

## エントロピー計測による符号化器の性能評価

萩原貞明 大関和夫

芝浦工業大学 大学院 工学研究科 電気工学専攻

〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区大字深作 307 番地

TEL 048-687-5069 FAX 048-687-5117

E-mail:m102179@sic.shibaura-it.ac.jp

ohzeki@sic.shibaura-it.ac.jp

**あらまし** : 近年、DVD 等の低価格化、ハードディスクレコーダーの出現と共に、様々な種類の MPEG 符号化器が開発、販売されるようになってきた。今後は、オリジナル DVD 作成等による、個人による MPEG 符号化器の使用機会も増加していく事が予想され、よりよい性能の符号化器を提供していく事が望まれる。そこで、複数の符号化器によるエンコードの性能を比較し、検証を行っていく。本報告では、符号化した MPEG データを、あるビット数を単位として区切り、エントロピーを計測し、符号化器による性能の差を評価する事を目的としている。また、エントロピー計測に加え、ビットレートと平均 2 乗誤差 (MSE) などで表される歪量を求め、レート歪特性と冗長度の関係を調べていく。これから符号化データの冗長度符号化器の性能を推定する手法を提案する。

**キーワード** : 符号化、解析、エントロピー、MSE、レート歪特性

### The Coding machine's Performance evaluation by the entropy measurement

Sadaaki Hagiwara Kazuo Ohzeki

Graduate School of Engineering, Shibaura Institute of Technology

307 ,Fukasaku,Minuma,Saitama 337-8570 Japan

TEL +81-48-687-5069 FAX +81-48-687-5117

e-mail: m102179@sic.shibaura-it.ac.jp

ohzeki@sic.shibaura-it.ac.jp

**Abstract** : In recent years, with low-pricing of DVD etc., and the appearance of a hard disk recorder, the MPEG coding machine of various kinds develops and has come to be sold. To expect that the use opportunity of the MPEG coding machine by the individual by original DVD creation etc. also increases, and to offer the coding machine of a better performance from now on is desired. Then, it verifies by measuring the accuracy of encoding with two or more coding machines. In this report, the coded MPEG data is divided for every bit, entropy is measured, and it aims at evaluating the difference of a system with a coding machine. Moreover it is inadequate that entropy measurement so, in this research SNR between pixel, and its logarithm SNR will be used. It strives for improvement in reliability by using the appraisal method generally called object evaluation.

**key words** : Coding, Analysis, Entropy, MSE, rate-distortion characteristics

## 1. はじめに

近年、DVD 等の低価格化、ハードディスクレコーダーの出現と共に、様々な種類の MPEG 符号化器が開発、販売されるようになってきた。今後は、オリジナル DVD 作成等による、個人による MPEG 符号化器の使用機会も増加していく事が予想され、よりよい性能の符号化器を提供していく事が望まれる。そこで、複数の符号化器によるエンコードの性能を比較し、検証を行っていく。

本報告では、符号化した MPEG データを、あるビット数を単位として区切り、エントロピーを計測し、符号化器による性能の差を評価する事を目的としている。

ある画像が符号化され一つのビットストリームのファイルとなる。一般には画像全体の集合は符号化され、ビットストリームのファイル全体の集合となる。ビットストリームのファイル全体の集合を扱うにあたり、その観測方法を定義し、その観測方法による統計量を評価すれば、符号化性能のある種類の最適性が評価できる。

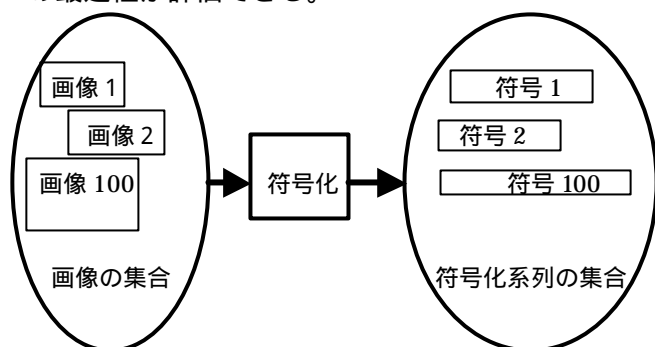


図1 符号化と符号化ビットストリームの集合

例えば、符号化ビットストリームを一定区間長のデータの集合とみなせば、区間長が20数ビット程度までなら容易に観測が可能な統計データとなり得る。この観測した統計データが不均一であれば冗長度が抽出できる。これは一種の乱数検定であり、定義した統計データの分布が均一であれば、その評価において乱数であり、不均一であれば乱数でない証拠を提示できることになる。符号化方式の構成は符号化要素の組み合わせから成り立っているが、出力

