

機関番号：57701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19560405

研究課題名(和文) 静止画像の可逆・準可逆符号化と情報埋め込みに関する研究

研究課題名(英文) Research on lossless and near-lossless coding of still images and information embedding

研究代表者

加治佐 清光 (KAJISA KIYOMITSU)

鹿児島工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：10342594

研究成果の概要(和文)：本研究では、静止画像の可逆・準可逆符号化と情報埋め込みに関し、五つの新たな方法を提案した。具体的には、(1) 情報を埋め込んだ誤差拡散デジザ画像のブロック符号化、(2) 圧縮率を改善するための算術ブロック符号化用の誤差拡散法、(3) JPEG-LS可逆符号化への情報埋め込み方式、(4) 可逆色変換による注目領域と背景の符号化方式、(5) 色変換の縮退の改善方式、の五つの新たな方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this research, five new methods were proposed concerning on lossless and near-lossless coding of continuous-tone images and information embedding. Actually, five new methods: (1) block coding of error-diffused images with information embedded, (2) an error diffusion method for improving compression ratio by arithmetic block coding, (3) an information embedding method in JPEG-LS lossless coding, (4) a coding method of ROI (Region Of Interest) by reversible color transform and its background by near-lossless, (5) an improved method of modulo reduction of reversible color transform, were proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：可逆符号化, 準可逆, 誤差拡散, 情報埋め込み, 色変換, 縮退, 算術符号化, JPEG-LS

## 1. 研究開始当初の背景

JPEG(Joint Photographic Experts Group)に代表される非可逆画像圧縮(有歪, lossy)と大別される階調画像の可逆画像圧縮(無歪, lossless)の分野では、JPEGと共に国際標準化された可逆符号化JPEG-Spatial方式に引き続き、1997年に可逆・準可逆符号化方式JPEG-LSが国際標準化された。準可逆(ニアロスレス, near-lossless)符号化に関し、

JPEG-LSは初めての国際標準である。その後、2003年にJPEG-LSの拡張版が国際標準化された。なお、2000年に制定された国際標準JPEG2000の可逆符号化はJPEG-LSよりも圧縮率は悪い。一方、可逆符号化の分野では、米国を中心とするCALICやJPEG-LSの後、圧縮率の向上を目指した豪州Monash大のTMWや東京理科大のMRPが開発されたが、圧縮処理時間が長い実用的ではない欠点がある。近年、

圧縮率も処理時間のリアルタイム性も優れたBMFがモスクワ大で開発されたが、その詳細は公開されていない。

また、2値画像についても、JPEGと相前後して国際標準化されたJBIG(Joint Bi-level Image Experts Group)の改良版として、JBIG2が国際標準化された。しかし、JBIG/JBIG2は誤差拡散法による2値ディザ画像(以下、誤差拡散ディザ画像)に対しては圧縮率が向上しない難点がある。

他方、マルチメディアの進展に伴い、コンテンツ保護や情報秘匿の目的で、近年、電子透かし(digital watermark)やステガノグラフィ(steganography)の研究が盛んに行われている。例えば、JPEG画像やウェーブレット変換画像に対しては、DCT(離散コサイン変換)係数やウェーブレット係数へ情報を埋め込み、エントロピー符号化が行われる。また、階調画像の最下位ビットプレーンへ情報を埋め込む方式や、組織的ディザ画像へ情報を埋め込む手法もよく知られている。しかし、誤差拡散ディザ画像への情報の埋め込み(以下、情報埋め込み)の公表は極めて少ない。また、可逆符号化と準可逆符号化を前提とした情報の埋め込みの公表は皆無である。

なお、静止画像の可逆・準可逆符号化は、昨今の非可逆符号化(JPEG, JPEG2000)や動画像符号化(MPEG系)に比べて影が薄く、国際的に東京理科大のMRPのみが優れた可逆符号化方式として著名なだけであるが、医用画像や製品検査等の検査分野、プリンタ出力あるいはネットワークの応用分野において、将来的にもキーとなる基盤技術であり、国内においても研究開発の増強が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究は、階調画像と2値画像の可逆・準可逆画像符号化と情報埋め込みを研究対象とし、符号化効率(圧縮率と処理時間)の向上をさらに目指し、圧縮率と画質劣化に影響の少ない情報の埋め込み方式を実現することを目的とする。

本研究課題で対象とする静止画像の可逆・準可逆符号化と情報埋め込みの概念図を図1に示す。同図中、カラー画像は階調画像(濃淡画像)より構成され、階調画像から誤差拡散ディザ画像が生成されることを示す。同図中の実線枠部分は既に研究開発が行われている領域、二重実線枠部は本研究代表者のこれまでの研究成果に該当する領域(参考文献①～⑤を参照)、点線枠部は本研究が対象とする領域で、さらに研究開発が必要な領域あるいは研究開発が未実施の領域である(非可逆符号化は含まれていないことに注意)。つまり、実線と点線が混在する枠部分は、さらに符号化の効率化が求められる部分と、(ニアロスレスでなく)可逆符号化の場合に決定的

な情報埋め込みの方式が確立されていない部分である。また、カラー画像については、階調画像の符号化方式を単に色成分ごとに適用するのではなく、色の相関を利用した効率的な方式の研究開発の余地があることを意味する。

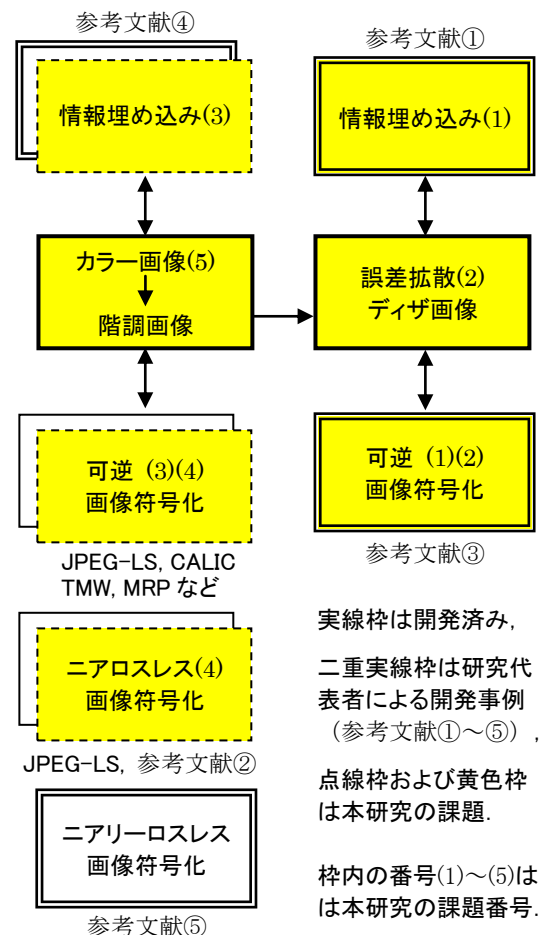


図1 静止画像の可逆・準可逆符号化と情報埋め込み

本研究課題の研究期間内に取り組んだ五つの具体的な課題を図1中の枠内の番号(1)～(5)で示す。課題(1)は、既に提案した誤差拡散ディザ画像への情報埋め込み方式(参考文献①)と誤差拡散ディザ画像のブロック符号化方式(参考文献③)の統合化と評価である。課題(2)は効率的な誤差拡散ディザ画像の可逆符号化方式の確立である。課題(3)は、階調画像の可逆符号化への情報埋め込み方式の改善案の提案である。課題(4)は、注目領域(ROI: Region Of Interest)を可逆色変換による可逆符号化、背景を準可逆符号化で符号化する方式の確立である。課題(5)は、可逆色変換の縮退方式の確立である。

以下の3. 研究の方法と4. 研究成果で、(1)～(5)の具体的な課題ごとに提案方法と実験結果の概要について述べる。

### 3. 研究の方法

本研究課題の研究期間内に取り組んだ五つの具体的な課題に関し、提案方式の概要を中心に述べる。

#### (1) 情報を埋め込んだ誤差拡散画像のブロック符号化の評価 [雑誌論文] ④

既に提案した誤差拡散ディザ画像への情報埋め込み方式と、既に提案した誤差拡散ディザ画像のブロック符号化方式との統合化を提案し、評価した。

既に提案した情報埋め込み方式(参考文献①)は、2値化のしきい値に±の許容値を設定し、許容範囲内であれば埋め込み情報の1あるいは0へ強制する方式である。また、既に提案した誤差拡散ディザ画像のブロック符号化方式(参考文献③)は、注目する2×2画素ブロックの16通りのパターンを3近傍あるいは4近傍の2×2画素ブロックをコンテキストとして、適応型算術符号器で符号化する方式である。

評価実験で使用した統合化の構成を図2に示す。

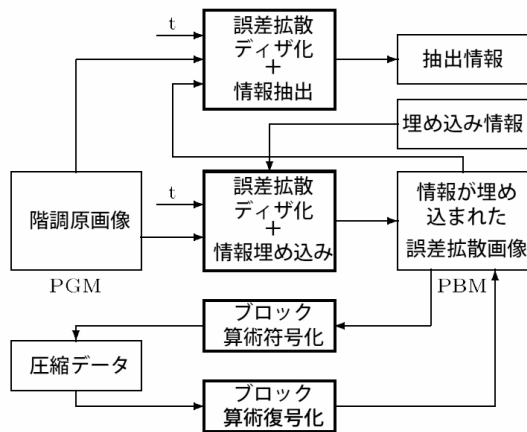


図2 情報の埋め込みと抽出およびブロック符号化と復号化

#### (2) 圧縮率改善のための算術ブロック符号化用誤差拡散法 [雑誌論文] ②

課題(1)に関連し、さらに圧縮率を改善できる新たな誤差拡散法を提案した。課題(1)では2値化の際のしきい値に許容範囲を設けて情報の埋め込みに流用したが、ここでは、2×2画素ブロックの16通りのパターンの発生確率に偏りが生じるように2×2画素ブロックを生成する方式を提案した。

提案した2×2画素ブロック内の走査順と誤差を拡散する方向を図3に、提案したアルゴリズムに従い、2×2画素ブロックのパターンを生成する過程を図4に示す。

#### (3) JPEG-LS 可逆符号化への情報埋め込み方式の考察 [雑誌論文] ⑤

武久氏らが提案したJPEG-LSへの秘匿情報の組み込み方式を基に、しきい値なしに任意

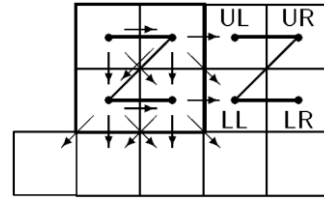


図3 2×2画素ブロック内の走査と誤差拡散

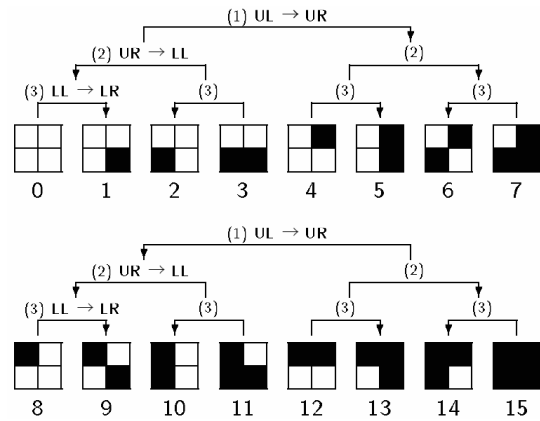


図4 2×2画素ブロックパターンの変換

の埋め込みバイト数を埋め込める方式Aとmodulo(256)の縮退を利用した数値の別表現による新たな方式Bを提案し、評価した。

提案方式Aは、32ビットの固定長Golomb符号を利用した従来方式の欠点を改善し、Golomb符号化用パラメータkが4以上のすべてのGolomb符号を対象に最大埋め込みバイト数までの任意の埋め込みバイト数まで埋め込める方式である。

提案方式Bは、圧縮率の増加を抑えるため、埋め込み情報ビットが1のときに、32ビットの固定長Golomb符号に代わり、12~28ビットの拡張された可変長Golomb符号を割り当てる新たな方式である。

#### (4) 可逆色変換によるROIと準可逆による背景の符号化方式 [雑誌論文] ③

JPEG-LS拡張版の色変換は完全な可逆であるが、可逆符号化しか適用できず、準可逆符号化には適用できない。また、注目領域を可逆符号化し、背景を準可逆符号化するROI (Region of Interest)は現在のJPEG-LS拡張版では行ごとにしか実現できない。それを解決し、矩形のROIへ色変換を適用する新たな簡素化された符号化方式を提案した。

可逆と準可逆符号化を用いてROIを実現するために提案した符号化方式の要点を以下に掲げる。①注目領域(ROI)を可逆、その背景を準可逆で符号化する。②注目領域とその背景とで水平方向でロスの許容値であるNEARを可変とする。③注目領域の可逆符号化にJPEG-LS拡張版の色変換機能を適用する。

オフラインでカラー画像ファイルを前処理として色変換するのではなく、オンラインで符号化時に色変換を行う。④JPEG-LS の 365 通りの一つのコンテキストを 3 色成分と注目領域内外の二通りを組み合わせた六つのコンテキストへ拡張する。⑤設定パラメータを、背景の NEAR, 注目領域の開始 XY 座標およびその幅と高さの 5 パラメータとする。⑥基本的な符号化のアルゴリズムは JPEG-LS のアルゴリズムを使用する。

#### (5) 可逆色変換の縮退に関する考察

〔雑誌論文〕①

上記の課題(4)を発展させ、色変換の縮退に関する考察を行った。

JPEG-LS 拡張版の色変換をカラー試験画像へ適用すると、代表的な試験画像である girl, lena, mandrill に対しては圧縮率改善の効果が低い。これは JPEG-LS 拡張版の色変換が汎用を目指し固定の色変換の式を用いていることにもよるが、その一因は、得られた色差  $R'$  と  $B'$  を一律に  $-128 \leq R', B' \leq 127$  の固定した範囲へ縮退していることにもよる。

この問題を回避するため、①前処理の 1 回目のスキャンで、従来方式の色変換を画素ごとに行う際に、色変換後の  $R''$  と  $B''$  の画素値より濃度ヒストグラムを作成し、② $R''$  と  $B''$  の濃度ヒストグラムよりそれぞれの谷を求め、 $R''$  と  $B''$  の画素値 0 に最も近い谷の位置をそれぞれ  $\alpha$  と  $\beta$  とし、③前処理の 2 回目のスキャンで、 $-128 + \alpha \leq R' \leq 127 + \alpha$  および  $-128 + \beta \leq B' \leq 127 + \beta$  の範囲へ縮退する色変換を行う方式を提案した。

#### 4. 研究成果

本研究課題の研究期間内に取り組んだ五つの具体的な課題に関し、得られた成果の概要について述べる。

##### (1) 情報を埋め込んだ誤差拡散画像のブロック符号化の評価 〔雑誌論文〕④

評価実験の結果、使用した試験画像 N1 の Cyan 成分では、埋め込み情報量、圧縮率および画像品質の観点から、情報埋め込みのために設定する 2 値化のしきい値の許容値である tolerance は 64 が最適であることが判明した。これにより、埋め込み情報量を最大までの可変としても、画質劣化を小さく抑えられる。また、Jarvice 誤差拡散法では圧縮率を大きく改善できることが判明した。

例えば、Floyd 誤差拡散法の場合、埋め込みがない場合の圧縮率が 46.8%、MAE (平均絶対値誤差) が 4.6 であるのに対し、総画素数の 58% に相当する最大埋め込み情報量を埋め込むと、圧縮率は 44.1% と改善され、MAE は 6.0 と 1.4 だけ劣化する有効な結果が得られた。

##### (2) 圧縮率改善のための算術ブロック符号化用誤差拡散法 〔雑誌論文〕②

提案した誤差拡散法を代表的な 4 枚の試験画像 (lena, baboon, café, woman) に適用し、2 値化のしきい値の許容値 (tolerance) が 32 の場合は肉眼による画質劣化なし (平均 MAE の増分が約 0.9) で平均圧縮率を約 0.1 [bits/pel] 改善できること、および tolerance=64 の場合は画像を拡大しない通常の用途では使用できる画像品質 (平均 MAE の増分は約 3) で平均圧縮率を約 0.2 [bits/pel] 改善できることを確認した。

従って、本提案方法は従来難しいと云われていた誤差拡散画像の圧縮に関し、既に提案した誤差拡散画像の算術ブロック符号化方式を前提とした圧縮率を改善できる新たな誤差拡散法であると云える。

圧縮率の推移の例 (画像 lena) を図 5 に示す。同図中、order-3 は 3 次マルコフモデルを算術符号化のコンテキストとして使用した場合を示す。また、図 6 に従来方式と提案方式 (tolerance は 32) による誤差拡散ディザ画像の例を示す。

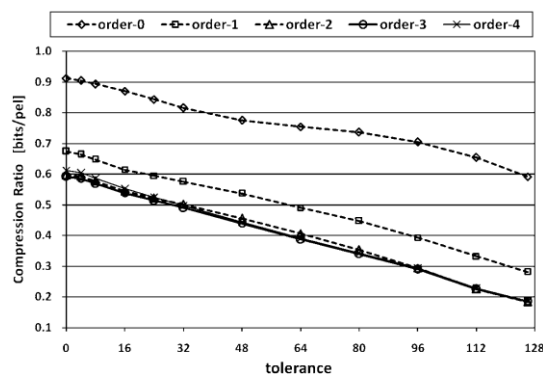


図5 許容値と圧縮率 (画像 lena, 512×512 画素)



(a) 従来方式 (b) 提案方式 t=32

図6 部分拡大した誤差拡散画像 (lena, 128×128 画素)

##### (3) JPEG-LS 可逆符号化への情報埋め込み方式の考察 〔雑誌論文〕⑤

JPEG-LS 可逆符号化へ情報を埋め込むための提案方式 A を提案し、より現実的な埋め込みの範囲を 1000 バイトまでと仮定した情報埋め込みの実験結果により、提案方式 A は従来方式に比べ圧縮率がわずかに悪化するが、実用には効果的であることを確認した。

また、情報埋め込みの評価用方式として、modulo(256)の縮退を利用した数値の別表現による方式Bを提案し、実験結果により、従来方式に比べ提案方式Bは圧縮率がわずかに改善され、効果的であること、および、用いた画像サイズの小さな試験画像 camera (256×256 画素) では約 900 バイトの情報埋め込みで圧縮率が従来方式に比べ 0.52 [bit/pe] と大きく改善されることを確認した。

図7に従来方式(同図中E)と提案方式B(同図中B)による埋め込みビット数と圧縮率の比較結果を示す。

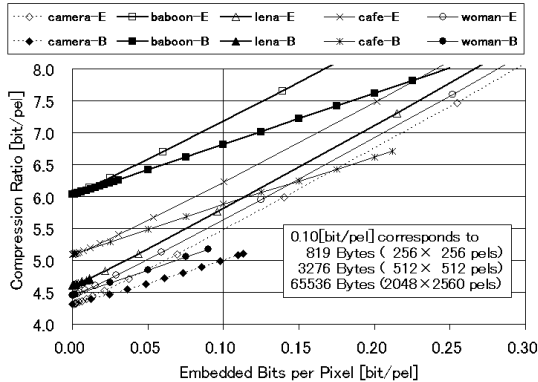


図7 画素当たりの埋め込みビット数と圧縮率の比較

(4) 可逆色変換による ROI と準可逆による背景の符号化方式 [雑誌論文] ③

JPEG-LS 拡張版の色変換を画像 goldhill に適用すると、可逆符号化の圧縮率 4.683 [bit/pe] は 3.588 へ、画像 boats へ適用すると可逆符号化の圧縮率 3.874 は 3.316 へ減少する。さらに、本提案方式を適用すると図8に示すように背景の準可逆符号化の効果が確認できる。同図中の 2/3, 1/2, 1/4 は ROI の縦横の一辺が画像サイズの 2/3, 1/2, 1/4 であることを意味する。図9に中央が 1/2 の注目領域 (NEAR=0) と NEAR=8 の背景領域を符号化した例を示す。さらに、図10に提案方式を顔領域へ適用した例を示す。色変換を適用しない場合の圧縮率(a) 4.535, (b) 4.863, (c) 4.323 [bit/pe] がそれぞれ約半分になることから、背景を準可逆符号化することの効果が高いことが分かる。

