-B (1979), 1, p. 17
- 2) 小林誠: 電子通信学会画像工学研究資料, IE 81-5 (1981), p. 33
- 3) 小林誠, 鈴木豊: 電子通信学会画像工学研究資料, IE 81-69 (1981), p. 35