ビットストリームの統計データの解析から、発生量の多い符号を生成している符号化要素が推定でき、これを符号化アルゴリズムの改善指針として使用することができる。また、改善すべき符号化要素が複数の要素にまたがっている時は、各符号化要素の改良を行うことが難しいこともある。

符号化ビットストリームの解析には、固定区間長のデータのエントロピー計測<sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>、マルコフエントロピー計測<sup>[3]</sup>、条件付きエントロピー計測、サンプルエントロピー計測<sup>[3]</sup> <sup>[4]</sup>、自己相関計測<sup>[2]</sup>など多数の手法が考えられる。ストリームの計測では、従来の英文テキストのエントロピー計測<sup>[5]</sup>や、符号化データをバイト扱いとしたエントロピー計測<sup>[6]</sup>があったが、いずれも計測するデータ量は少ない。

## 2. ビットストリーム解析

### 2.1 乱数仮定の定式化

図1に示したように、理想的な符号化器で符号化された符号化ビットストリームは、再符号化が不可能となるべきものであるため、その集合の分布は均一で、集合の要素に対するエントロピーは1ビット当たり1となっているはずである。符号化ビットストリームの全体の集合は膨大なものであるため、ここでは取り扱いが可能な規模においても、この均一性の仮定が成り立っているものとする。

すなわち、再符号化の可否の観点から、符号化ビットストリームをある長さのビットパターンに区切り、そのビットパターンの集合は、その要素が均一の発生確率を有するものであるという仮定を設定する。この集合の全要素を1回ずつ取り出し一列に並べたとすると、その系列は長さが5の場合ポーカー検定<sup>[7]</sup>となり、これを拡張した区間検定法による乱数の理想形に一致しており、その意味で乱数をなす集合と呼ぶことにする。

このような考え方に基づき、符号化出力を可逆に再符号化するための条件として、以下のような乱数仮定の定式化を行う。再符号化不可能という意味で理想的な符号化器の出力をある長さのビットに区

切ったビットパターンの発生確率は均一で、エントロピーは1ビット当たり1である。逆に不均一であればエントロピーが1ビット当たり1未満となる。1ビットあたりのエントロピーが1であるビットパターンの集合は、その要素を一列に並べると乱数となる。この時、このビットパターンに対するハフマン符号を作成しても、符号化効率を改善することはできない。乱数であることは最適な符号化方式であるための必要条件であると考えられる。

本論文では以下、このように考え、その分布が均一するとき、ある区間長で区切ったビットパターンの集合を、簡略的に区分検定乱数と呼ぶことにする。

## 2.2 エントロピー計測

### 2.2.1 ビットパターンの定義

画像を符号化方式 MPEG-2 等により符号化したビットストリームを2進数の系列として扱う。ビットストリームをLビットずつ区切り、 $N=2^L$ 個のビットパターンの出現頻度から求まる出現確率を $p(x_i)$ 、但し  $x_i = \{b_1b_2b_3 \dots b_N\}$ とする。

### 2.2.2 動的メモリ割り当て

計算機でエントロピーを計測していく上での問題点として、20ビット程度を超えると、メモリ容量の超過や演算時間の長期化という問題が発生する。今回の実験では malloc, calloc といった関数を用い、動的なメモリ割り当てという方式を利用し、メモリの制限を一時的に解除することによって21ビット以降の計測を実現することを可能にした。

2の二十乗=百万区切りが、実際はLinuxOSのCのバグまたは、性能限界かもしれないのですが、C言語では、必要になった時点で記憶域を動的に確保し、不要になったらその領域を解放して破棄することができ、このようなオブジェクトの寿命は被確保記憶域期間とよばれる。