注目領域を可逆符号化、背景を準可逆符号化する矩形の ROI を実現するにあたり、提案方式を適用すると、注目領域の色変換の効果が高く、プログラムも簡素化されることが確認された。実用上の観点からは非常に有用な方式であると考えられる。

(5) 可逆色変換の縮退に関する考察 [雑誌論文] ①

JPEG-LS の色変換を画像 girl, mandrill, lena へ適用すると圧縮率がそれぞれ 0.016,

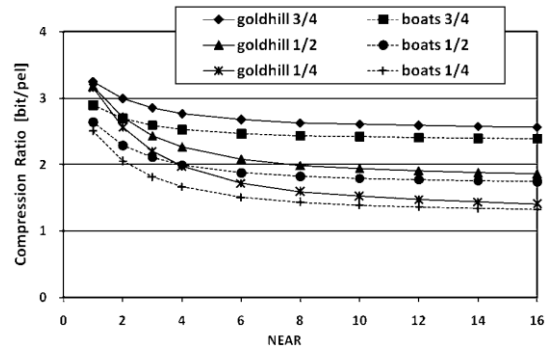


図8 ROIの可逆符号化と背景の準可逆符号化の圧縮率



(a) goldhill 768 × 576 画素 1.987 [bit/pe] (b) boats 787 × 512 画素 1.824 [bit/pe]

図9 中央の 1/2 の注目領域 (NEAR=0) と NEAR=8 の背景領域の符号化の例

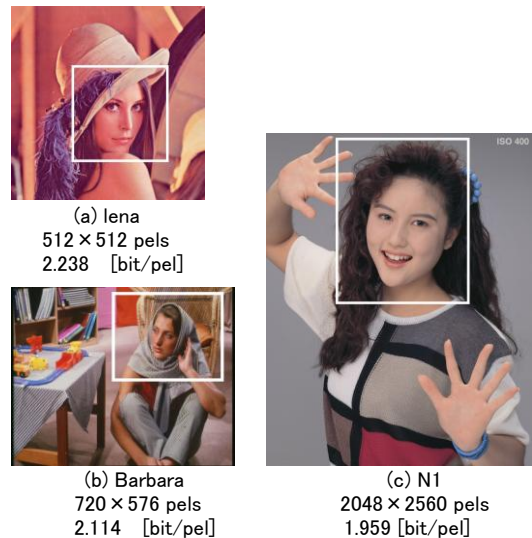
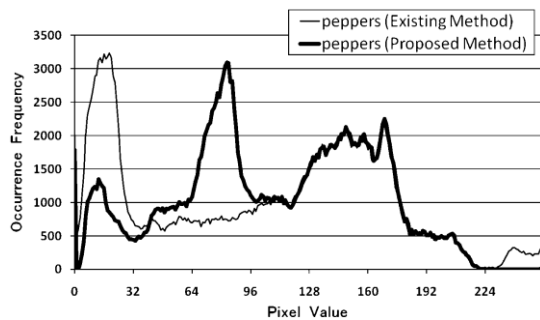


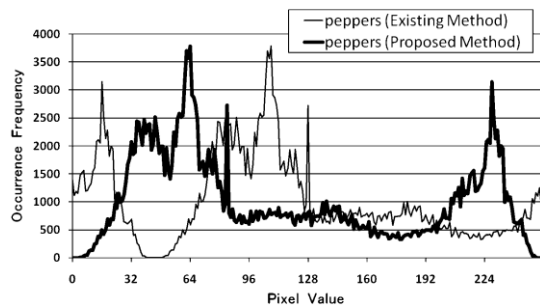
図10 1/2 の注目顔領域 (NEAR=0) と NEAR=8 の背景領域の適用例

0.129, 0.025 [bit/pe] だけ改善されるが、提案方式を適用すると、さらに 0.016, 0.028, 0.037 [bit/pe] だけ改善されることが確認された。提案方式により、8ビット/色成分の可逆色変換で行われる8ビットの色差 (R' と B') の縮退が固定した一通りではないことを示した。

