

機関番号：12608

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19700078

研究課題名 (和文) ネットワークシステムのリソース制約を考慮した  
情報源/通信路符号化方式に関する研究研究課題名 (英文) Research on source/channel coding for  
resource constrained network systems

研究代表者

金子 晴彦 (KANEKO HARUHIKO)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・講師

研究者番号：70392868

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、小型携帯端末等のリソース制約が厳しい機器に適した動画圧縮方式として、多元 LDPC 符号を用いた Distributed Video Coding を提案した。エッジ情報を用いて補助情報の精度を向上することにより、従来よりも数 dB 高い PSNR が得られた。データ圧縮、暗号化及び誤り訂正符号化機能を有する統合符号化に関して、圧縮率を数%向上するとともに、誤り率を 1/2 程度とする手法を提案した。また、ストレージ用誤り制御符号としてフラッシュメモリ用の多レベル誤り制御符号化を提案した。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, we have proposed a distributed video coding method suitable for resource-constrained devices, such as wireless mobile terminals. The accuracy of the side information is improved by edge information of each frames, which improves the PSNR by 1 to 2 dB. Also, a novel joint-source-cryptographic-channel coding has been proposed, where the compression ratio is slightly improved and the decoded error rate is decreased by a factor of two. As an error control coding for storage systems, multilevel coding methods have been proposed for flash memories.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	300,000	0	300,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
総計	3,000,000	810,000	3,810,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 ・ 計算機システム・ネットワーク

キーワード：誤り制御符号，データ圧縮，動画圧縮符号化，フラッシュメモリ

## 1. 研究開始当初の背景

情報理論に関する研究は、通信路符号化及び情報源符号化のそれぞれの分野において、現在までに多大な成果をあげている。通信路符号化に関する研究の主な目的は、情報伝送における誤り率を小さくすることであり、これまでに Reed-Solomon 符号、Turbo 符号、低

密度パリティ検査 (LDPC: Low-density parity-check) 符号、等の優れた符号が提案され、実用化されている。一方、情報源符号化に関する研究の第一の目的は、符号化 (圧縮) 後のデータ量を小さくすることであり、Huffman 符号や算術符号等のエントロピー符号化、LZ77/78 や BWT/MTF 等による文書デ

ータ圧縮、離散コサイン変換やウェーブレット変換等を用いた静止画像圧縮、動き予測／動き補償を用いた動画画像圧縮、等多様な符号化方式が提案されている。

近年、最新の動画画像圧縮方式である H.264/MPEG-4 AVC の圧縮処理について、その計算量の多さが指摘されている（特に Main Profile の場合）。また、強力な誤り制御符号である LDPC 符号に関しても、符号化／復号回路における消費電力が問題となっている場合がある。近年明らかになりつつあるこれらの問題は、半導体デバイスの性能向上のみでは必ずしもすべて解決できない。なぜならば、次世代ネットワークシステムの重要な構成要素である携帯電話等の小型機器においては、回路規模や消費電力等のリソース制約に関する制約が厳しく、これらの機器における演算能力の大幅な向上は一般の機器よりも困難となるためである。よって今後、計算量を抑制した情報源／通信路符号化アルゴリズムが求められることが予想される。

## 2. 研究の目的

本研究では、情報源／通信路符号化に関する研究において従来あまり重要視されてこなかった符号化／復号にかかる計算量を考慮し、ネットワークシステムのリソースに則した情報源／通信路符号化方式を提案する。本研究の重要なポイントは、ネットワークの特性を考慮して情報源／通信路符号化処理に関する演算処理を「移動」させることである。例えば、Distributed Source Coding 等の情報理論を基に、リソース制約の厳しい装置における演算処理をリソース制約の緩い装置へ移動する手法の提案を行なう。