## 2.3 レート歪特性

エントロピー値の計測は、符号化結果の冗長性を評価するものであるが、異なる符号化器間の性能比較を行うため従来より行われている、レート歪特性の計測を行う。

この二つの計測データを関係付けけることにより、符号化結果が有する冗長度だけでなく、符号化のレート歪特性改良余地を類推することを試みていく。

エントロピー計測に加え、本研究では、画素値間の平均2乗誤差(MSE)や、その対数値であるSNRを用いることにする。

MSEは画像圧縮符号化の情報理論的な扱いと親和性がよい等の理由からMSE,SNRによる客観評価を用いる事にする。

$$MSE = \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=1}^{H-1} (Y_1 - Y_2)^2 \quad (1)$$

$$SNR = 10 \times \log_{10} \frac{(255)^2}{MSE} \quad [dB] \quad (2)$$

## 3. レート歪・エントロピー値の計測手法

以下レート歪特性とエントロピー値計測の手法について説明する。

図2に計測手順を示す。

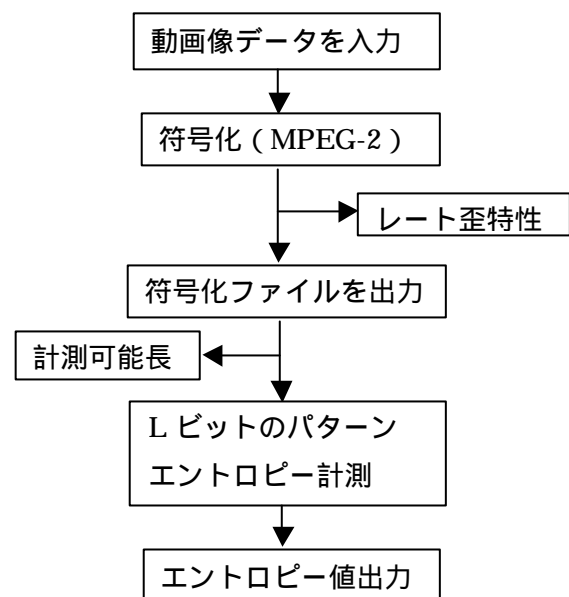


図2.計測手順

動画データの種類については、多い程良いが、一方、符号化結果が乱数であると仮定すると、無作為に抽出したMPEG-2符号化ファイルは互いに相関があることから、多種類のデータを用意しても意味が無いことが示されている。従ってここでは、ビットレート8384kbps(映像8000k+音声384k)ストリーム長4.8Gbit、映像の長さ10分という条件下において、「ニュース」、「野球」、「アニメ」、「サッカー」、「ドラマ」のデータでの実験を行った。

符号化器については、複数の符号化器により符号化データを生成し、エントロピー値の計測を行った。MPEG-2 用のハードウェアエンコーダ（E1）、DVD 作成用ソフトに含まれているソフトエンコーダ三種（E2,E3,E4）とに対して計測を行った。

ビットレートについては、8384kbps を基本として、1000kbps ずつビットレートを低下させて、符号化を行い、性能比較、レート歪特性の計測を行った。

符号化によって得られた符号化ファイルの長さから、エントロピー計測におけるビットパターンの長さを  $L$  のうち、有効結果が得られる範囲の最大値として与えられる「計測可能長」を求め、エントロピー計測を行う。

ビットストリームの長さ  $n$  と計測可能長  $L$  については文献[10]に述べられているが、ある  $L$  ビットのパターンが  $n$  回続けて発生しない確率を  $10^{-m}$  とすると、 $P$  が  $P_e = \frac{1}{2^m}$  以下となる条件より、

$$n \cdot 2^{-L} \cdot \log_2 e \geq 2^m \quad (3)$$

となる。 $m$  は、 $P_e$  を規定する確率のパラメータである。例えば、 $L = 20, m = 7$  の場合、 $n \geq 4.85 \times 2^{20}$  となる。これは、未発生のパターンが  $1/128$  の確率で発生するのがパターンの総数  $2^{20}$  の約 5 倍のときであることを示している。

これより、ストリーム長に対し各計測ビット  $L$  ごとに未発生が発生確率が十分小となる長さが求まり、エントロピー計測の妥当性が求まる。危険率  $1/2^m$  とした時、(3)式で与えられる妥当な区間  $L$  を計測可能長と呼ぶことにする。

