

平成 26 年 4 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300018

研究課題名(和文) 超高精細動画向け画像圧縮 LSI 構成法の研究

研究課題名(英文) Video compression LSI technologies for ultra-high definition video

研究代表者

池永 剛 (Ikenaga, Takeshi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：90367178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000 円、(間接経費) 4,530,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究は、次世代の高臨場感動画通信・放送サービス実現のコアとなる、超高精細動画向け低演算量画像圧縮アルゴリズム、アーキテクチャの実現を目標に取り組んできた。3年間の活動を通じて、動き予測、適応型補間フィルタ、直交変換・量子化など、動画圧縮の基本処理に対する成果を始めとして、2013年1月に標準化されたHEVC (High Efficiency Video Coding)の新機能であるイントラ予測やSAOなど多様な成果を発信した。映像機器、放送・通信関連企業に対する技術交流も積極的に行っており、4KやSuperHDTVなどの超高精細動画サービス実現に向けた動きが活発になっている。

研究成果の概要(英文)：This research focused on low-complexity video compression algorithms and hardware architectures for ultra-high-resolution video which is a key for creating the next generation high-reality video communication and broadcasting services. Through three years activities, we proposed many low-complexity algorithms and LSI architectures for basic functions of video compression (e.g. a motion estimation, an adaptive interpolation filter and a translation/quantization). Furthermore, we proposed low-complexity intra prediction and SAO (Sample Adaptive Offset) algorithms which are new functions in HEVC (High Efficiency Video Coding) standardized on Jan. 2013. We also promoted collaboration with video system, communication and broadcasting industries. Now, new video broadcasting services based on 4K and super HDTV are going to appear.

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：動画符号化 信号処理 集積回路 回路とシステム

1. 研究開始当初の背景

動画画像圧縮技術の研究の歴史は長いですが、特に1994年のMPEG-2の国際標準化を契機にして専用LSIの研究開発が活発になり、様々な動画画像圧縮LSIが開発され、デジタルTV、TV会議システム、モバイル機器など幅広いアプリケーションや産業が生まれてきている。動画圧縮は、ビデオデータの蓄積や伝送の効率化に欠かせない技術であり、ユビキタス(いつでも、どこでも)やアンビエント(安全、安心、快適さ)情報化社会においてもその重要性は益々高まっていき、様々な情報処理システムのコアとして発展していくと考えられる。研究に着手した当時は、H.264/AVCをベースとしたフルハイビジョン(HDTV1080: 1920×1080画素)の画像圧縮LSIが製品化され、実用に供されるようになってきていたが、高臨場感通信・放送の実現のため、さらなる高精細化の要求が高まってきた。例えば、NHK放送技術研究所は次世代の放送規格としてスーパーHDTV(7680×4320画素)の研究開発に着手し、2020年の試験放送サービス開始を目指していた。また、次の国際規格として高精細画像を主ターゲットとしたH.265/HEVC(High Efficiency Video Coding)の標準化が進捗しつつあった。スーパーHDTVクラスの超高精細動画画像圧縮LSIを考えた場合、画素数、フレーム数や探索範囲の増加などを勘案すると、HDTVの数倍以上の演算量が必要となる。このため、現在の技術の延長だけでは実現困難であり、幅広い視野に立った技術創出が強く求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、次世代の高臨場感動画画像通信・放送サービス実現のコアとなる、超高精細(7680×4320画素)動画画像圧縮を方式仕様、アルゴリズム、LSIアーキテクチャの3つの視点から評価・検討を行い、5~10年先のLSI製造技術(10~20nm)を想定した場合における、LSI実現可能性、最適アルゴリズム・アーキテクチャ構成を明確化する。さらに各種成果を、日本の産業界へフィードバックすることにより、将来の高臨場画像通信・放送サービス実現に資する事を目的として行った。

3. 研究の方法

次世代の動画画像圧縮規格であるH.265/HEVC(High Efficiency Video Coding)は、2013年1月に標準化されたが、本研究では、標準化前後で、大きく研究の進め方や狙いを変えた。

(1) HEVC(標準化前)

国内企業各社と連携しながら、標準化委員会で提案された数多くの機能の中で、超高精細画像に対して、効果が高く、標準仕様のコアとなる可能性が高い機能を優先づけて、低演算量アルゴリズムおよびそのハードウエ

ア化の検討を進めた。具体的には、動き予測、適応型補間フィルタ、直交変換・量子化などの機能に帯する検討を進めた。

(2) 標準化後

標準化後は、標準仕様に盛り込まれた機能の中でH.264と比較して大きく変更・改善された機能を中心に検討を進めた。具体的には、イントラ予測とサンプル・アダプティブ・オフセット(SAO)の2つをメインとして、検討を進めた。

(3) 関連研究

国内の映像システム企業各社との議論を進める中で、将来の映像システムの差別化を図っていくためには、コアとなる動画画像圧縮だけでなく、TV会議応用等を想定した、スケラブルな拡張機能や、画像フィルタ、物体追跡・特徴抽出をベースとした映像認識機能が益々重要になるとの要望を受け、これらの検討も平行して行った。

4. 研究成果

(1) HEVC(標準化前)

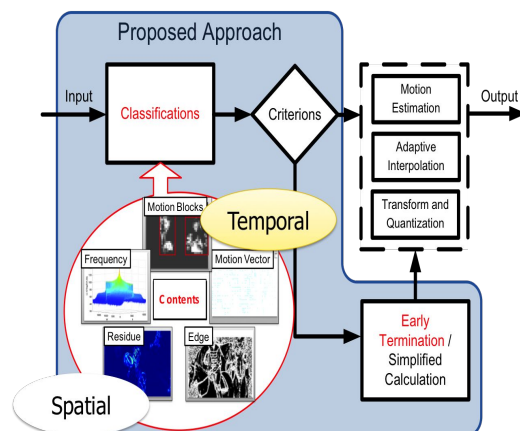


図1. コンテンツに基づく低演算化手法

HEVCの初期段階のドラフト仕様の中では、動き予測、適応型補間フィルタ、直交変換・量子化が、それぞれ平均的に34%、18%、16%の演算量となっており、符号化処理全体の7割を占めていた。そこで、まず、3つの処理の低演算量化に注力した。低演算量化のキーとしては、画像のコンテンツに着目した。特に、動き、周波数特性、エッジ、符号量を示す残余など時間的特徴から空間的特徴に渡る幅広い特徴量を取り上げた。事前に算出した特徴量に基づき冗長なパターンやモードを検出し、処理を途中で停止させたり、スキップさせたりする事により、画質を落とすことなくHEVC符号化処理の演算量削減を図った。具体的には、動き予測の低演算量化を目的とした、コンテンツに基づくスキップモード事前予測アルゴリズムを提案し、動き予測の演算量をさらに平均39%削減可能な事を示した。また、コンテンツに基づく階層型適応

補間フィルタを提案し、処理量を平均 33%削減可能な事を示した。さらに、コンテンツに基づく 4 分木オールゼロブロック検出アルゴリズムを提案し、直行変換・量子化の演算量を種々の HDTV 画像に対して平均 52%削減できる事を示した。図 1 は、本検討を通じて考案したコンテンツに基づく低演算化手法の概念を示したものである。

(2) HEVC(標準化後)

イントラ予測に加え、符号化と雑音に伴う信号波形歪を補正する新しいツールとして加わった、サンプル・アダプティブ・オフセット(SAO)に注力した。イントラ予測では、画素勾配解析やモード改善などにより、43%の演算量削減を可能にした。SAO は、クラス結合手法、事前決定手法、ブロック境界予測手法などを提案した。クラス結合手法は類似処理を結合することで処理時間を削減、事前決定手法は検索範囲を縮小することで処理時間を削減している。一方、ブロック境界予測手法は Deblocking Filter とのデータ依存問題を解決することでループ内フィルタ全体の並列化が可能にしている。これらの提案手法を組み合わせることで、SAO 処理時間は最大平均 31.27%削減でき、BD-bitrate が平均 0.17%削減できることを確認した。ハードウェア実装に直接関わる成果としては、画像コーデック向けの 3D スタックフェーズチャージ RAM を考案し、52-57%の消費電力削減の見通しを得た。

