

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280016

研究課題名(和文)非線形超解像を用いた低コスト超高精細動画画像圧縮システムの研究

研究課題名(英文)Low-cost video compression systems for ultra-high-resolution 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) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、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HEVC圧縮システムの低コスト化を可能とする技術を創出する事を目標に取り組んできた。3年間の活動を通じて、HEVCさらには、その拡張標準であるSHVC、SSCに対し、多様なハードウェア向きアルゴリズム、およびその低演算量化の成果を発信した。また、映像機器、放送・通信関連企業とも積極的に交流を深め、高精細映像システムをソリューションビジネスに生かす応用面での検討として、スポーツ解析技術、監視カメラなど幅広い取り組みも行った。

研究成果の概要(英文)：This research focused on HEVC-based low-cost video compression systems 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 hardware friendly and low complexity algorithms for not only HEVC (High Efficiency Video Coding) but also SHVC (Scalability Extension) and SCC (Screen Content Coding Extension) which are the extension of HEVC. We also promoted discussion with video system, communication and broadcasting companies and engaged research on applications based on high resolution video systems such as sport analysis and surveillance camera for creating new industries.

研究分野：映像情報システム

キーワード：動画画像圧縮 映像情報システム HEVC 高臨場動画画像通信

1. 研究開始当初の背景

研究を開始した 2014 年度当初、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 が開発され、様々な製品に搭載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ていた。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)の研究開発を推進し、東京五輪が開催される 2020 年の放送サービス開始を目指し取り組んできている。また、次世代放送推進フォーラムなど、高精細放送を目指した活動も活発化しつつあった。これらのサービス実現の鍵を握るのが動画画像圧縮システムであるが、2013 年 1 年に高精細動画を主ターゲットとした新たな国際規格として、HEVC (High Efficiency Video Coding) が標準化されるなど、その実現に向けた環境が整いつつあった。

しかし、HEVC をベースとした超高精細向け動画画像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く、本格的にフル仕様の HEVC 動画画像圧縮システムの開発に着手する国内企業はまだない状況であった。

2. 研究の目的

スーパーHDTV クラスの超高精細動画画像圧縮システムを考えた場合、画素数、フレーム数や探索範囲の増加などを勘案すると、H.264 をベースとした HDTV コーデックの数百～千倍以上の演算量が必要となる。半導体技術の進歩や低演算量アルゴリズムにより LSI の実現可能性は見えて来ているが、実際の製品開発に結びつけて行くためには、さらなる低コスト化が望まれる。

そこで、本研究では、1990 年頃から培ってきた動画画像圧縮研究の取り組みをさらに発展させ、超高精細(7680×4320 画素)動画画像向け HEVC 圧縮システムの低コスト化を可能とする技術を案出する事を目的として取り組んだ。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た活動も行なった。

3. 研究の方法

本研究では、HEVC をメインターゲットとして、検討に着手したが、その後、拡張仕様として国際標準化が進められた、SHVC (Scalability Extension) や SCC (Screen Content Coding Extension) などにも対象を広げ、検討を行った。さらに、映像システムの応用を志向した研究も行った。

(1) HEVC

HEVC はそれ以前の国際標準である H.264/AVC と比較して、2 倍以上の圧縮効率が見られる一方で、演算量も 3 倍以上に増え

ている。このため高精細映像を処理可能な実時間映像符号化(エンコーダ)システムを実現するためには、VLSI 化が必須となっている。VLSI 実現のためには、多くの課題を解く必要があるが、標準仕様はソフトウェア指向であるため、効率良い実装のためには、アルゴリズムをハードウェア向きに改良することが特に重要となっている。具体的には、ハードウェア量や電力削減のため、演算量を低減させるのに加えて、ハードウェアの処理時間の主要因となっている最長経路をできるだけ短くする必要もある。また、ハードウェア実装の場合、メモリの制約からソフトウェア実装の様に画像フレーム全体を一度に処理することができないため、ブロック毎に分ける必要があるが、その際、ブロックの境界部分に生じるデータ依存性などへの対処が必要である。本研究では、主にこれらの課題解決に取り組んだ。

(2) SHVC、SCC

HEVC の標準化後、TV 会議、無線ディスプレイやリモートデスクトップなど、特定用途を志向した SHVC や SCC などの標準化が行われ、重要性が増してきたため、対象をそれらに広げて検討を行った。いずれも HEVC を基本とした拡張仕様であり、HEVC の知見や成果を最大限フィードバックさせる形で研究を行った。

(3) 応用研究

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、物体追跡・特徴抽出などをベースとした映像認識応用などが益々重要になってきているとの要望を受け、これらの検討も平行して行った。

