

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目:基盤研究(C)

研究期間:2007~2008

課題番号:19500075

研究課題名(和文) 超高精細動画像信号の高圧縮可逆符号化に関する研究

研究課題名(英文) Study on an efficient reversible coding method of super high-definition images

研究代表者

加藤 茂夫 (KATO SHIGEO)

宇都宮大学・工学研究科・教授

研究者番号:00143529

研究成果の概要:

本研究では静止画像の可逆符号化方式として原理的に優れた方式であるマルコフモデル符号化を動画像信号の符号化に適用する際の問題点を明らかにし、これを解決することにより、超高精細動画像信号の高圧縮可逆符号化方式を開発した。具体的には、従来の手法に加え、動き補償予測ベクトルも利用してマルコフモデル符号化の参照画素を決定し、高圧縮可逆符号化を実現した。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野:

科研費の分科・細目:

分科:情報学

細目:メディア情報学・データベース

キーワード:マルチメディア情報処理, 情報圧縮, 画像データ圧縮, 可逆符号化, 超高精細画像

## 1. 研究開始当初の背景

超高精細画像のような高度感性情報は情報保存型の符号化(可逆符号化)を行うべきであるが、これまでは、必ずしも情報保存型の符号化が注目を浴びているわけではなかった。しかし、芸術作品のような、未来に遺すべき人類の文化遺産を電子メディアに記録する際には非可逆符号化を行うことの過ちは、

看過できるものではない。このような考え方は、本研究者が終始一貫して独自に主張してきているものであり、このフィロソフィーのもとに、これまで、平成13年度~平成15年度、および平成16年度~平成18年度の2度にわたり、科学研究補助金(基盤研究(B))により、デジタルミュージアム用の超高精細画像符号化伝送システムの基本概念の構築を行い、

相当の成果を挙げてきている。

しかるに、各種情報の高品質化・高精細化にともない、対象は静止画像から超高精細動画像へと大きく変貌してきており、超高精細動画像に対する高効率可逆符号化を開発することが急務になっている。しかしながら、超高精細静止画像と超高精細動画像は、その性質が異なり、これまで開発されている超高精細静止画像信号に対する符号化方式をそのまま用いても、期待する効果を得ることはできない。そこで、本研究では、これまで培ってきた超高精細静止画像に対して得た知見をベースに、超高精細動画像信号に対する高圧縮可逆符号化方式を開発することを目的に研究を行った。

## 2. 研究の目的

本研究では、下記のように2つの目的を設定した。まず第一の目的は、これまで培ってきた超高精細静止画像に対して得た知見をベースに、超高精細動画像信号に対する高圧縮可逆符号化方式を開発し、その実現のためのフレームワークを構築することである。

この第一の目的を実現する上で必ず遭遇する問題がある。それは、「動画像信号ははたしてどこまで圧縮できるか？」という基本命題である。デジタル画像信号の可逆圧縮は、一般に図1で示すことができる。図1で $X$ は画素あたりの原データ量、 $H$ はモデルに基づくエントロピー、 $L$ は実際の平均符号長であるが、理論的には、符号化モデルで規定されるエントロピー $H$ が理論的圧縮限界となることが証明されている。しかし、これを実現するためには、(1)どのような符号化モデルを用いるべきか、また、そのモデルを実現するにはどうすればよいか、というモデルに起因する問題と、(2)モデルが定まり、それが実現できたとしても、平均符号長をそのエントロピーに到達させるための符号構成をどうするか、というエントロピー符号化に帰着する問題とがある。特に(1)は、圧縮の成否のキーとなる重要な問題であり、対象とする画像信号の性質に応じた最適なモデルを構築する必要がある。そこで、本研究における第二の目的は、このような、「動画像信号ははたしてどこまで圧縮できるか？」というきわめて挑戦的な課題にチャレンジし、その理論的限界を達成するための符号化方式実現のヒントや解決策を与えようとするものである。

静止画像および動画像の可逆符号化に関しては、国内外の研究機関で活発に研究されており、また、JPEG2000、MPEG、H.264/AVCなど、国際標準化も行なわれて

いるが、研究の多くはハードウェア技術による実現に主眼をおいた方式でありヒューリスティックなアプローチによるものが多く、本研究のように基本理論的な側面から考究し、方式の開発を試みようとするものはほとんどない。

