

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420355

研究課題名(和文) 算術符号化原理を用いた情報源符号化および通信路符号化の統合符号化方式の開発

研究課題名(英文) Unified Coding of Source and Channel Coding using An Arithmetic Code

研究代表者

加藤 茂夫 (Kato, Shigeo)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：00143529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：算術符号は高効率符号として知られているが符号化及び復号に多大な時間を要する。このため従来は近似計算による算術符号の高速化を図ってきた。しかし、近年のハードウェアの技術進歩により、乗算型算術符号での最大符号化効率を維持した高速化の実現も検討できる。

本研究では、無記憶情報源に対して情報源の拡大処理を導入し、通報の確率と下位アドレスを計算するために必要となる確率値を保持するテーブルサイズを変化させ、それに伴う演算回数の削減度を調べて高速化の可能性を検討した。実験の結果、提案方式は符号化時間及び復号時間を、それぞれ、従来の約13/100程度まで削減できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Although the arithmetic coding method is known as a highly effective entropy code, its encoding and decoding are time consuming due to the symbol-by-symbol arithmetic operations. Several approaches have been proposed to reduce the computation time by replacing the multiplication for the augend calculation with the addition, subtraction or shift operation, or by using some conditions in the state transition table for probability estimation. However, these approximations cause a loss of the coding efficiency. The recent progress of the hardware technology allowed us to use faster multipliers and bigger storage media.

In this paper, we propose a fast binary arithmetic coding by using the binary source expansion and precomputed probability tables of expanded symbols. Simulation results show that the encoding process and decoding process in the proposed method is faster than that in the conventional multiplication-based binary arithmetic coding method while keeping the coding efficiency.

研究分野：画像情報工学

キーワード：情報源符号化 データ圧縮 算術符号

1. 研究開始当初の背景

C.E.Shannon は、情報伝送は情報源符号化と通信路符号化とに分けて取り扱うことを提唱しており、それぞれの理論的な性能限界は、情報源符号化定理および通信路符号化定理により記述できることを明らかにしている。以来、この理論的な性能を達成すべく、幾多の研究者が実用的な符号を開発し、情報源符号化および通信路符号化の両分野において満足し得る性能を得ている。しかしながら、それら2種類の符号化はその性質上相容れないものがあり、それぞれ独自に研究開発がなされ発展してきている。情報源符号化分野においては、G. G. Langdon らは、原理的にきわめてすぐれた手法として、2値算術符号を提案している。これは、ハフマン符号のようなブロック符号とは根本的に異なる考え方による符号であり、画像信号のような非常情報源に対しても符号化パラメータを動的に変更することにより効果的な圧縮を可能にする手法である。

Langdon らが算術符号を提案して以来、画像信号に対する情報圧縮の研究が急速に進展し、JPEG2000 や H.264/AVC をはじめ多くの国際標準画像符号化方式における高圧縮エントロピー符号化法として標準化に採用されるなどその成果は非常に大きい。一方、通信路符号化の分野においては、高効率誤り訂正符号としてターボ符号や低密度パリティ符号などが開発され、実用化に供されている。しかしながら、これらはいずれも、それぞれの分野において独立に発展してきており、両者を統合的に扱う符号は存在しない。そのため、どのような伝送システムにおいても、情報源符号化と通信路符号化は別々に行われているのが現状である。さて、ここでもし、両者を統合化された単一符号化方式により情報伝送システムを構築することができれば、現在の情報伝送システムに比し、装置規模、処理時間、符号化効率のいずれの面においてもきわめて有用な方式となることは間違いない。このような考え方はユニバーサル情報源・通信路結合符号化としてその基本的な原理は提案されているが、理論的な考察にとどまり、具体的な伝送法が提案されているわけではない。

2. 研究の目的

情報圧縮符号化である情報源符号化と誤り制御符号化である通信路符号化は、従来、別個に検討され、それぞれ理想的な限界に近い性能を達成する符号化方式がすでに実現されている。申請者らは、情報源符号化方式として原理的に優れている算術符号化は、同時に誤り制御符号化にも適用できることを示唆している。本研究では、この知見に基づき、情報源符号化および通信路符号化を同一符号化手法で実現する統合符号化方式を開発し、情報圧縮と誤り検出・訂正の両者の統一的な取扱いを可能にする符号化方式を実現することにより、情報源符号化および通信路符号化を