4. 研究成果

(1) HEVC のハードウェア向きアルゴリズム

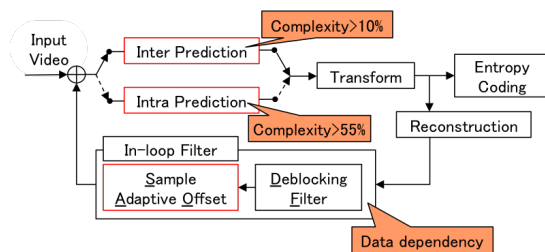


図 1. 主に取り組んだ対象

HEVC のエンコーダ LSI 実現の鍵となるイントラ予測、インター予測、SAO の 3 つの符号化ツールに対し、ハードウェア向きアルゴリズムを実現するために取り組んだ。ハードウェア向きアルゴリズム実現のための方策としては、画像テクスチャの方向及び相対強度を用いたアプローチを提案した。画像テクス

チャ方向では、エッジや動きベクトルなどの映像の空間的・時間的特徴を利用することにより、イントラ予測およびインター予測のモードや深さ決定における演算量を削減可能にするとともに、最長経路削減を行なった。また、相対強度として、方向強度、量子化強度、境界強度などの HEVC 処理の過程で生成される情報を用い、イントラ予測およびインター予測における深さ決定の演算量削減や、インループフィルタに存在するデータ依存性の解決を図った。評価により、イントラ予測では、HM (HEVC Test Model)8.0 と比較して 42.8%の処理時間削減、最長経路は、従来の5段から3段に削減可能なことを確認した。また、インター予測では、HM14.0と比較して 33.7%の処理時間削減が可能なことを確認した。SAO では、背景ノイズの削減やブロック歪みが低減されており、画質向上が得られていることを確認した。

これらの成果に基づき、2件の原著学術論文と、6件の国際会議成果を発信した。

(2) SHVC、SCC の低演算量化

SHVC に関する取り組みとして、オールイントラを対象にした低演算量化を行った。多くの演算量を占めるイントラ処理と階層間のインター処理の削減のため、上位の符号化ユニット(CU)の深さ情報と隣接するブロック間の相関を用いたモード選択手法を提案し、評価により 58%の演算量削減が行えることを確認した。また、SHVC のインター処理の演算量削減の取り組みとして、予測ユニット(PU)の分割情報を用いることにより、モードと深さ選択をスキップできる手法を提案し、38%の演算量削減が行えることを確認した。

一方、SCC に関する取り組みとしては、インター予測処理を対象に、ブロックレベルでスクリーンコンテンツと自然画コンテンツを分類し、参照フレーム処理を削減する手法、さらにブロックを平方と非平方に分け、それをマシンラーニングにより分割処理をスキップする手法を提案した。両者を組み合わせることにより、40%以上の演算量削減が可能なことを確認した。さらに、イントラ符号化を対象に、スクリーンコンテンツに含まれるエッジの鋭さや方向などのコンテンツに基づき、モードや深さ選択処理をスキップ可能な手法を提案し、評価により 10%以上の演算量削減が行えることを確認した。

これらの成果に基づき、4件の国際会議論文を発信した。特に CSPA2016 にて発表した SCC の成果は、Best Paper Award を受賞するなど、注目を浴びた。

(3) 応用研究

応用を志向した研究としては、監視カメラ応用やスポーツの TV 放送応用など、将来の産業化が期待できるものを対象に検討を行った。

監視カメラ応用としては、空間的・時間的

情報および連結性を考慮した KOI (Keypoint of Interest)特徴点抽出アルゴリズムや、それに基づく実時間特徴抽出のハードウェアエンジンの検討を行い、FPGA に実装することにより、フル HDTV 映像を 60fps で処理可能なことを実証した。また、それらのフレームワークを次世代の監視カメラ機能として期待される歩容認識応用に適用し、普通に歩行する単純なものだけでなく、違う服装や歩行速度が変わるような厳しい条件下においても、高い識別精度を達成した。これらの成果に基づき、3件の原著学術論文を発信するとともに、VLSI-DAT2014 では、招待講演を行った。

また、2020年に東京で開催されるオリンピック等を想定し、映像を用いたスポーツ解析技術の検討を行った。バレーボールを対象として、3次元のボール、選手の追跡アルゴリズムを考案し、それぞれ、99%以上の高い追跡精度を達成した。また、映像から得られるフロー情報からバレーボールの主要な4動作である「ブロック」「レシーブ」「スパイク」「トス」を検出可能な技術を考案した。これらの成果に基づき、3件の学術論文と8件の国際会議成果を発信した。

スポーツ解析の取り組みに関しては、2016年度から開始した科研費：挑戦的萌芽に引き継ぐ形で、さらに発展させていく予定である。

(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。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2件の原著論文と6件の査読付き国際会議論文を共著で発信した。