本研究では具体的に以下の目的を達成するための研究を行う。

- (1) 小型携帯端末等のリソース制約が厳しい機器において動画を効率的に圧縮するため、Distributed Video Coding (DVC) の高圧縮率化／高画質化に関する研究を行う。
- (2) 小型携帯端末等において、情報源符号化（圧縮）と通信路符号化（誤り制御符号化）を組み合わせることで低計算量で効率的に行うため、Joint Source-Channel Coding (JSCC) に関する研究を行う。
- (3) 高速なネットワークで接続された分散ストレージシステムにおいて、誤り制御符号化／復号化を分散処理とすることにより、各ノードにおける計算負荷を分散し、同時に高信頼化を実現するためのストレージ用誤り制御符号に関する研究を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) DVC の研究

DVC に関する研究として、研究代表者が従来より提案していた多元低密度パリティ検査符号と多元 Sum-Product アルゴリズムを用いた動画画像圧縮法の問題点を明らかにし、理論研究とシミュレーションを行いながら高画質／高圧縮率を有するアルゴリズムの開発を行う。本アルゴリズムの開発においては、低密度パリティ検査符号の符号化／復号処理と動画処理を併せて統合的に検討する必要があるため、理論的な研究と並行してスーパーコンピュータによるシミュレーションを実施する。

### (2) JSCC の研究

JSCC に関する研究として、従来提案されている MN code を参考に、計算量等の観点からこれよりも優れた符号化アルゴリズムを構築する。本研究と MN 符号の異なる点としては、Irregular LDPC 符号を用いる点、コセット符号を用いない点、等が挙げられる。Irregular LDPC 符号を用いることにより、圧縮率の向上と通信誤り率の低減が期待できる。また、コセット符号を用いないため、復号回路の簡素化が期待できる。本研究も誤り制御符号に関する理論的な研究とコンピュータシミュレーションを並行して実施する。

### (3) ストレージ用誤り制御符号の研究

研究者が従来より提案していた分散ストレージシステムに対する消失誤り訂正符号の改良を行い、分散符号化／分散復号に適した効率的な消失誤り訂正を構築する。また、分散ストレージシステムにおける通信プロトコルの検討や、システムのスループットの評価、等実用的な観点からも研究を行う。さらに、ストレージシステムの重要な構成要素となることが予測されるフラッシュメモリを高信頼化するための符号化法についても研究を行う。

## 4. 研究成果

### (1) DVC の研究

誤り制御符号を用いて圧縮するフレーム (WZ フレーム) の画質を向上させるため、これらのフレームに少ないデータ量と計算量で補助的な情報を効率的に付加する手法を提案した。すなわち、従来の DVC においては、WZ フレームに関する情報として誤り制御符号の検査ビットのみを送信していたのに対し、提案手法では、WZ フレームにおける各 DCT ブロックのエッジの向きを検出し、主要なエッジ成分のみを取り出し送信する手法を提案した (図 1)。ここで、DCT 係数の低周波成分は SW 符号化後に送信し、エッジ成分はエントロピー符号化後に送信する。また、高周波成分は符号化せず、伸長処理において

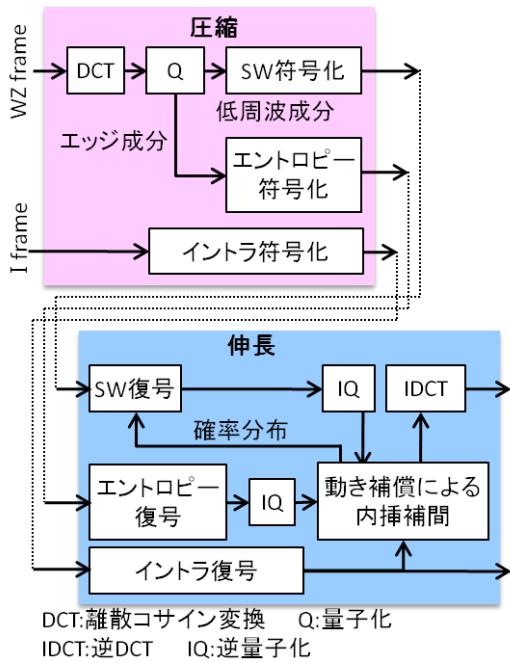


図 1. エッジ情報を用いた DVC

動き補償フレーム補間により復元する。

DVC に適用する誤り制御符号として、多元 LDPC 符号を用いることとし、これを遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて探索する手法を提案した。本研究で提案した DVC の画質 (PSNR) を評価した結果、本手法の PSNR は、従来の DVC と比較して 0.5dB 程度高いことを明らかにした。図 2 に従来の DVC と本研究で提案した DVC の PSNR の比較を示す。提案手法はビットレートがやや高い領域において、従来の DVC よりも高い PSNR を有することが明らかになった。