## 4. 計測結果と考察

### 4.1 計測可能長

(3)式で求めたエントロピーの計測可能長を表1に示す。ビットレートは 8384kbps に固定した場合を示してある。原画像のサイズは、720 × 480 である。

今回の実験では、計測時間の制約等から  $L=22$  ビット程度までのデータを中心に計測しているが、そのためには少なくとも 1 分の映像を用意すればよい。また、実際には、それより長い映像データも使用した計測も行っている。

表1. ビットストリームに対する必要な映像の長さ

計測ビット	ストリーム長	ビットレート	映像の長さ
20bit	101.8Mbit	8384kbps	12s
21bit	213.7Mbit	8384kbps	25s
22bit	447.7Mbit	8384kbps	53s
23bit	936.1Mbit	8384kbps	112s
24bit	1.95Gbit	8384kbps	233s
25bit	4.07Gbit	8384kbps	8m5s
26bit	8.47Gbit	8384kbps	16m50s
27bit	17.58Gbit	8384kbps	35m
28bit	36.47Gbit	8384kbps	58m27s

### 4.2 実験に用いた画像と符号化ストリームの長さ

画像については、S-VHS ビデオデッキで録画したテレビ番組を、CANOPUS,ADVC1394 でキャプチャーしたものを使用した。基本となる画像 t10 のビットレートは、8384kbps である。また、その他の画像の詳細は、下に

表2 画像とエントロピー計測可能長

( $P_e=1/128$  の場合)

画像	ビットレート	ストリーム長	計測可能長
t40	8384kbps	19.2Gbit	27bit
t10	8384kbps	4.8Gbit	25bit

表3 エンコーダとエントロピー計測可能長

エンコーダ	ビットレート	ストリーム長	計測可能長
E1	8384kbps	4.8Gbit	25bit
E2	8384kbps	4.8Gbit	25bit
E3	8384kbps	4.8Gbit	25bit
E4	8384kbps	4.8Gbit	25bit

表4 画像とエントロピー計測可能長

画像	ビットレート	ストリーム長	計測可能長
t10	8384kbps	4.8Gbit	25bit
t10-07	7384kbps	4.23Gbit	25bit
t10-06	6384kbps	3.65Gbit	24bit
t10-05	5384kbps	3.08Gbit	24bit
t10-04	4384kbps	2.5Gbps	24bit
t10-03	3384kbps	1.94Gbps	23bit
t10-02	2384kbps	1.36Gbps	23bit
t10-01	1384kbps	0.8Gbps	22bit

表5 画像とエントロピー計測可能長

画像	ビットレート	ストリーム長	計測可能長
t10	8384kbps	4.8Gbit	25bit
bas10	8384kbps	4.8Gbit	25bit
ani10	8384kbps	4.8Gbit	25bit
soc10	8384kbps	4.8Gbit	25bit
dra10	8384kbps	4.8Gbit	25bit

