

氏名 (本籍)	むらかみ とくみち 村上 篤道 (広島県)
学位の種類	博士 (情報科学)
学位記番号	情博第 227 号
学位授与年月日	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科(博士課程)システム情報科学専攻
論文題目	高品位映像の高エネルギー符号化と蓄積・伝送技術への応用に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 中村 慶久 東北大学教授 根元 義章 東北大学教授 荒井 賢一 東北大学教授 村岡 裕明 (工学研究科) (工学研究科)

論文内容要旨

1、緒論

本論文では、映像高エネルギー符号化とその蓄積・伝送技術への応用を目的に、情報理論、符号理論、フィルタ理論、映像信号処理の源流に遡り、国際標準化に至った MPEG 映像符号化アルゴリズムを見直し、高品位映像 (HDTV) の高圧縮符号化を達成し、新しい蓄積・伝送システムへの展開を言及する。

まず、C. E. Shannon の情報理論を源流とする符号化技術を顧み、筆者の貢献を踏まえて、映像符号化技術の変遷を解説した。特に、実用化された個々の映像符号化技術開発の軌跡に注目し、動き補償予測とブロック符号化を組み合わせた ISO/MPEG-2 ハイブリッド符号化に至るまでの流れをまとめた。

更に、ITU-T および ISO/IEC で行われてきた MPEG 動画映像符号化方式に至る国際標準化活動の概要を示し、MPEG-2 符号化技術について詳説した。標準化方式開発の過程においては、筆者が MPEG に提案し採用された 6 つの手法について詳細を示した。これらの手法は、インタレース映像を対象とする MPEG-2 の符号化効率を飛躍的に向上させることや、デコーダの受信バッファを破綻させずに符号化処理を行うことのために必要な機能であり MPEG-2 符号化方式の重要な基本技術として採用されている。

本論では、高品位映像の高圧縮符号化を目的として、高品位映像の統計的性質や MPEG-2 アルゴリズムと符号化効率を詳細に分析し、新たにレート・歪み規範 (Rate-Distortion Criterion) に基づく高圧縮符号化手法を開発した。符号化性能の比較参照モデルには MPEG-2 TM5 を用いた。既存の MPEG-2 復号化器に相互接続 (復号再生) 可能という制約条件下で、HDTV 信号を 22Mbps、15Mbps、11Mbps まで圧縮し、TM5 と比較した結果 PSNR 2dB の改善を達成した。

2、レート・歪み規範に基づく高品位映像の高圧縮符号化方式

本論では、第一段階として、高品位映像の高圧縮符号化に関する評価検証のための記号と数式の定義を行い、HDTV 信号の水平、垂直方向の画素間相関や、動きベクトルの分布、DCT 係数の電力分布などの統計的性質を調べた。次に、符号化前処理によるフィードフォワ

ード制御の導入効果として、映像シーン解析（シーンチェンジ検出と予測モードの制限）により、シーンチェンジ直後の画質が1 dB改善される事を示した。カラーマネージメント（色領域検出と情報量配分の補正）技術は、特定の色再現性の向上に有効であった。

第2段階では、国際標準化の過程で開発された MPEG-2 TM5 (Test Model 5) を比較参照モデルとしてアンカーに用い、主題となるレート・歪み規範に基づいた評価関数を用いた符号化手法の導入を行った。MPEG-2 TM5 は優れた符号化効率を達成する参照モデルであり、動き補償予測と DCT 変換量子化を基本に各符号化ツールを組み合わせたハイブリッド符号化手法である。しかし、TM5 は、ツール毎に最小歪み量子化と符号割り当て(エントロピー符号化)が個別で且つプログレッシブに施されて最適化されている。

筆者は、理論的限界を与えるレート・歪み規範に基づく評価関数(コスト関数)に基づき、一挙に最適化する手法を用いて符号化効率改善を試みた。まず、TM5 の改善課題とレート・歪み規範に基づく4つの改善手法について、各手法をパラメトリックに実行し評価解析を試みた。まず、動き補償予測では、信頼性の低い動きベクトルに対する符号量削減効果により平均1.16dBのSN比の改善が得られ、動き探索範囲の適応的最適化により平均1.21dBのSN比改善が達成できた。次に、DCT係数量子化のオルタネートスキンの適用は、平均0.57dBのPSNR(Picture S/N Rate)改善をもたらすという結果を得た。情報発生量平滑化(フィードバック符号化制御)を目的とした、DCT係数絶対値和によるイントラフレーム符号量の推定では、バッファ破綻の防止効果を確認した。最後に、2パス符号化(仮符号化を行い歪みと符号量両面からイントラ/インターモードを判定)を通して、平均0.84dBのSN比改善を実現できた。