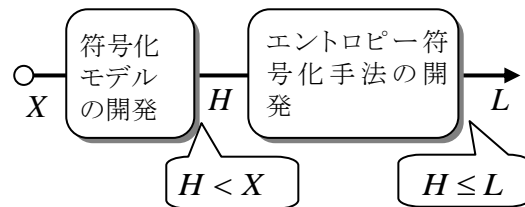


図1 高圧縮可逆符号化方式の基本概念

## 3. 研究の方法

マルコフモデル符号化の基本概念は、図2で表すことができる。マルコフモデル符号化では、符号化する画素ごとに逐一参照画素の状態を調べ、その状態ごとに着目画素値の条件付分布を測定し、コンパクト符号あるいは算術符号などにより着目画素値を符号化することになる。したがって、たとえば、256値のデジタル画像においては、参照画素数を4画素としても、出現可能な状態数は $10^9$ 以上となり、この各状態ごとにコンパクト符号を用意して符号化する必要がある。さらに、統計量ベース符号化であるため、各状態のエントリごとにかなりの数の要素が存在しないとエントロピーの実現は不可能になる。

ここで、マルコフモデル符号化実現の際に生じる問題点(1)(2)を整理すれば、以下のように6つの課題にまとめられる。

- ①膨大な計算量、処理の高速高機能化、膨大な必要メモリ空間の必要性による実現の困難性
  - ②マルコフテーブルがスパースになることによる統計量ベース符号化の困難性
  - ③初期テーブルの設定問題とマルコフテーブルの動的構成化問題
  - ④マルコフモデルエントロピー実現のためのエントロピー符号構成の問題
- さらに、マルコフモデル符号化による動画像信号の高効率符号化の実現のためには上記の問題を解決した上で、
- ⑤動画像特有の性質を利用した効率的なマルコフモデルを構築すること
- および、
- ⑥動画像信号のリアルタイム符号化のための処理の高速化
- が挙げられる。以上の課題(問題点)を解決

するために、下記の方法により研究を遂行した。

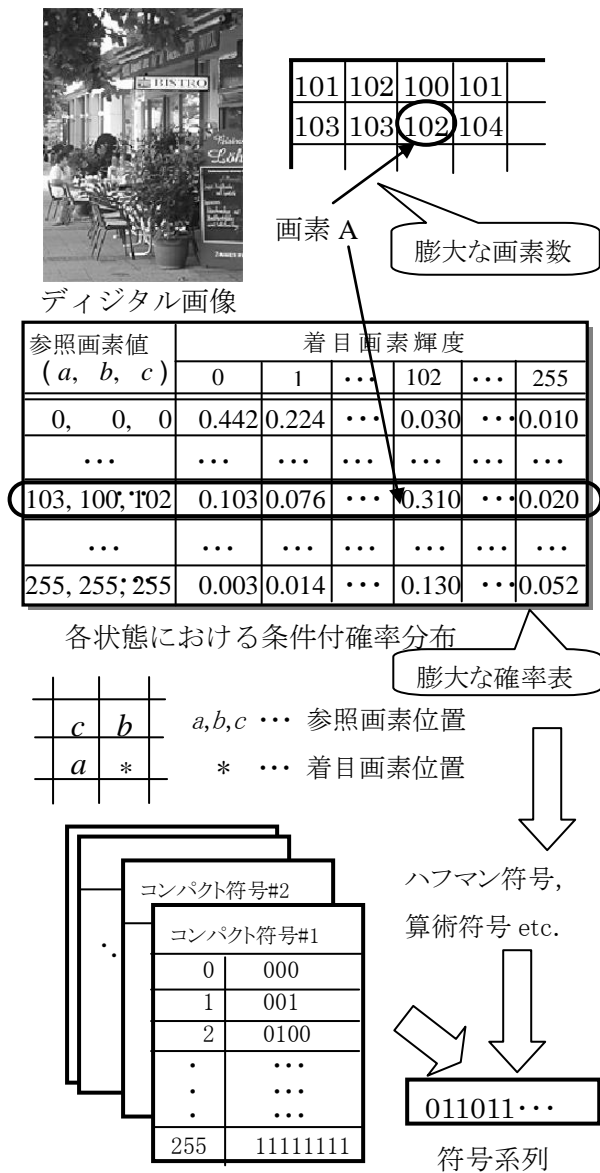


図2 マルコフモデル符号化の概念

まず、平成 19 年度は、上記の課題のうち①から④を解決する手法を提案した。すなわち、①の問題は、本研究申請者らが参画している、本学における重点推進研究テーマである「次世代アプリケーションのための高性能計算機システム」における研究課題にもなっており、超並列処理、自己最適化、演算高速化のアプローチから進めた。