それぞれ独立に行う従来の情報伝送システムに比し、装置規模、処理時間、符号化効率のいずれの面においても優位となる方式の実現を目的とする。

3. 研究の方法

本研究申請者らはこれまでに、算術符号を用いた情報源符号化方式について多くの研究成果を挙げてきている。そこで、まず研究初年度である平成25年度は、これらの知見を利用して、通信路符号化の面から算術符号化方式を再構築する。具体的には下記のStep1～Step3について研究を進める。

Step1.算術符号の高速実現のためには、従来、乗算を避ける必要がある。このため情報源シンボルの確率をシフト演算ないしはテーブル駆動型に変更することにより近似している。これは、算術符号におけるAugend領域の縮小を意味している。この縮小された領域と残余領域の比率と、情報源符号化効率と誤り検出効率の比率との関係について考察する。

Step2.前述したようなAugend分割を行っても効果的な誤り検出は望めない。すなわち、算術符号は、符号系列を2進数値として扱うため、伝送路中にビット誤りが生じたとき、誤りが生じたビット位置によって遷移する領域はランダムに変化する。このため、単にAugendを縮小して、残余領域を誤り検出に用いるのではなく、残余領域がもとのAugend領域中に均一に出現するような手法が必要である。このために、新たな観点から半開数直線の表現法や残余領域作成法などについて検討する。

Step3.本研究は、情報源符号化と通信路符号化を統合的に扱うものであるから、新たな見地から両者を統合した効率について定義する必要が生じる。具体的には、情報圧縮の符号化効率と誤り検出の効率とを融合した統合効率について検討する。

なお、当初計画では、モノクローム画像を対象として研究を開始する予定であったが、本分野における研究動向なども鑑み、カラー画像信号さらにはマルチスペクトル画像への適用も念頭に置いて研究を進める。

また、次年度は、以下のStep4～Step6について研究を進める。

Step4.前年度Step1で得た知見をもとに、情報源符号化領域と通信路符号化領域との関係についてより深い検討を加え、それらの関係を明らかにするとともに、これら領域設定法の具体的な手法について考察し、効率的な手法を提案する。

Step5.前記Step1～Step4は、通信路符号化のうち主に誤り検出についての検討であるが、平成26年度後半からは、本研究の考え方を拡張し、誤り訂正も可能とする手法の検討に入る。基本的な考え方を確立するために、まず1ビット誤りの場合の誤り発生位置を確定するための算術符号系列の構造について考察し、考察結果をもとにnビット誤り訂正可能な方法について検討する。

Step6. 提案する統合符号化方式の原理を確立し、シミュレーションを行い効果を確認するとともに方式のブラッシュアップを図る。

研究の最終年度である平成27年度は、提案方式を確立し、新たな発展の可能性を探る。また、これまでの研究を総括し、研究成果報告書にまとめる。具体的には以下のStep7～Step8により研究を進める。

Step7. これまでの検討をもとに提案方式を実現可能な形で構成するとともに、特に画像情報源をシミュレーション対象として実験を行い、方式の確立をはかる。

Step8. さらに、下記のような新たな考えを導入して、提案方式の新たな発展の可能性を探る。すなわち、ここまでの研究では、「出現確率 $p_i > \text{近似確率 } p'_{i}$ 」という条件のもとに $p_i - p'_{i}$ を通信路符号化に利用するものであったが、逆に「出現確率 $p_i < \text{近似確率 } p'_{i}$ 」とすれば、これは、「一意に復号不可能な情報源符号化」という一見無意味な結果になる。しかしこれは、見方を変えれば、いわゆる「非可逆符号化」の可能性を示唆している。画像符号化の分野では、「非可逆符号化」が一般的に用いられているので、本研究により「算術符号化による非可逆符号化」というこれまでにない新たな手法の実現可能性がある。この点について考察することにより本研究の新たな発展性を探る。

4. 研究成果

情報圧縮符号化である情報源符号化と誤り制御符号化である通信路符号化は、従来、別個に検討され、それぞれ理想的な限界に近い性

能を達成する符号化方式がすでに実現されている。本研究では、情報源符号化方式として原理的に優れている算術符号化は、同時に誤り制御符号化にも適用できることを示唆している。本研究では、この知見に基づき、情報源符号化および通信路符号化を同一符号化手法で実現する統合符号化方式を開発し、情報圧縮と誤り検出・訂正の両者の統一的な取扱いを可能にする符号化方式を目指して研究を進めてきた。これにより情報源符号化および通信路符号化をそれぞれ独立に行う従来の情報伝送システムに比し、装置規模、処理時間、符号化効率のいずれの面においても優位となる方式の実現が可能となる。そこで、本研究では、乗算型算術符号における最大符号化効率を維持したうえで高速化を実現するために、無記憶情報源に対して情報源の拡大処理を導入し、通報の確率と下位アドレスを計算するために必要となる確率値を保持するテーブルサイズを変化させ、それに伴う演算回数の削減度を調べて高速化の可能性を検討した。実験の結果、提案方式は符号化時間及び復号時間を、それぞれ、従来の2値乗算型算術符号の約13/100及び約56/100まで削減できることが分かった。なお、以上の研究においては、シングルコンテキスト情報源を対象

としているが、算術符号の利点はマルチコンテキスト情報源に対して高効率な符号化が実現できる点にある。そこで、次に本検討結果をもとに、マルチコンテキスト情報源を対象とした場合における乗算型算術符号の演算負荷低減の可能性について言及し、コンテキスト分離型およびコンテキスト混在型の両者に対して、演算回数の削減による高速化の実現可能性についても示唆した。

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4件)

1. 金原翔太, 長谷川まどか, 篠田一馬, 加藤茂夫, 田中雄一, "情報源拡大を用いた乗算型二値算術符号の高速化に関する一検討," 画像電子学会誌, vol. 44, no. 3, pp. 464-473 (2015.07). (査読有)

2. Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Multispectral image reconstruction from watermarked RGB image", Optical Review, vol. 22, issue 3, pp. 469-476 (2015.06). (査読有)

3. Vu Le Ha, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Yuichi Tanaka, Shigeo Kato, "Modified High-Order Edge-Directed Interpolation for Distributed Video Coding Based on Selective Data Pruning," IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol.2, No.1, pp.26-36, June, 2014. (査読有)

4. 山登一輝, 長谷川まどか, 篠田一馬, 加藤茂夫, 田中雄一, "類似領域情報の画像内埋め込みに基づく画像修復法," 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J97-D, No. 4, pp.857-867, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計36件)

1. 石川雅浩, 橋本江美, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 駒形英樹, 小林直樹, "マルチスペクトル画像による色素量補正を用いた HE 染色肝病理画像中の構造認識," 2016 電子情報通信学会総合大会, 2016/3/15-2016/3/18, 九州大学伊都キャンパス, 福岡県福岡市.

2. 川瀬満丸, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "分光反射率推定のための MSFA 最適化に関する基礎検討," 2016 電子情報通信学会総合大会, 2016/3/15-2016/3/18, 九州大学伊都キャンパス, 福岡県福岡市.

3. Yudai Yanagi, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Masahiro Ishikawa, Hideki Komagata, Naoki Kobayashi, "Optimal transparent wavelength and arrangement for multispectral filter array," IS&T International Symposium on Electronic Imaging, Image Processing: Algorithms and Systems XIV, 2016/2/14-

2016/2/18, San Francisco, CA, USA.

4. 番沢和茂, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "圧縮耐性を持つ電子透かしを用いたRGB画像へのスペクトル情報埋め込みに関する検討," マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2016/3/2-2016/3/3, 屋久島環境文化村センター, 鹿児島県熊毛郡屋久島町.

5. Kazuma Shinoda, Shu Ogawa, Yudai Yanagi, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Masahiro Ishikawa, Hideki Komagata, Naoki Kobayashi, "Multispectral filter array and demosaicking for pathological images," APSIPA ASC, TP2-5.2, pp. 697 - 703, 2015/12/16-2015/12/19, Hong Kong, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, Hong Kong.