(3) 関連研究

将来の TV 会議システム応用につながる、Scalable Video Extension(SVC)の検討を行い、各種動画圧縮フォーマット間の低演算量トランスコーダアルゴリズムの成果を発信した。さらに、成果の一部を、企業と連携して、HEVC の標準化委員会で寄書提案(JCTVC-K0052)を行うなどの国際標準化に向けた取り組みも行った。

また、動画圧縮を含む各種映像システムプロダクト差別化のキーとなる、実時間特徴抽出のハードウェアエンジン、空間的・時間的情報および連結性を考慮した KOI(Keypoint of Interest)抽出アルゴリズム、低演算量物体追跡アルゴリズムなどを実現し、成果発信を行った。

(4) 成果の普及

本研究を進めるのと平行して、放送・通信企業や情報家電企業に対し、適宜、得られた成果や知見をフィードバックしながら、その実現可能性を深く議論した。これらの取り組みを通じて、現時点まで得られている結論は、超高精細向け動画圧縮システムを民生製品等へ搭載可能なコストで実現するためには、まだ技術的なギャップが大きいという事である。よって、本格的にフル仕様の動画圧縮システムの研究開発に着手する国内企

業はまだない状況である。新たな技術の方向性として、低コスト化が重要であるという結論に至り、新たな科研費提案を行い、2014年度から、本研究の成果・知見を最大限に生かす形で、研究を進展させる予定である。

さらに、アジア全体における当該分野の産業や技術の発展を狙って、中国のトップ大学である清華大学、南京大学との共同研究を積極的に進めた。特に清華大学の劉振宇准教授とは、3年の期間中、動画圧縮に関する6件の原著論文と10件の査読付き国際会議論文を共著で発信した。

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 14件)

1. Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "A Mode Mapping and Optimized MV Conjunction Based H.264/SVC to H.264/AVC Transcoder with Medium-Grain Quality Scalability for Videoconferencing", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E97-A, No. 2, pp.501-509, Feb. 2014. DOI: 10.1587/transfun.E97.A.501
2. Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "Low-Complexity Hybrid-Domain H.264/SVC to H.264/AVC Spatial Transcoding with Drift Compensation for Videoconferencing", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E96-A, No. 11, pp.2142-2153, Nov. 2013. DOI: 10.1587/transfun.E96.A.2142
3. Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "A Drift-Constrained Frequency-Domain Ultra-Low-Delay H.264/SVC to H.264/AVC Transcoder with Medium-Grain Quality Scalability for Videoconferencing", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E96-A, No. 6, pp.1253-1263, June. 2013. DOI: 10.1587/transfun.E96.A.1253
4. Sanchuan Guo, Zhenyu Liu, Guohong Li, Takeshi Ikenaga, Dongsheng Wang, "Content-Aware Write Reduction Mechanism of 3D Stacked Phase-Change RAM Based Frame Store in H.264 Video Codec System", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E96-A, No. 6, pp.1273-1282, June. 2013. DOI: 10.1587/transfun.E96.A.1273

5. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, "Low Complexity Keypoint Extraction Based on SIFT Descriptor and Its Hardware Implementation for Full-HD 60 fps Video", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E96-A, No. 6, pp. 1376-1383, June. 2013. DOI: 10.1587/transfun.E96.A.1376
 6. Lei Sun, Jie Leng, Jia Su, Yiqing Huang, Hiroomi Motohashi, Takeshi Ikenaga, "Low-Complexity Coarse-Level Mode-Mapping Based H.264/AVC to H.264/SVC Spatial Transcoding for Video Conferencing", IEICE Trans. Inf. & Syst. , Vol. E95-D, No. 5, pp. 1313-1323, May 2012. DOI: 10.1587/transinf.E95.D.1313
 7. Jia Su, Takeshi Ikenaga, "Adaptive-Motion-Detection-Based Skip-Mode Predecision in Motion Estimation for Video Surveillance", Journal of Signal Processing, Vol. 16, No. 1, pp. 67-78, Jan. 2012.
 8. Jia Su, Yiqing Huang, Lei Sun, Shinichi Sakaida, Takeshi Ikenaga, "Content Based Coarse to Fine Adaptive Interpolation Filter for High Resolution Video Coding", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E94-A, No. 10, pp. 2013-2021, Oct. 2011. DOI: 10.1587/transfun.E94.A.2013
 9. 荒木 良介, 池永 剛, "マンマシンインタフェースを対象とした KLT Tracker の特徴点集合による両手領域追跡", 画像電子学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 833-841, Sep. 2011.
 10. 椎名 雄飛, 池永 剛, "2重モデルに基づくパーティクルフィルタを用いた不規則運動物体の追跡", 画像電子学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 823-832, Sep. 2011.
 11. Xiaocong Jin, Jun Sun, Yiqing Huang, Jia Su, Takeshi Ikenaga, "Fast H.264/AVC DIRECT Mode Decision Based on Mode Selection and Predited Rate-Distortion Cost", IEICE Trans. Electron, Vol. E94-D, No. 8, pp. 1653-1662, Aug. 2011. DOI: 10.1587/transinf.E94.D.1653
 12. Zhenyu Liu, Junwei Zhou, Dongsheng Wang, Takeshi Ikenaga, "Register Length Analysis and VLSI Optimization of VBS Hadamard Transform in H.264/AVC", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 21, No. 5, pp. 601-610, May 2011. DOI: 10.1109/TCSVT.2011.2129330
 13. Yiqing Huang, Xiaocong Jin, Jin Zhou, Jia Su, Takeshi Ikenaga, "Highly Parallel and Fully Reused H.264/AVC High Profile Intra Predictor Generation Engine for Super Hi-Vision 4k4k@60 fps", IEICE Trans. Electron, Vol. E94-C, No. 4, pp. 428-438, Apr. 2011. DOI: 10.1587/transele.E94.C.428
 14. Xi Zhang, Chongmin Li, Zhenyu Liu, Haixia Wang, Dongsheng Wang, Takeshi Ikenaga, "A Novel Cache Replacement Policy via Dynamic Adaptive Insertion and Re-Reference Prediction", IEICE Trans. Electron, Vol. E94-C, No. 4, pp. 468-476, Apr. 2011. DOI: 10.1587/transele.E94.C.468
- [学会発表](計 28 件)
1. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, "Keypoint of Interest Based on Spatio-temporal Feature Considering Mutual Dependency and Camera Motion", The Sixth International Conferences on Advances in Multimedia (MMEDIA 2014), Feb. 2014.
 2. Gaoxing Chen, Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "Fast Mode and Depth Decision HEVC Intra Prediction Based on Edge Detection and Partitioning Reconfiguration", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2013), Nov. 2013.
 3. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, "Keypoints of Interest Based on Spatio-Temporal Feature and MRF for Cloud Recognition System", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2013), Oct. 2013.
 4. Gaoxing Chen, Zhenyu Pei, Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "FAST INTRA PREDICTION FOR HEVC BASED ON PIXEL GRADIENT STATISTICS AND MODE REFINEMENT", IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP

- 2013), July 2013.
5. Lei Gu, Takeshi Ikenaga, "Hand Gesture Interface Using Fourier Descriptor Filter and SVM", The 28th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2013), July 2013.
 6. Lei Sun, Zhenyu Liu, and Takeshi Ikenaga, "A Mode-Mapping and Optimized MV Conjunction Based MGS-Scalable SVC to AVC IPPP Transcoder", IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2013), May 2013.
 7. Guang Chen, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, Dongsheng Wang, "Fast HEVC Intra Mode Decision Using Matching Edge Detector and Kernel Density Estimation Alike Histogram Generation", IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2013), May 2013.
 8. Xiaoyang Yuan, Lei Gu, Takeshi Ikenaga, "Local-threshold 2D-top-hat Cell Segmentation for the Two-photon Confocal Microscope Image", IAPR International Conference on Machine Vision and Applications (MVA 2013), May 2013.
 9. Lei Sun, Zhenyu Liu, and Takeshi Ikenaga, "A Low-complexity Quantization-domain H.264/SVC to H.264/AVC Transcoder with Medium-Grain Quality Scalability", 19th International Conference on Multimedia Modeling (MMM 2013), Jan. 2013.
 10. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, "SIFT-Based Low Complexity Keypoint Extraction and Its Real-Time Hardware Implementation for Full-HD Video", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2012), Dec. 2012.
 11. Ryosuke Araki, Takeshi Ikenaga, Seiichi Gohshi, "Real-Time Both Hands Tracking Using CAMshift with Motion Mask and Probability Reduction by Motion Prediction", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2012), Dec. 2012.
 12. Yuhi Shiina, Takeshi Ikenaga, "Recovery Method based Particle Filter for Object Tracking in Complex Environment", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2012), Dec. 2012.
 13. Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "A Video conferencing-oriented Hybrid-domain H.264/SVC to H.264/AVC Spatial Transcoder", 13rd Pacific-rim Conference on Multimedia (PCM 2012), Dec. 2012.
 14. Lei Gu, Xiaoyang Yuan, Takeshi Ikenaga, "Hand Gesture Interface Based on Improved Adaptive Hand Area Detection and Contour Signature", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2012), Nov. 2012.
 15. Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "A Pixel-Domain Mode-Mapping based SVC-To-AVC Transcoder with Coarse Grain Quality Scalability", 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2012), Nov. 2012.
 16. Seiichi Gohshi, Hiroyuki Sekiguchi, Yoshiyasu Shimizu, Takeshi Ikenaga, "Subjective Assessment of Reconstruction of Super Resolution Images", International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP 2012), Sep. 2012.
 17. Wei-Jing Chen, Lei Sun, Lei Gu, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, "A Low Complexity ALF based on Inter-Channel Correlation between Chroma and Luma in HEVC", The 14th IASTED International Conference on Signal and Image Processing (SIP 2012), Aug. 2012.
 18. Zhenyu Liu, Dongsheng Wang, Junwei Zhou, Takeshi Ikenaga, "Lagrangian Multiplier Optimization Using Markov Chain Based Rate and Piecewise Approximated Distortion Models", Data Compression Conference (DCC), Apr. 2012.
 19. Zhenyu Liu, Dongsheng Wang, Junwei Zhou, Takeshi Ikenaga, "Lagrangian Multiplier Optimization using Correlations in Residues", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2012), Mar. 2012.

20. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, "Corner Detection Based Low Complexity SIFT Algorithm for Real-time Keypoints Matching", RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2012), Mar. 2012.
21. Wei Jing Chen, Jia Su, Bin Li, Takeshi Ikenaga, "Reversed Intra Prediction Based On Chroma Extraction in HEVC", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2011), Dec. 2011.
22. Jia Su, Yiqing Huang, Lei Sun, Shinichi Sakaida and Takeshi Ikenaga, "Low Complexity Quadtree based All Zero Block Detection Algorithm for HEVC", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2011), Oct. 2011.
23. Lei Sun, Jie Leng, Jia Su, Yiqing Huang, Hiroomi Motohashi and Takeshi Ikenaga, "Video Conferencing Oriented Low-Complexity Coarse-Level Mode-Mapping Based H.264/AVC to H.264/SVC Spatial Transcoding", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2011), Oct. 2011.
24. Ryosuke Araki and Takeshi Ikenaga, "Real-time Hands Tracking Using Feature Point Gathering based on KLT Tracker for Man-Machine Interface", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2011), Oct. 2011.
25. Yuhi Shiina and Takeshi Ikenaga, "Dual Model Particle Filter for Irregular Moving Object Tracking in Sports Scenes", APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2011), Oct. 2011.
26. Jia Su, Yiqing Huang, Lei Sun, Shinichi Sakaida, Takeshi Ikenaga, "Coarse to Fine Adaptive Interpolation Filter for High Resolution Video Coding", IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2011), July 2011.
27. Xiaocong Jin, Jun Sun, Yiqing Huang, Jia Su, Takeshi Ikenaga, "Adaptive Fast Direct Mode Decision Algorithm using Mode and Lagrangian Cost Prediction for B Frame in H.264/AVC", IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2011), July 2011.
28. Jie Leng, Lei Sun, Takeshi Ikenaga, Shinichi Sakaida, "Content Based Hierarchical Fast Coding Unit Decision Algorithm For HEVC", International Conference

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.f.waseda.jp/ikenaga/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池永 剛 (IKENAGA, Takeshi)

早稲田大学・理工学術院情報生産システム
研究科・教授

研究者番号：90367178