

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月29日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20500102

研究課題名（和文）映像コンテンツのロスレス再符号化に関する研究

研究課題名（英文）A Study on Lossless Re-encoding of Multimedia Contents

研究代表者

松田 一郎 (MATSUDA ICHIRO)

東京理科大学・理工学部・准教授

研究者番号：70287473

研究成果の概要（和文）：旧世代の符号化方式で記録された映像コンテンツを、画質を保ったまま効率的に再符号化する技術の開発を行った。主に静止画像および動画像符号化の国際標準である JPEG および MPEG-1 方式を対象として再符号化アルゴリズムの実装と検証を行い、既存の映像データの符号量を 10～30 %削減することに成功した。この結果は、過去に記録された膨大な量の映像資産を、最新の符号化方式に匹敵する効率で蓄積・保存する手法を確立したことを意味する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a lossless re-encoding technique which can compress the existing image contents without any additional loss of quality. The basic algorithm was mainly designed for JPEG and MPEG-1 schemes: the international coding standards widely used for images and videos. As a result, 10–30 % bit-rate savings are achieved against the already compressed image data. This new technology enables us to archive a large amount of the existing image contents with efficiency comparable to state-of-the-art coding schemes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：画像情報工学

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：画像符号化、データ圧縮、ロスレス再符号化、離散コサイン変換、イントラ予測、動き補償予測、量子化、算術符号

## 1. 研究開始当初の背景

画像関連機器のデジタル化の流れの中で、映像コンテンツの圧縮技術は極めて重要な役割を果たしており、静止画像符号化方式である JPEG をはじめ、映像符号化に関する様々な国際標準方式が規格化されている。

これらの国際標準方式の多くは、ロッキー（非可逆）符号化と呼ばれる圧縮手法を採用

している。ロッキー符号化は、若干の画質劣化を許容する代わりに、高い圧縮率を実現するものであるが、その性質上符号化と復号を繰り返すと、再生誤差が加法的に蓄積することが知られている。このため、ロッキー符号化方式で記録された映像コンテンツを、最新技術を駆使して再度符号化しようとしても、新たな画質劣化の発生によって符号化効率

の低下を招いてしまうという問題が生じる。  
このことは、過去に蓄積された膨大な映像資産については、新しい符号化技術の恩恵が得られないことを意味し、JPEG のように一度普及した符号化技術の世代交代を妨げる要因となっている。

## 2. 研究の目的

上述の問題を解決するには、再符号化に際して情報の損失を一切許容しないロスレス（可逆）符号化の概念を導入することが必要である。本研究課題では、旧世代の国際標準規格で記録された映像コンテンツを、元の画質を完全に保持したまま効率的に再符号化する技術の確立を目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究課題の目的を着実に達成するため、以下の検討項目を設定し、段階的に問題解決を図った。

### (1) DCT 係数の算術符号化技術の確立

JPEG をはじめとする国際標準方式の多くは、離散コサイン変換(DCT)に基づいた符号化アルゴリズムを採用している。このため、効率的な再符号化処理を実現するためには、符号化データの大部分を占める量子化済み DCT 係数の符号化効率を高めることが重要である。

我々は、高速な多値算術符号器として知られるレンジコーダに着目し、DCT 係数の確率分布を高精度にモデル化するアルゴリズムを組み合わせることで、DCT 係数のエントロピー符号化に関する効率の改善を図った。

### (2) イントラ予測手法の検討

DCT はブロック単位の処理であるため、そのままの実装では画像信号のブロック間相関を利用することができない。これに対し、最新の動画像符号化標準である H.264/AVC では、隣接ブロックの再生値を用いたイントラ予測と呼ばれる手法によって、DCT 係数の冗長度を削減している。このイントラ予測手法をロスレス再符号化の枠組みに導入する際の技術的課題を明らかにし、その解決に取り組んだ。

### (3) 動画像信号の冗長度削減技術の改良

先に述べた H.264/AVC 方式では、時間方向の相関を利用した動き補償予測と、空間方向の相関を利用したイントラ予測を、ブロック単位で切り替えることにより動画像信号の冗長度を削減している。

我々は、動画像コンテンツの効率的なロスレス再符号化を実現するための要素技術として、動き補償予測の高精度化に取り組んだ。また、この過程でイントラ予測と動き補償予

測を統合した新しい時空間予測の原理を見出し、その実用化に向けた検討を行った。

### (4) ロスレス再符号化方式の実装と検証

(1), (2)の検討結果に基づいて、JPEG 方式に特化したロスレス再符号化アルゴリズムの設計・実装を行い、多数の JPEG 画像を用いた評価実験を実施した。

更に、(3)の成果を踏まえて MPEG-1 方式への拡張についても検討し、ロスレス再符号化の手法が動画像コンテンツに対しても有効であることを実証した。

### (5) その他の標準規格への拡張

我々が提唱するロスレス再符号化の概念が汎用的なものであることを示すため、JPEG の後継規格である JPEG 2000 や、音響データの符号化方式として普及している MPEG-1 Audio Layer 3 (MP3)方式への拡張に向けた基礎検討を行った。