6. 武井勇樹, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "携帯端末の加速度センサを用いた個人認証方式に関する研究," 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), L-009, 2015/9/15-2015/9/17, 愛媛大学城北キャンパス, 愛媛県松山市.

7. 鈴木裕一郎, 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "最適予測を用いた可逆電子透かしのための適応的予測誤差拡張手法," 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), K-046, 2015/9/15-2015/9/17, 愛媛大学城北キャンパス, 愛媛県松山市.

8. 柳悠大, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 石川雅浩, 駒形英樹, 小林直樹, "観測波長と配置を考慮したマルチスペクトルフィルタアレイの設計手法," 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), RI-006, 2015/9/15-2015/9/17, 愛媛大学城北キャンパス, 愛媛県松山市, 査読付採録.

9. 小川衆, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 石川雅浩, 駒形英樹, 小林直樹, "空間方向の勾配及びバンド間の相関を考慮したマルチスペクトル画像のデモザイキング手法," 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), RI-005, 2015/9/15-2015/9/17, 愛媛大学城北キャンパス, 愛媛県松山市, 査読付採録.

10. 小林智美, 篠田一馬, 石川智治, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "楕円フーリエ記述子を用いた衣服の輪郭形状の分類に関する一検討," 映像情報メディア学会技術報告(映像表現&コンピュータグラフィックス研究会), Vol.39, No.31, pp.5-8, 2015/8/31, 新潟大学 駅南キャンパス「ときめいと」, 新潟県新潟市.

11. 浜崎泰輔, 川瀬満丸, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "Vectorial Total Variation を用いたマルチスペクトル画像のデモザイキングに関する一検討," 映像情報メディア学会技術報告(映像表現&コンピュータグラフィックス研究会), Vol.39, No.31, pp.1-4, 2015/8/31, 新潟大学 駅南キャンパス「ときめいと」, 新潟県新潟市.

12. 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "情報ハイディング技術を用いたRGB画像へのスペクトル情報の埋め込み," 日本色彩学会視覚情報基礎研究会第21回研究発表会論文集, CSA-FVI-2015-9, 2015/6/20, 工学院大学新宿キャンパス, 東京都新宿区.

13. Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Multispectral image estimation from RGB image based on digital watermarking," Association Internationale de la Couleur (AIC), PS2-72, pp. 1278 - 1282, 2015/05/19-2015/05/22, Tokyo, Japan.

14. 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "可逆データハイディングのための2次元変換係数ヒストグラム拡張手法," 信学技報, EMM2014-96, pp.113-118, 2015/3/12-2015/3/13, 沖縄県石垣市.

15. 青森祐人, 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "電子透かしによる静止画像への類似領域情報埋め込みを利用した画像の改ざん検知と修復に関する一検討," 信学技報, EMM2014-86, pp.55-60, 2015/3/12-2015/3/13, 沖縄県石垣市.

16. Junya Mizutani, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Multispectral Demosaicking Algorithm Based on Inter-Channel Correlation," The IEEE Visual Communication and Image Processing (IEEE VCIP) Conference, pp.474-477, Valletta, Malta, Dec. 2014, 2014/12/07-2014/12/10, Valletta, Malta.

17. Kazuki Yamato, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Two-dimensional histogram expansion of wavelet coefficient for reversible data hiding," The IEEE Visual Communication and Image Processing (IEEE VCIP) Conference, pp.258-261, Valletta, Malta, Dec. 2014, 2014/12/07-2014/12/10, Valletta, Malta.

18. 渡邊彩, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "電子透かしを用いたRGB画像へのマルチスペクトル情報埋め込みに関する一検討," PCSJ/IMPS2014, I-4-17, 2014/11/12-2014/11/14, 静岡県伊豆市.

19. 鈴木裕一郎, 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "予測誤差ヒストグラムに基づいた適応的埋め込みによる可逆電子透かしに関する検討," PCSJ/IMPS2014, I-3-04, 2014/11/12-2014/11/14, 静岡県伊豆市.

20. 小林智美, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "輪郭特徴量を用いた衣服形状の分類に関する基礎検討," PCSJ/IMPS2014, I-1-08, 2014/11/12-2014/11/14, 静岡県伊豆市.