また、提案した改善策は例えば試験画像 peppers, monarch, tulips などにも圧縮率改善の効果が高い。例として、図11に従来方式と提案方式による色変換後のヒストグラムの違いを示す。また、図12に従来方式と提案方式による色変換後の画像と圧縮率の違いを示す。



(a) 緑色成分



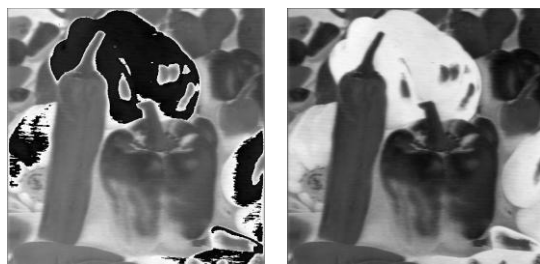
(b) 赤色成分

図 11 色変換後の濃度ヒストグラムの例(画像 peppers)



(a) 緑色成分 4.059 bpp  
従来方式

(b) 緑色成分 3.859 bpp  
提案方式



(c) 赤色成分 2.987 bpp  
従来方式

(d) 赤色成分 2.968 bpp  
提案方式

図 12 色変換後の色成分と圧縮率の例(画像 peppers)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① 加治佐清光, 可逆色変換の縮退に関する考察, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A, No. 6, pp. 444-450, 2009, 査読有.
- ② 加治佐清光, 圧縮率改善のための算術ブロック符号化用誤差拡散法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A, No. 1, pp. 21-36, 2009, 査読有.

- ③ 加治佐清光, 可逆色変換による ROI と準可逆による背景の符号化方式, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No. 8, pp. 1963-1966, 2008, 査読有.
- ④ 加治佐清光, 情報を埋め込んだ誤差拡散画像のブロック符号化の評価, 画像電子学会誌, Vol. 37, No. 2, pp. 133-142, 2008, 査読有.
- ⑤ 加治佐清光, JPEG-LS 可逆符号化への情報埋め込み方式の考察, 画像電子学会誌, Vol. 36, No. 4, pp. 481-491, 2007, 査読有.

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① 篠崎佑介, 加治佐清光, 可逆画像符号化方式 CALIC と AGSP の比較, 第 61 回電気関係学会九州支部連合大会, 02-2A-03, CD-ROM, 2008/9/25, 大分大学.
- ② 福田祐貴, 加治佐清光, JPEG-LS 拡張版の 2 値算術符号化の評価, 第 60 回電気関係学会九州支部連合大会, 09-2A-09, pp. 364, CD-ROM, 2007/9/19, 琉球大学.
- ③ 大迫奏枝, 加治佐清光, 予測符号化における予測係数の最適化に関する考察, 第 60 回電気関係学会九州支部連合大会, 09-2A-10, pp. 365, CD-ROM, 2007/9/19, 琉球大学.
- ④ 加治佐清光, 学習ソフト: 2 値算術符号化シミュレータ BACS の試作, 鹿児島工業高等専門学校研究報告, 第 42 号, pp. 9-16, 2007.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加治佐 清光 (KAJISA KIYOMITSU)

鹿児島工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号: 10342594

### 参考文献

- ① 加治佐清光, 誤差拡散法による 2 値画像への画質劣化の少ない情報埋め込み方式, 画像電子学会誌, Vol. 35, No. 5, pp. 443-452, 2006.
- ② 加治佐清光, JPEG-LS ニアロスレス符号化のランモードの評価, 画像電子学会誌, Vol. 35, No. 3, pp. 176-184, 2006.
- ③ 加治佐清光, 誤差拡散ディザ画像のブロック符号化, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J89-A, No. 1, pp. 67-73, 2006.
- ④ 加治佐清光, JPEG-LS ニアロスレス画像へのバイナリデータの一埋め込み法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J89-A, No. 1, pp. 74-79, 2006.
- ⑤ 加治佐清光, 2 のべき乗の量子化予測誤差によるニアロスレス画像符号化の試行, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J88-A, No. 6, pp. 793-799, 2005.