なお画像は、ニュースを t、野球を bas、アニメを ani、サッカーを soc、ドラマを dra で表している。

この表から今回用意したデータの多くは、25 ビットの計測可能長を有する充分長い系列であることがわかる。

### 4.3 エントロピー計測

図 3~6 にエントロピー計測結果を示す。

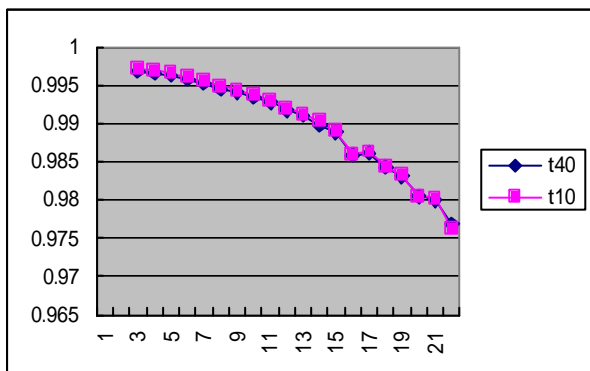


図3「10分,40分の映像」のビットパターン長とエントロピー

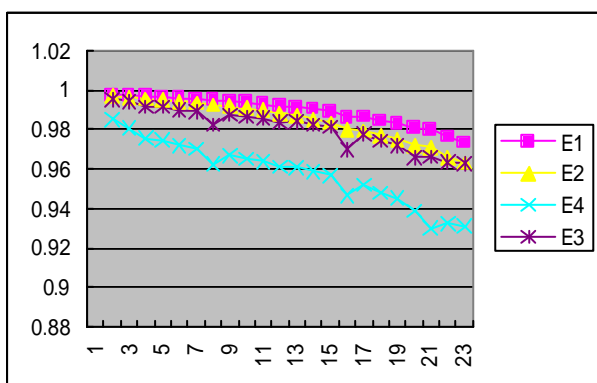


図4 符号化器ごとのビットパターン長とエントロピー

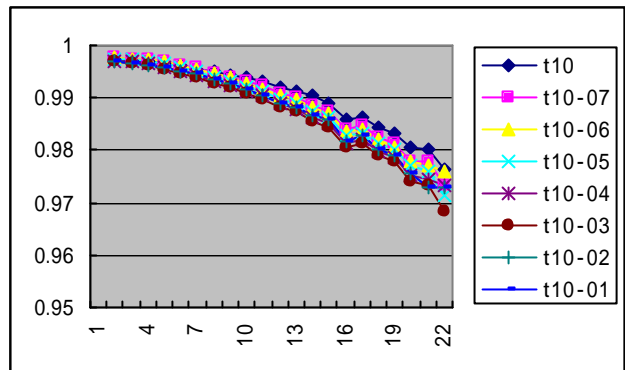


図5 ビットレートごとのビットパターン長とエントロピー

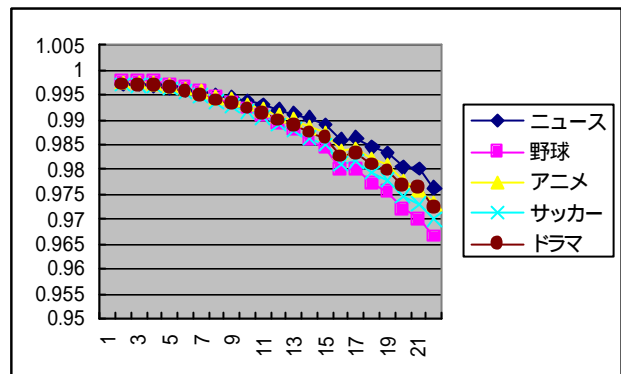


図6 画像ごとのビットパターン長とエントロピー

図 3 はある符号化器 E1 を用い、表 2 に示すような、8384kbps で符号化したデータに対する画像 t の 10 分間と 40 分間の部分のエントロピー値である。映像 10 分間のデータと 40 分間のデータに対し、エントロピー値は、L=22 まで、ほぼ一致している。また L=16 において、やや低下が大きいのは、16 ビット単位での周期構造が部分的に検出されたためではないかと推測される（など、32 ビット固定パターンの符号が多い）。

次に、符号化器を取り替えて、実験を行った。画像は、t で、表 3 に示すような、8384kbps で映像の長さは、10 分の部分を四種類の符号化器 E1,E2,E3,E4 で符号化したデータに対するエントロピー値を図 4 に示す。

同一条件に対し、エントロピー値は各計測長 L に対し、異なっている。E1 が最もエントロピー値が高く、直接的な冗長度が小さい。一方 E4 は、L=20 ビット前後で 5 %程度の冗長度を有しており、直接的な再符号化も可能である。また、E3,E4 においては、L=8,L=16 等においては、エントロピー値の低下があり、図 3 で検討したのと同様に、この場合は、

バイト単位の周期性が表れていると考えられる。また、E3 では  $L=19$ , E4 では  $L=20$  にやや小さい低下が見られ、符号化パターンのある種の周期構造があることが、推測される。

図5 画像 t に対し、異なるビットレートでのエントロピー値の違いを示す。符号化器は E1 である。これによると、レートが、3Mbps の時エントロピーが最小となっている。これは、3Mbps で符号化器の動作が最も低下していることを示唆している。今回使用した素材は、通常のテレビ受信映像をビデオ記録したものであるため、粒状ノイズが含まれていて、符号量が増加しているものと考えられる。また、用いた符号化器 E1 が高ビットレートで性能を発揮するように調整されているとも考えられる。

図6 に画像の内容を変えた場合のエントロピー値を示す。符号化器は、E1 である。素材によって若干の差があるが、図は拡大して表示してあるので、 $L=20$  付近でも 1% 以内の差異しかない。

#### 4.4 SNR, MSE 値の計測

次に S/N 値の計測結果を示す。表6 に数値データを、図7 にグラフを示す。画像 t10 に対し、四種類のビットレートを設定し、MSE, SNR を求めた。符号化器は E1 である。図7 には、各符号化出力のエントロピー値 ( $L=22$ ) を同時に示してある。

表6 ビットレートごとの SNR, MSE

ビットレート	MSE	SNR
2384k bps	33.5	32.9
4384k bps	29	33.5
6384k bps	24.5	34.2
8384k bps	20	35.1

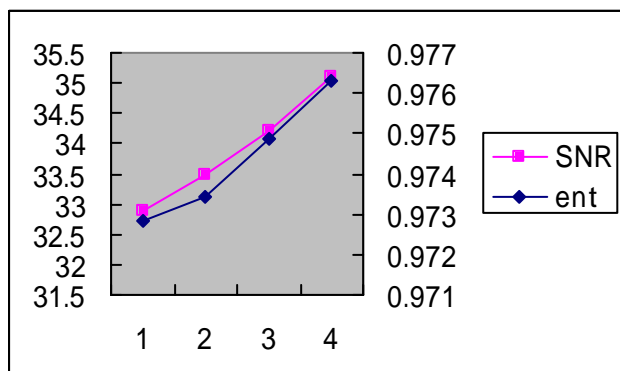


図6 エントロピーと SNR の関係

この場合、ビットレートと、S/N で表されるレート歪特性とエントロピーで表される冗長度が連動している。二つの特性は本実験のように、同じ傾向になる場合と、逆の傾向になる場合が考えられる。図7 からは、1 においては、レート歪特性の劣化と冗長度の増加が同時に生じている。

## 5. 結論

符号化器が出力したビットストリームを解析することにより MPEG 符号化性能の限界の評価を試みた。未発生のパターンの発生確率が十分小さくなるような長さのビットストリームを用いて、精度の定量化を行った。最良の符号化器でも、22 ビット程度のエントロピーで、約 2.5% の冗長度が見られたが、SNR 値では 35 という数値をとった。計測に使った画像の状態もあるが、まだ多少、符号化器には改良の余地があるのではないかとと思われる。ただ、従来の符号化器と比べると十分な画質を保持しており、また、符号化器の評価に対する一つの評価法の提案はできたのではないかと思う。

## 参考文献

- [1] 島村, 遠藤, 大関 “圧縮ビットストリームの解析による符号化性能限界の評価” 電子情報通信学会総合大会 D-11-163, 2000.3
- [2] 島村, 大関 “圧縮ビットストリームの解析におけるサンプル推定計算方式” 電子情報通信学会ソサエティ大会 D-11-23, 2000.10
- [3] 島村, 大関 “圧縮ビットストリームの解析における精度評価” 電子情報通信学会総合大会 D-11-15, 2001.3
- [4] 島村, 大関 “圧縮ビットストリームの解析におけるサンプル推定計算方式と評価” PCSJ2000.P-P1.12, 2000.11.
- [5] H. Moradi et al. “Entropy of English Text: Experiments with Humans and a Machine Learning System Based on Rough Sets”, Information Sciences an international vol. 104, no.1-2, pp.31-48. 1998.
- [6] <http://www.fourmilab.ch/random/>
- [8] 伏見正則「乱数( up 応用数学選書 12 )」, 東大出版会. 1989.
- [9] <ftp://ftp.tek.com/tv/test/streams/Element/MPEG-video/525>
- [10] K. Ohzeki, S. Shimamura, “Analysis of Codec Bitstream To Find Out Statistical Correlations for Longer Interval” Proc. WOSPA2000, 1-16. Dec. 2000
- [11] K. Ohzeki, S. Shimamura, “Analysis of Codec Bitstream of Picture-Effects of Calculating Accuracy” PCS-2001, FP-1-18, April. 2001