さらに、APSIPA (Asia-Pacific Signal and Information Processing Association) の Distinguished Lecturer として、アジア各国のトップ大学で6件の特別講義を行うなど、情報発信に努めた。

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 8件)

1. Shuyi Huang, Xizhou Zhuang, Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda and Takeshi Ikenaga, "Player Feature Based Multi-Likelihood and Spatial Relationship Based Multi-View Elimination with Least Square Fitting Prediction for Volleyball Players Tracking in 3D

- Space”, IIEEJ Trans. on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 4, No. 2, pp. 145-155, Dec. 2016.
2. Takahiro Suzuki, Takeshi Ikenaga, “Full-HD 60fps FPGA Implementation of Spatio-temporal Keypoint Extraction Based on Gradient Histogram and Parallelization of Keypoint Connectivity”, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E99-A, No. 11, pp. 1937-1946, Nov. 2016. DOI: 10.1587/transfun.E99.A.1937
 3. 菅田雅彰、池永 剛、”センシング技術を用いたスポーツ情報解析”, 情報処理, Vol. 57, No.8, pp. 738-743, Aug.2016.
 4. 久保田栄次郎、鈴木貴大、菅田雅彰、池永 剛、”身体の動作軌跡のクラスタ化に基づく特徴量を用いたバレーボールの動作検出”, 画像電子学会誌, Vol. 45, No. 3, pp. 373-381, July 2016.
 5. Gaoxing Chen, Zhenyu Pei, Zhenyu Liu and Takeshi Ikenaga, "Hardware Oriented Enhanced Category Determination Based on CTU Boundary Deblocking Strength Prediction for SAO in HEVC Encoder" IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E99-A, No.4, pp.788-797, Apr. 2016. DOI: 10.1587/transfun.E99.A.788
 6. Chenming DING, Takeshi IKENAGA, “Feature Detection for Gait Recognition Based on Dual Histogram of Relative Optical Flow”, IIEEJ Trans. on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 3, No. 1, pp. 44 - 53, Jun. 2015.
 7. Takahiro Suzuki and Takeshi Ikenaga, “Spatio-Temporal Feature and MRF Based Keypoint of Interest for Cloud Video Recognition”, IIEEJ Trans. on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 2, No. 2, pp. 150 - 158, Dec. 2014.
 8. Gaoxing Chen, Lei Sun, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, “Fast Mode and Depth Decision for HEVC Intra Prediction Based on Edge Detection and Partition Reconfiguration”, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E97-A, No.11, pp. 2030-2138, Nov. 2014. DOI: 10.1587/transfun.E97.A.2130
- with CPU-GPU Acceleration Using Particle Filter with Multi-command queues and Stepped Parallelism Iteration”, Second International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP 2017), Mar. 2017.
2. Yawei Wang, Gaoxing Chen, Takeshi Ikenaga, ”Content Classification based Reference Frame Reduction and Machine Learning based Non-square Block Partition Skipping for Inter Prediction of Screen Content Coding”, Second International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP 2017), Mar. 2017.
 3. Tingting Hu, Hong Wu, Takeshi Ikenaga, “FPGA Implementation of High Frame Rate and Ultra-Low Delay Tracking with Local-Search Based Block Matching”, International Conference on Machine Vision and Information Technology (CMVIT 2017), Feb. 2017.
 4. Gaoxing Chen, Zhenyu Liu, Tetsunori Kobayashi and Takeshi Ikenaga, “Multi-Feature Based Fast Depth Decision in HEVC Inter Prediction for VLSI Implementation”, 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI 2016), Oct. 2016.
 5. Guojing Zhu, Gaoxing Chen, Pei Liu, Takeshi Ikenaga, “PU Partition Based Mode and Depth Skipping for Inter Prediction of Spatial SHVC”, International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2016), Sep. 2016.
 6. Yuan Wang, Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda, and Takeshi Ikenaga, “Motion Prejudgment Dependent Mixture System Noise in System Model for Tennis Ball 3D Position Tracking by Particle Filter”, Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2016), Aug. 2016.
 7. Zihan Ma, Shuyi Huang, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, “Relative Position Feature based Dense Trajectories with Density Adapted Noise Reduction for Tennis Player Action Recognition”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2016),
- 〔学会発表〕(計 26件)
1. Yilin Hou, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, “Real-time 3D Ball Tracking