さらに、本研究では符号器において SW 符号化の符号量を適切に決定するため、軽量の動き予測を用いたレート推定法の研究を行った (図 3)。レート推定のパラメータとして、DCT 係数の分散、動きベクトルのノルム及び動き補償画像における平均絶対値誤差を用いる手法を提案した。この結果、評価に用い

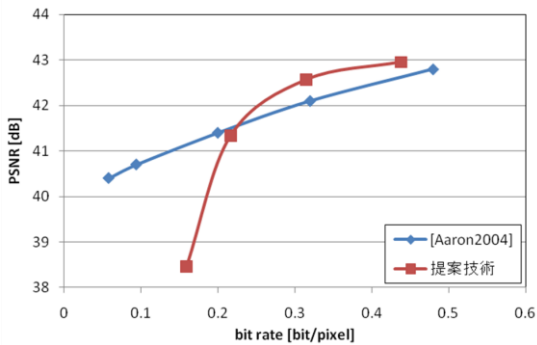


図 2. 提案した DVC の PSNR

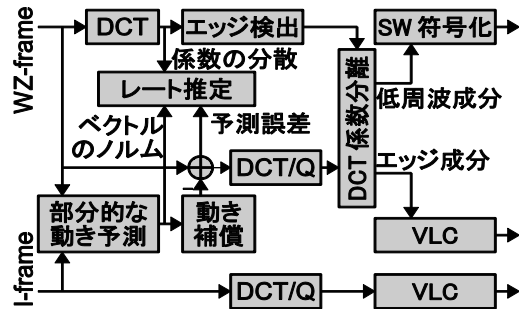


図 3. DVC におけるレート推定

た数種のテスト画像に対して適切にレート予測が行えることを示した。例えば、テスト画像”Foreman”において理想符号量の場合との PSNR の差は 1dB 以下であった (図 4)。

## (2) JSCC の研究

情報源符号化、通信路符号化及び暗号化機能を有する統合符号化法として、線形符号の組合せによる符号化法を提案した。すなわち、線形符号の検査行列  $G$ 、生成行列  $H$ 、密な正則行列  $D$  及び 2 種の置換行列を用いて符号化を行う手法を示した。提案手法における符号化処理は、行列演算を主体とした簡易な処理により実現できることから、本手法は回路規模や消費電力等に制約のある小型携帯端末等への適用に有効である。本研究では、データ圧縮効率を高めるため、拡張 Huffman 符号を用いた統合符号化を提案し、従来の手法よりも 1% から 3% 程度圧縮率を向上できることを示した。また、誤り制御能力の向上のため、図 5 に示すような 3 階層の Tanner グラフを用いた復号アルゴリズムを提案した。ただし、図 5(a) に示すグラフの第 1 層は通信路符号化、第 2 層は暗号化、第 3 層は暗号化にそれぞれ対応する。これにより復号語の誤り率が従来の 1/2 程度となることを示した (図 6)。

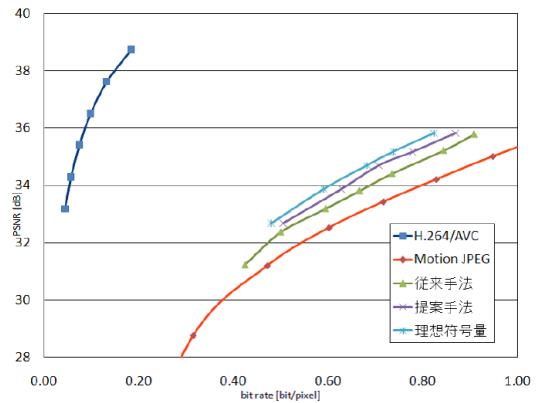


図 4. 提案したレート推定法の PSNR

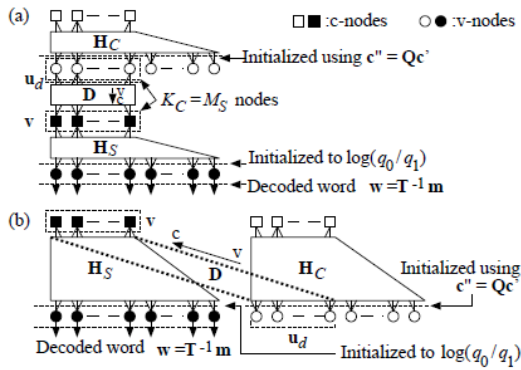


図 5. 3 階層 Tanner グラフ

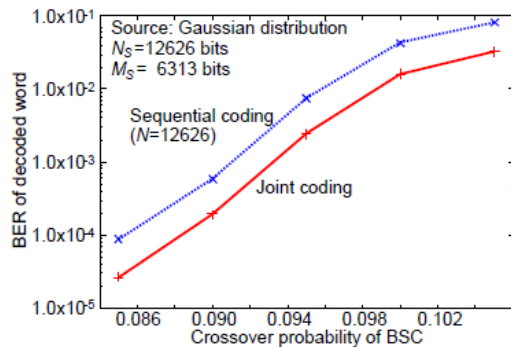


図 6. 統合符号化の BER

(3) ストレージ用誤り制御符号の研究

一般の情報通信システムと同様に、分散ストレージシステムにおいても低消費電力化が要求されると予測されることから、本研究では消費電力の少ないソリッドステートドライブ (SSD) に対する誤り制御符号に重点をおいて研究を行った。具体的には、8 レベル以上の多レベルセルフラッシュメモリにおける多ビット誤りを効率的に訂正するため、従来の BCH 符号等のランダムビット誤り制御符号に加えて、2 階層及び 3 階層で符号化を行う多レベル誤り制御符号化法を提案した。2 階層符号化では、フラッシュメモリの各ページ内でランダムビット誤り訂正を行うとともに、複数のページからなるクラスタにおいてパリティ検査符号による消失訂正を行

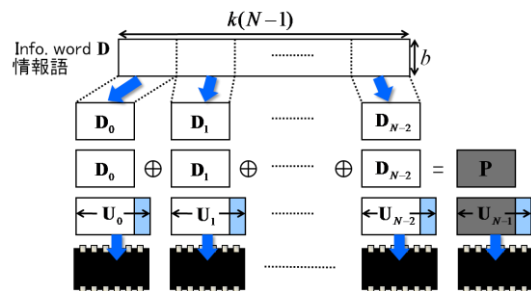


図 7. SSD に対する 2 階層符号化

う (図 7). 3 階層符号化では、2 階層符号化に加えて、クラスタに対してランダムビット誤り訂正符号を適用して、積符号を構成することにより誤り訂正能力をさらに向上した (図 8). これにより、復号後の誤り率が 3 桁程度低下することを示した (図 9). また、提案手法を用いた場合の平均データ喪失時間 (MTTDL) の推定をマルコフモデルを用いて行い、提案手法により MTTDL が 2 倍以上となることを示した (図 10).

多レベルセルにおける非対称誤りを訂正するため、多元 LDPC 符号の設計と評価を行った。図 11 に示すように、多元 LDPC 符号は従来の 2 元 LDPC 符号よりも低い誤り率を与