21. 柳悠大, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "マルチスペクトルフィルタアレイの配置最適化に関する一検討," PCSJ/IMPS2014, I-1-07, 2014/11/12-

2014/11/14, 静岡県伊豆市.
22. Kazuki Yamato, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Reversible data hiding based on two-dimensional histogram and generalized histogram shifting," IEEE International Conference on Image Processing 2014, pp.4216-4220, IFS-L1.4, 2014/10/27-2014/10/30, Paris, France.
23. Yuichiro Suzuki, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Halftone Image Resizing Using Seam Carving," IEVC2014, 1P-9, 2014/10/7-2014/10/10, Koh Samui, Thailand.
24. 橋本江美, 石川雅浩, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 駒形英樹, 小林直樹, "マルチスペクトル画像を使用した肝病理組織標本の組織分類の検討," 電子情報通信学会総合大会, 2016/3/15-2016/3/18, 福岡県福岡市.
25. Kazuma Shinoda, Taisuke Hamasaki, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Antonio Ortega, "Quality Metric for Filter Arrangement in a Multispectral Filter Array," PCS2013, TP.7, 2013/12/8-2013/12/11, San Jose, CA, USA.
26. 水谷純也, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "バンド間相関を考慮したマルチスペクトル画像のためのデモザイキング," 信号処理シンポジウム 2013, pp.497-500, 2013/11/19-2013/11/22, 山口県下関市.
27. 弘山一樹, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "変換係数の並べ替えによる網点印刷画像の JPEG 圧縮に関する研究," PCSJ/IMPS2013, P2-05, pp.39-40, 2013/11/06-2013/11/08, 静岡県熱海市.
28. Kazuki Yamato, Madoka Hasegawa, Kazuma Shinoda, Shigeo Kato, Yuichi Tanaka, "Image Restoration using Similar Region Search and Digital Watermark," APSIPA ASC 2013, 2013/10/29-2013/11/1, Kaohsiung, Taiwan.
29. Ha Vu Le, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Yuichi Tanaka, "Selective Data Pruning Based Distributed Video Coding With Modified High-Order Edge-Directed Interpolation," ICIP2013, pp.1933-1937, 2013/9/15-2013/9/18, Melbourne, Australia.
30. 手塚勇輔, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "エッジ情報の方向差分情報を用いた自然物領域と人工物領域の自動判別に関する一検討," 映像情報メディア学会技術報告 映像表現 & コンピュータグラフィックス, Vol.37, No.35, pp.5-8, 2013/8/1-2013/8/2, 長野県長野市.
31. Madoka Hasegawa, Keita Takahashi, Shigeo Kato, "Similarity Assessment Metrics of Hybrid Images for Graphical Password," SOUPS2013, poster session, Newcastle, UK, 2013/7/24-2013/7/26,

Newcastle, UK.
32. 磯貝尚明, 長谷川まどか, 篠田一馬, 加藤茂夫, "覗き見攻撃耐性を考慮した加算型 PIN 認証方式に関する一検討," 情報処理学会研究報告, Vol.2013-SPT-6, No.1, pp.1-6, 2013/7/18-2013/7/19, 北海道札幌市.
33. 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 田中雄一, "類似領域情報の埋め込みを利用した画像修復," 信学技報, EMM2013-32, pp.221-226, 2013/7/18-2013/7/19, 北海道札幌市.
34. 山登一輝, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, 田中雄一, "エッジ方向を考慮した画素配置変更を用いた静止画圧縮に関する検討," 画像電子学会第41回年次大会予稿集, R7-1, 2013/6/22-2013/6/23, 青森県青森市.
35. 萩谷愛理紗, 篠田一馬, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "ウェーブレット変換係数の大小関係を用いた電子透かし方式に関する一検討," 画像電子学会第41回年次大会予稿集, P-4, 2013/6/22-2013/6/23, 青森県青森市.
36. Yuko Miyashita, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Yuichi Tanaka, "Improved Adaptive Color Embedding and Recovery Using DC Level Shifting," ICASSP2013, pp.1568-1572, 2013/05/26-2013/05/31, Vancouver, Canada.

〔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〕
ホームページ等

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・教授

研究者番号：80322014

篠田一馬(SHINODA KAZUMA)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50639200

(3)連携研究者

()

研究者番号：