②の問題点については、符号化画素数に比べ、コンテキストの出現可能種類数が多いことから生じる問題であるが、ここで、超高精細動画信号を対象にした場合、10 分間の動画信号でも画素数は  $10^{11} \sim 10^{12}$  程

度にもなるため、統計ベース符号化が成立する可能性が高くなる。さらに、同一シーンの間(シーンチェンジから次のシーンチェンジまで)は、出現状態の分散は大きくならないことが考えられるため、各状態の要素の集中度は大きくなることが予想され、マルコフモデル符号化の実現可能性は静止画像の場合に比べ、はるかに高くなることが考えられる。このような考えのもとに統計的性質を調査し、マルコフモデル符号化の実現性を検討した。課題③および課題④については、われわれがこれまで静止画像の可逆符号化問題で培ってきた知見をベースに問題点を明らかにし、その解決策を提案した。

次に、平成 20 年度においては、前記課題①～④について検討を進め、実際の動画画像信号に対してシミュレーションを行なってさらに効果的な方式を追求するとともに、前記課題⑤および⑥について検討を進めた。まず、課題⑤については、動画画像特有の性質として、フレーム間相関を利用したマルコフモデルを構築する。動画画像信号の場合、動き補償予測が効果的であることが知られているが、本研究では動き補償画素をマルコフモデルのコンテキストとして利用可能かどうかについて検討した。また、同時に、参照フレームおよび着目フレーム内の複数画素を利用し、効果的なマルコフモデルを構築する。次に、動画画像信号のリアルタイム符号化のための処理の高速化については、①で得た知見をもとにリアルタイム符号化の実現を図った。ボトルネックとなるのは算術符号化演算であると考えられるが、これについては、これまでの研究代表者らによる算術符号に関する研究成果から、そのリアルタイム符号化の実現は可能であるとの見通しを得た。以上の方法で研究を進め、さらにシミュレーション実験を行なって効果を確認した。

#### 4. 研究成果

(1) 概要: 本研究では、超高精細動画信号の高圧縮可逆符号化の検討を行った。具体的には超高精細動画信号に対する高圧縮可逆符号化方式としてマルコフモデル符号化を用いた方式の実現可能性を明らかにした。以下、本研究で明らかにした点について述べる。

①膨大な計算量、処理の高速高機能化、膨大な必要メモリ空間の必要性の問題:この問題については、本研究申請者らが参画している、本学重点推進研究テーマである「次世代アプリケーションのための高性能計算機システム」における研究課題にもなっており、超並列処理、

自己最適化等による解決を検討した。

②マルコフテーブルがスパースになることによる統計量ベース符号化の問題:これは、符号化画素数に比べ、コンテキストの出現可能種類数が多いことから生じる問題であるが、超高精細動画像信号を対象にした場合には統計ベース符号化が成立する可能性が高くなることを明らかにした。さらに、同一シーンの間は、各状態の要素の集中度は大きくなることが予想され、マルコフモデル符号化の実現可能性は静止画像の場合に比べはるかに高くなることが考えられることから、統計的性質を調査しマルコフモデル符号化の実現可能性を明らかにした。

③マルコフテーブルの初期設定問題と動的構成化およびエントロピー符号構成の問題:符号化の実現にあたっては、マルコフテーブルの初期設定および符号構成が大きな問題となるが、算術符号の動的適応化を検討し効率の高い符号を提案した。

## (2) シミュレーション

上記の考えのもとに実画像について符号化シミュレーションを行い、開発した方式の性能を評価した。具体的な手法としては、動画像符号化に用いられる動き補償予測符号化を利用し、動きベクトルで示される前フレームの参照画素を、マルコフモデルの参照画素とする手法について提案し、符号化シミュレーションを行った。結果を表1に示す。

シミュレーション対象画像は、映像情報メディア学会のシステム評価用標準動画像 Soccer および European であり、いずれも、1920×1035 画素、30 fps、の 20 秒間、1シーケンス 600 フレームからなるモノクローム動画像シーケンスである。

まず、表1は、可逆予測符号化を行った場合の予測誤差エントロピーである。無記憶は原画像の輝度分布に基づくエントロピー、平面予測は、図3の参照画素位置  $a, b, c$  について、予測値を

$$\hat{x} = a + b - c$$

とした場合の予測誤差エントロピーであり、フレーム間は、直前フレームにおける着目画素と同位置の輝度値を予測値とした場合、動き補償予測は、動き補償予測を行った場合の予測誤差エントロピーである。表中、下線が引いてあるセルは、各方式中でエントロピーが最も低くなったものを示している。

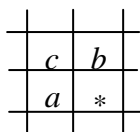


図3 参照画素位置

表1 予測誤差エントロピー

[bit/pel]

	方式	Soccer	European
a	無記憶	5.4902	5.4638
b	平面予測	4.8047	3.7889
c	フレーム間	4.7752	4.1222
d	動き補償予測	<u>4.3919</u>	<u>3.7070</u>

次に、2画素参照時のマルコフモデルエントロピーを表2に示す。

表2において、直前+直上とは、参照画素を図3の  $a, b$  画素とした時のマルコフモデルエントロピー、Inter+MC は、直前フレームにおける着目画素と同位置の画素と、直前フレームにおいて動きベクトルが示す位置の画素の2画素を参照した場合のマルコフモデルエントロピー、また、直前+MC は、図3の画素  $a$  と直前フレームにおいて動きベクトルが示す位置の画素の2画素を参照した場合のマルコフモデルエントロピーである。ここでは、比較のために、Motion-JPEG2000で可逆符号化を行った場合の符号量も掲げている。 $a \sim c$  はエントロピーの値であり、 $d$  は符号量であるので、これらの直接の比較はできないが、提案方式  $c$  は Motion-JPEG2000 よりも 10 パーセント程度の改善を得ており、実際の符号化による効率低下を考慮しても、提案方式は Motion-JPEG2000 よりも符号量の減少が可能となり、本研究により、動画像可逆符号化における本提案方式の有効性が期待できると結論付けられる。

表2 マルコフモデルエントロピー

[bit/pel]

	方式	Soccer	European
a	直前+直上	4.3172	3.4730
b	Inter+MC	4.3280	3.7318
c	直前+MC	<u>4.1404</u>	<u>3.1376</u>
d	Motion-JPEG2000	4.4626	3.4962

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

- ① 大和田久司, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “Schalkwijk 符号の概念を用いたディザ化画像の効率的符号化,” 画像電子学会誌, vol.37, no.1, pp.25-31, Jan. 2008, 査読有.

- ② 辻正博, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “ウェーブレット変換を利用した可逆電子透かし方式の一提案,” 画像電子学会誌, vol.36, no.6, pp.876-882, Nov. 2007, 査読有.

[学会発表] (計 26 件)

- ① Koji Arakawa, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, “Lossless Coding of Printed Images by Markov Model Coding Method,” IEVC2007, Cairns, Australia, 2P-6, Nov. 2007, 査読有.
- ② 高野展寿, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “乗算型 2 値算術符号による静止画像の可逆符号化について,” 画像電子学会第 237 回研究会, 07-05-07, pp.41-45, Mar. 2008.
- ③ 大和田久司, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “高精細動画画像信号の可逆符号化における動き補償ブロックサイズについての検討,” 映像情報メディア学会研究報告, Vol.31, No.37, pp.13-16, Aug. 2007.

[図書] (計 1 件)

- ① 画像電子学会編, (長谷川まどか(分担執筆), 加藤茂夫(分担執筆)他著者多数), “画像電子情報ハンドブック,” 東京電機大学出版局, Feb. 2008.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

加藤 茂夫 (KATO SHIGEO)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号:00143529

### (2)研究分担者

長谷川 まどか (HASEGAWA MADOKA)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号:80322014