## 4. 研究成果

本研究課題の主要な成果を以下に示す。

### (1) JPEG 画像のロスレス再符号化

最初の開発目標とした JPEG 画像のロスレス再符号化方式に関しては、プロトタイプ在完成後も改良を続け、その都度学術論文などを通して成果を公表した。

表 1 は、標準的な JPEG 符号器で圧縮した画像データをロスレス再符号化した際の符号量の削減率を、先行方式と比較した結果である。一部の画像で商用ソフトウェアである StuffIt に劣る場合があるものの、平均的には提案方式が最も優れた性能を示している様子を確認できる。この結果は、符号化済みの JPEG 画像データを、更に 3/4 程度のサイズに圧縮できることを示すものである。

表 1 再符号化後の符号量の削減率

画像	提案方式	StuffIt	PackJPG
Camera	<b>22.9 %</b>	19.7 %	15.9 %
Couple	<b>23.2 %</b>	22.2 %	18.6 %
Noisesquare	<b>26.5 %</b>	21.5 %	25.6 %
Airplane	23.4 %	<b>24.5 %</b>	19.8 %
Baboon	<b>19.0 %</b>	17.2 %	15.8 %
Lena	<b>24.2 %</b>	24.1 %	18.7 %
Lennagrey	<b>25.4 %</b>	25.2 %	19.2 %
Peppers	24.0 %	<b>26.0 %</b>	19.6 %
Shapes	33.2 %	<b>34.4 %</b>	25.7 %
平均	<b>24.7 %</b>	23.9 %	19.9 %

### (2) MPEG-1 動画像のロスレス再符号化

JPEG 画像の再符号化アルゴリズムの開発で得られた知見を元に、動画像符号化方式である MPEG-1 規格への拡張を図った。図 1 は、

量子化パラメータ一定で符号化した MPEG-1 動画像、およびそれを提案方式によって再符号化した際のレート・歪特性を示したものである。これより、画質(PSNR)を一切低下させることなく、符号化レートのみを 18~27%削減している様子を確認できる。なお、動画像コンテンツに対するロスレス再符号化については、先行研究が皆無であり、我々のグループが世界に先駆けてその有用性を示したといえる。

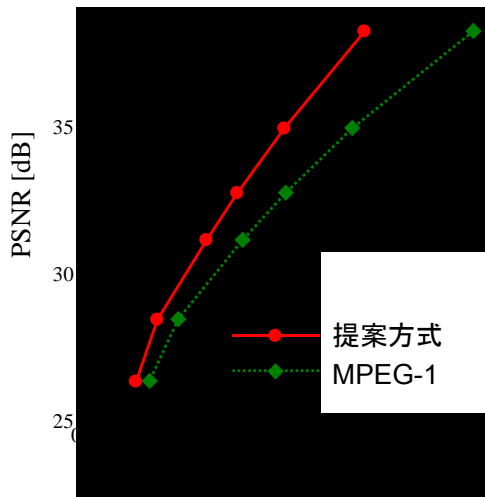
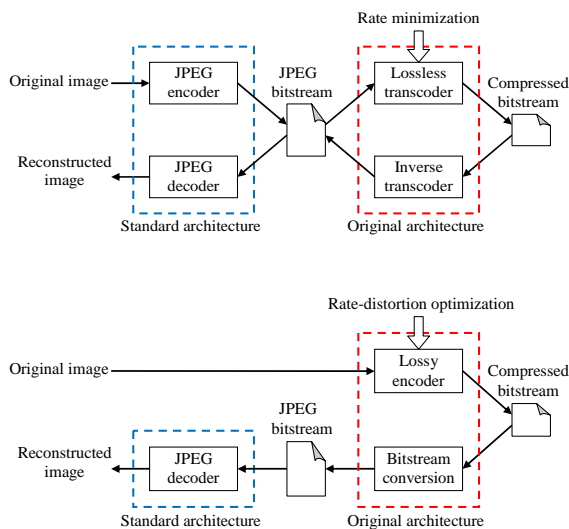


図1 レート・歪特性

### (3) 標準ビットストリームに対応した符号化方式への拡張

我々が開発したロスレス再符号化方式は、標準規格に準拠した符号化処理部と独自の再符号化処理部を、図2のように標準方式のビットストリーム (JPEG 画像データなど) を中間形式として縦続接続したものとみなすことができる。この考えを更に発展させ、図3のようにそれぞれの符号化処理の統合を図ることで、標準方式を上回る符号化効率を