第3段階で、上述の改善方式を結合したレート・歪み規範に基づく映像符号化S/Wシミュレータを開発し、複数のHDTVシーケンスと複数のビットレートによるシミュレーション実験を行い、その効果を実証した。シミュレーション結果より、従来用いられていたTM5符号化制御方式に比べ、今回提案を行ったレート歪み規範を用いて符号化制御の最適化を図ることにより、15Mbpsおよび11MbpsでPSNR2.0dBの改善が得られた。提案方法は符号化ビットレートが低いほど、また映像シーケンスの動きが激しいほどより改善度が高いという結果が得られており、符号化難易度の高い状況下においてより大きな効果を発揮することが実証できた。

3、蓄積・伝送システムへの応用

高品位映像の高効率符号化を行った成果を蓄積や伝送システムに応用した場合の波及効果について考察した。デジタル放送に本研究成果を適用した場合には、伝送帯域の有効利用や電波資源の有効活用、放送番組の長時間記録が可能となり、高度かつ高品質デジタル放送サービスの実現に大きなインパクトを与える。例えば、衛星デジタル放送では現状の伝送帯域内でHDTV番組と各種データ放送を組み合わせた高機能放送やHDTV番組とSDTV番組の同時放送が可能となり、地上デジタル放送では現状の伝送帯域内で固定受信

向け番組及び移動受信向け番組、携帯受信向け番組の同時放送が可能になる。

パッケージメディアに本研究成果を適用した場合には、蓄積時間が現状の2倍程度になるため HDTV-DVD が実現でき、DVD を HDTV 番組の記録媒体として使用することにより利便性が向上する。また、ハードディスクを主体とする大容量蓄積媒体を利用することで通信（インターネットを含む）と放送を融合させた新たなシステムやサービスの創出が可能で、アクセス性の向上やデジタルアーカイブの実現を加速化する。

4、結論

ここで開発された手法 - 映像信号の解析、カラーマネジメント、レート・歪規範に基づく動き補償と DCT 係数の高能率符号化、情報発生量の平滑化、フィードフォワード・フィードバック符号化制御等 - は、映像情報の高圧縮符号化に極めて有効な基本技術である。すなわち、MPEG4++、H. 26L 等の次世代符号化方式開発にも、符号化器最適設計の基本的・理論的指針をなす Rate-Distortion Video Codec を提案している。

本手法のシステム導入によりデジタル放送のチャンネル有効活用、TVAny のような広帯域ネットワークを通じたデジタル映像情報のストリーミング、DVD や HDD 等の蓄積・検索メディアのコンパクト化を実現できる。通信・放送・パッケージメディアの融合により高圧縮符号化された映像情報はより有効に活用されることになるだろう。

論文審査の結果の要旨

映像情報の PCM 符号化レートは音声情報に比べ格段に高いため、この通信、放送、蓄積、処理には、符号化レート（情報量）を飛躍的に削減し、かつ遜色ない映像を再現する映像符号化技術の開発が不可欠である。著者は、映像高能率符号化技術の研究開発と国際標準化活動に長年従事してきた成果をもとに、HDTV 映像をさらに 10~15Mbps に高圧縮する技術を提案し、その蓄積および伝送技術への有効性を検証した。本論文はそれらの成果をまとめたもので、全文 8 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。

第 2 章では、Shannon の情報理論を源流とする映像符号化技術の変遷と、その実用化技術が動き補償予測とブロック符号化を組み合わせた MPEG 符号化方式に至った経緯を述べている。

第 3 章では、MPEG-2 動画像符号化方式について詳細に解説するとともに、その開発過程で著者が貢献した技術内容について述べ、さらに本論文の主題である高圧縮符号化の提案内容と改善効果を理解するために MPEG-2 符号化方式の処理手順をフローチャート化して示している。

第 4 章では、高品位映像の高圧縮符号化を検討するため、評価検証のための記号と数式を定義するとともに、複数の HDTV 映像について輝度信号レベルの統計的性質を調べ、シーンチェンジを精度良く検出する符号化前処理や、画質劣化が顕著に現れる領域の検出とそこへ情報量を優先的に配分するカラーマネジメント法が画質改善に効果のあることを示している。

第 5 章では、MPEG-2 の動き補償予測と DCT ハイブリッド符号化に対し新たにレート・歪み規範に基づく高圧縮符号化手法を導入し、その改善効果を計算機シミュレーションで調べ、動き補償、DCT 係数量子化、情報発生量平滑化、2 パス符号化のいずれにも効果のあることを示している。

第 6 章では、第 4、5 章で提案した改善方式を統合した MPEG-2 ビデオ信号のソフトウェアシミュレータを開発し、複数の HDTV シーケンスに対し 22、15、11Mbps のいずれのビットレートについても、動きの激しい映像ほど高い改善効果のあることを示している。

第 7 章では、この高能率符号化方式を蓄積や伝送システムに応用した場合、伝送帯域の有効利用や電波資源の有効活用、映像の長時間蓄積などに大きな波及効果のあることを述べている。

第 8 章は結論である。

以上要するに本論文は、高品位映像の蓄積および伝送技術への応用を目的に、MPEG 映像符号化アルゴリズムを見直し、現用の方式に比べてほぼ 2 倍の高圧縮符号化ができることを明らかにしたもので、システム情報科学および情報伝送工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。