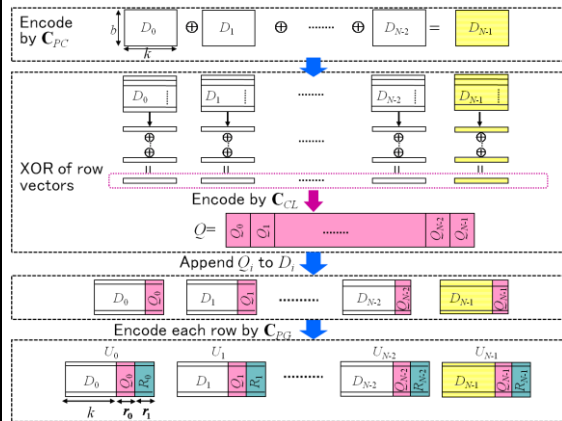


図 8. SSD に対する 3 階層符号化

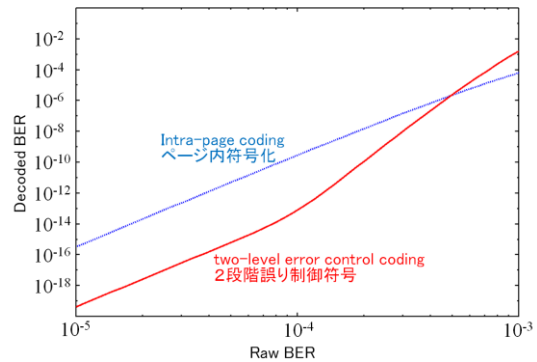


図 9. 多レベル誤り制御符号の BER

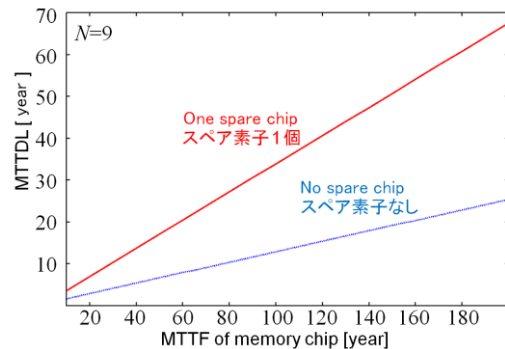


図 10. SSD の MTTDL

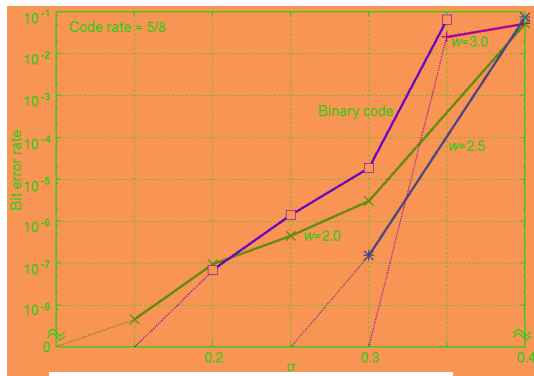


図 11. 多元 LDPC 符号を用いた  
場合の BER

えることを明らかにした。

以上のように、研究目的で述べた 3 項目の研究について、それぞれ新規な手法を提案し、従来よりも良好な結果が得られた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

①Haruhiko Kaneko, Eiji Fujiwara, “Joint source-cryptographic-channel coding for dependable systems,” International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 34, No. 4, pp. 249–256, 2009. (査読有り)

〔学会発表〕 (計 17 件)

①Haruhiko Kaneko, “Probabilistic Search of Nonbinary LDPC Codes for Distributed Video Coding,” Proc. 2010 International Symposium on Information Theory and Its Applications, pp. 231–236, Oct. 18, 2010, Taiwan. (査読有り)

②Yuu maeda, Haruhiko Kaneko, “Error Control Coding for Multilevel Cell Flash Memories Using Nonbinary Low-Density Parity-Check Codes,” Proc. 2009 IEEE Int. Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems, pp. 367–375, Oct. 8, 2009, USA. (査読有り)

③Haruhiko Kaneko, Takuya Matsuzaka, Eiji Fujiwara, “Three-Level Error Control Coding for Dependable Solid-State Drives,” Proc. IEEE Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, pp. 281–288, Dec. 16, 2008, Taiwan. (査読有り)

④Haruhiko Kaneko, Eiji Fujiwara, “Joint Source-Cryptographic-Channel Coding for

Dependable Systems,” Proc. 2008 Int. Conference on Information Technology and Applications, pp. 9–14, Jun. 24, 2008, Australia. (査読有り)

〔図書〕 (計 1 件)

①Haruhiko Kaneko, InTech Open Publisher, Flash Memory (Chapter: Error Control Coding for Flash Memory; 26 pages), 2011.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子晴彦 (KANEKO HARUHIKO)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・  
講師

研究者番号：70392868