達成すると同時に、復号時には標準ビットストリームを生成する、特殊なロシー符号化方式を構成することが可能である。これにより、映像再生時には標準方式に準拠した既存の復号器をそのまま利用可能となり、符号化技術の世代交代を妨げていた互換性の問題を部分的に解決できると考えられる。JPEG方式を対象とした検討では、この方法によって JPEG 2000 や JPEG XR といった最新の符号化方式を上回る符号化効率を達成しており、映像符号化技術の新しい可能性を示したといえる。

### (4) その他の成果

本研究課題の副次的な成果である時空間予測手法は、ロスレス再符号化方式に特化したものではなく、映像信号の冗長度削減技術として幅広い応用が可能である。また、平均値座標に基づいたブロック単位の挿入・外挿処理により、DCT符号化の順序を自由に変更可能な新しいイントラ予測の原理を考案しており、H.264/AVCのイントラ予測方式よりも高性能であることを確認している。更に、動画像信号の動き補償予測に必要な動ベクトルの符号化法についても、多峰性確率モデルに基づいた多値算術符号化方式の検討を行っている。

これらの手法は、本研究課題の枠組みを超えた汎用的な要素技術として有用であり、映像符号化分野全般の技術向上に寄与するものであるといえる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① 松田一朗, 望月慎太, 青森 久, 伊東 晋, “平均値座標に基づいた適応イントラ予測の検討”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J95-D, No.9, 2012 (掲載予定).
- ② 松田一朗, 橋本峻弥, 須田貴志, 池田 悠, 青森 久, 伊東 晋, “イントラ予測と算術符号を用いたJPEG画像のロスレス再符号化”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J94-D, No.8, 2011, pp.1486-1495.
- ③ 松田一朗, 橋本峻弥, 小池弘幸, 青森 久, 伊東 晋, “Rate-Distortion Optimized Image Coding Allowing Lossless Conversion to JPEG Compliant Bitstreams”, Proc. of 19th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO-2011), 査読有, IVP-P3, 2011, pp.574-578.
- ④ 小池弘幸, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “JPEG準拠のビットストリームに可逆変換可能な画像符号化方式”, 情報処理学会研究報告, 査読無, Vol.2011-AVM-73, No.5,

- 2011, pp.1-6.
- ⑤ 海野恭平, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “ブロック適応時空間予測に基づいた動画画像符号化の検討”, 情報処理学会研究報告, 査読無, Vol.2011-AVM-72, No.2, 2011, pp.1-6.
- ⑥ 海野恭平, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “Adaptive Spatio-Temporal Prediction for Block-Based Video Coding”, Proc. of 2010 Workshop on Picture Coding and Image Processing (WPCIP 2010), 査読有, WP1-13, 2010, pp.26-27.
- ⑦ 池田 悠, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, 内藤 整, 酒澤茂之, “Lossless Re-Encoding of Color MPEG-1 Video”, Proc. of 2010 Workshop on Picture Coding and Image Processing (WPCIP 2010), 査読有, WP1-15, 2010, p.30.
- ⑧ 松田一朗, 渡辺寛之, 海野恭平, 青森 久, 伊東 晋, “動画画像符号化のためのブロック適応時空間予測”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J93-D, No.9, 2010, pp.1669-1671.
- ⑨ 松田一朗, 海野恭平, 青森 久, 伊東 晋, “Block-Based Spatio-Temporal Prediction for Video Coding”, Proc. of 18th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO-2010), 査読有, P-IVP-2, 2010, pp.2052-2056.
- ⑩ 海野恭平, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “動画画像符号化のためのブロック適応時空間予測器の最適化”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.110, No.148, 2010, pp.71-76.
- ⑪ 若林 慧, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, 内藤 整, 酒澤茂之, “1/4画素精度動き補償を併用したMPEG-1 動画画像のロスレス再符号化”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.109, No.469, 2010, pp.97-102.
- ⑫ 松田一朗, 若林 慧, 池田 悠, 伊東 晋, “A Lossless Re-encoding Scheme for MPEG-1 Video”, Proc. of 17th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO-2009), 査読有, 2009, pp.1834-1838.
- ⑬ 池田 悠, 若林 慧, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, 内藤 整, 酒澤茂之, “算術符号を用いたMPEG-1 動画画像のロスレス再符号化”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.109, No.148, 2009, pp.19-24.
- ⑭ 野本恭男, 萩野 崇, 松田一朗, 伊東 晋, “ブロック適応イントラ予測に基づいたJPEG 画像のロスレス再符号化”, 情報処理学会研究報告, 査読無, Vol.2009, No.23, 2009, pp.17-22.
- ⑮ 松田一朗, 野本恭男, 若林 慧, 伊東 晋, “Lossless Re-encoding of JPEG Images Using Block-Adaptive Intra Prediction”, Proc. of 16th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO-2008), 査読有, No.L3-6, 2008.
- [学会発表] (計 17 件)
- ① 千代島智也, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “再帰型イントラ予測とDSTを用いた静止画像の符号化”, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012年3月23日, 岡山大学津島キャンパス(岡山県).
- ② 名取慶亮, 松永健公, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “動き補償予測を用いたMotion-JPEG動画画像のロスレス再符号化”, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012年3月23日, 岡山大学津島キャンパス(岡山県).
- ③ 望月慎太, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “画像符号化のための平均値座標に基づいたイントラ予測方式”, 2011年映像情報メディア学会冬季大会, 2011年12月21日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス(東京都).
- ④ 小池弘幸, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “JPEG準拠のビットストリームに可逆変換可能な画像符号化方式 ー再帰型イントラ予測の導入ー”, 第26回画像符号化シンポジウム(PCSJ 2011), 2011年10月27日, ニューウェルシティ湯河原(静岡県).
- ⑤ 須田貴志, 名取慶亮, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “再帰型イントラ予測を用いたMPEG-1 動画画像のロスレス再符号化”, 第26回画像符号化シンポジウム(PCSJ 2011), 2011年10月27日, ニューウェルシティ湯河原(静岡県).
- ⑥ 橋本峻弥, 小池弘幸, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “再帰型イントラ予測を用いたJPEG画像のロスレス再符号化”, 第10回情報科学技術フォーラム(FIT 2011), 2011年9月8日, 函館大学・函館短期大学(北海道).
- ⑦ 海野恭平, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “ブロック適応時空間予測を用いた動画画像符号化方式”, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月15日, 東京都市大学世田谷キャンパス(東京都).
- ⑧ 小池弘幸, 橋本峻弥, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, 内藤 整, 酒澤茂之, “JPEG画像のロスレス再符号化のためのDCT係数のモデル化に関する一検討”, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学世田谷キャンパス(東京都).
- ⑨ 伊藤祐也, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “動画画像の可逆符号化に用いる動ベクトルの算術符号化に関する一検討”, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学世田谷キャンパス(東京都).
- ⑩ 長谷川貴一, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋,