- July 2016.
8. Zijie Wang, Qin Liu, Tongwei Ren, Bin Luo, Takeshi Ikenaga, “Visual Saliency based Exposure Fusion Algorithm for Ghost Removal in High-dynamic-range Imaging”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2016), July 2016.
 9. Pei Liu, Guojing Zhu, Gaoxing Chen, Takeshi Ikenaga, “Upper Coding Unit Depth Rate Distortion Cost Comparison Based Fast Intra and Interlayer Inter Prediction Mode Selection for Enhancement Layer in All Intra Spatial SHVC”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2016), July 2016.
 10. Gaoxing Chen, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, “Fast Depth Decision for HEVC Inter Prediction Based on Spatial and Temporal Correlation”, 2016 the first International Workshop on Pattern Recognition (IWPR 2016) , May 2016.
 11. Xina Cheng, Masaaki Honda, Norikazu Ikoma, Takeshi Ikenaga, “ANTI-OCCLUSION OBSERVATION MODEL AND AUTOMATIC RECOVERY FOR MULTI-VIEW BALL TRACKING IN SPORTS ANALYSIS”, 41st IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2016), Mar. 2016.
 12. Shuyi Huang, Xizhou Zhuang, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda and Takeshi Ikenaga, “Particle Filter with Least Square Fitting Prediction and Spatial Relationship based Multi-view Elimination for 3D Volleyball Players Tracking”, 12th IEEE Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA 2016), Mar. 2016.
 13. Yutaro Kawakami, Gaoxing Chen and Takeshi Ikenaga, “Content Based Mode and Depth Skipping with Sharp and Directional Edges for Intra Prediction in Screen Content Coding”, 12th IEEE Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA 2016), Mar. 2016.
 14. Guojing Zhu, Gaoxing Chen and Takeshi Ikenaga, “Fast Enhancement Layer Intra Coding Based on Inter-channel Correlations and TU depth Correlation in SHVC”, 12th IEEE Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA 2016), Mar. 2016.
 15. Benkang Zhang, Qin Liu, Takeshi Ikenaga, “Ghost-Free High Dynamic Range Imaging via Moving Objects Detection and Extension”, APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2015), Dec. 2015.
 16. Gaoxing Chen, Zhenyu Pei, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, “Deblocking Strength Prediction based CTU-level SAO Category Determination in HEVC Encoder”, IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP2015), Dec. 2015.
 17. Xina Cheng, Xizhou Zhuang, Yuan Wang, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, “Particle Filter with Ball Size Adaptive Tracking Window and Ball Feature Likelihood Model for Ball’s 3D Position Tracking in Volleyball Analysis”, Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2015), Sep. 2015.
 18. Xizhou Zhuang, Xina Cheng, Shuyi Huang, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, “Motion Vector and Players’ Features based Particle Filter for Volleyball Players Tracking in 3D space”, Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2015), Sep. 2015.
 19. Qin Liu, Hao Wang, Takeshi Ikenaga, “Edge Detection and Frame Difference Based Exposure Fusion Algorithm for Ghost Removal in Motion-Intense High Dynamic Range Video Generation”, The 1st International Conference on Advanced Imaging (ICAI 2015), Jun. 2015.
 20. Gaoxing Chen, Zhenyu Pei, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, “Hardware Oriented Category Pre-determination Algorithm for SAO in HEVC”, APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2014), Dec. 2014.
 21. Xina Cheng, Yuhi Shiina, Xizhou Zhuang, Takeshi Ikenaga, “Player Tracking using Prediction After Intersection based Particle Filter for Volleyball Match Video”, APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2014), Dec. 2014.
 22. Shuyi Huang, Qin Liu, Hao Wang, Takeshi Ikenaga, “Motion Area based Exposure Fusion Algorithm for Ghost Removal in High Dynamic Range

- Video Generation”, APSIPA Annual Summit and Conference (ASC 2014), Dec. 2014.
23. Longshan Du, Zhenyu Liu, Takeshi Ikenaga, Dongsheng Wang, “LINEAR ADAPTIVE SEARCH RANGE MODEL FOR UNI-PREDICTION AND MOTION ANALYSIS FOR BI-PREDICTION IN HEVC”, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2014), Oct. 2014.
 24. Norikazu Ikoma, Yohei Mikami and Takeshi Ikenaga, “Car Tracking in Rear View based on Bicycle Specific Motions in Vertical Vibration and Angular Variation via Prediction and Likelihood Models with Particle Filter for Rear Confirmation Support”, World Automation Congress (WAC2014), Aug. 2014.
 25. Gaoxing Chen, Zhenyu Pei, Zhenyu Liu and Takeshi Ikenaga, “Low Complexity SAO in HEVC Base on Class Combination, Pre-decision and Merge Separation”, 19th International Conference on Digital Signal Processing (DSP 2014), Aug. 2014.
 26. Takeshi Ikenaga, Takahiro Suzuki, "Smart Feature Detection Device for Cloud based Video Recognition System", International Symposium on VLSI Design, Automation & Test (VLSI-DAT 2014), Apr. 2014. (Invited talk)

劉 振宇(LIU, Zhenyu) 清華大学・准教授
劉 欽(LIU, Qin) 南京大学・講師

〔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：9 0 3 6 7 1 7 8

(2) 研究協力者