“MP3 オーディオデータのロスレス再符号化のための予測器の設計に関する検討”, 2011年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス(大阪府).

- ⑪ 佐藤慶太, 竹内祥悟, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “重み付き多峰性確率モデルを用いた動ベクトルの算術符号化”, 2010年電子情報通信学会総合大会, 2010年3月16日, 東北大学川内キャンパス(宮城県).
- ⑫ 須田貴志, 池田 悠, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, 内藤 整, 酒澤茂之, “MPEG-1 動画像のロスレス再符号化 —多峰性確率モデルによる動ベクトルの符号量削減—”, 2010年電子情報通信学会総合大会, 2010年3月16日, 東北大学川内キャンパス(宮城県).
- ⑬ 上田直之, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “WT係数のブロック適応予測に基づいたJPEG2000 画像のロスレス再符号化”, 2009年映像情報メディア学会冬季大会, 2009年12月17日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス(東京都).
- ⑭ 渡辺寛之, 青森 久, 松田一朗, 伊東 晋, “動画像符号化のためのブロック適応時空間予測の最適化に関する基礎検討”, 第24回画像符号化シンポジウム(PCSJ 2009), 2009年10月7日, ラフォーレ修善寺(静岡県).
- ⑮ 竹内祥悟, 海野恭平, 松田一朗, 青森 久, 伊東 晋, “多峰性の確率モデルを用いた動ベクトルの算術符号化”, 2009年映像情報メディア学会年次大会, 2009年8月27日, 工学院大学(東京都).
- ⑯ 池田 悠, 若林 慧, 松田一朗, 伊東 晋, “GOP毎の確率モデル更新に基づいたMPEG-1 動画像のロスレス再符号化”, 2009年電子情報通信学会総合大会, 2009年3月18日, 愛媛大学(愛媛県).
- ⑰ 若林 慧, 松田一朗, 伊東 晋, “ブロック適応イントラ予測を用いたMPEG-1 動画像のロスレス再符号化”, 2008年映像情報メディア学会冬季大会, 2008年12月9日, 機械振興会館(東京都).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

本研究課題に関する受賞

- ① 海野恭平, “ブロック適応時空間予測に基づいた動画像符号化の検討”, 情報処理学会山下記念研究賞, 2012年3月7日.
- ② 上田直之, “WT係数のブロック適応予測に基づいたJPEG2000 画像のロスレス再符号化”, 映像情報メディア学会学生優秀発表賞, 2010年9月1日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 一朗 (MATSUDA ICHIRO)  
東京理科大学・理工学部・准教授  
研究者番号 : 70287473

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし