

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06444

研究課題名（和文）実時間画像センシング向け超低遅延動画画像符号化圧縮方式に関する研究

研究課題名（英文）Ultra-low-latency video coding method for real-time image sensing application

研究代表者

松村 哲哉（Matsumura, Tetsuya）

日本大学・工学部・教授

研究者番号：50713129

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、新規提案のライン単位の符号化処理をベースに、ライン単位動き予測処理、ダイナミックレンジ適応型量子化、およびコンテキスト適応型準固定長符号化などの様々なアルゴリズムを適用した。その結果、本符号化方式は従来の1/1000のマイクロ秒オーダーの低遅延性能を実現すると同時に、高画質性能や最大20%の高圧縮率などの符号化方式としての機能優位性を有することを検証した。さらに本符号化方式のアーキテクチャ設計と回路実装によりデバイス実装の際の回路規模や電力の優位性を実証した。この成果は、車載機器や医療機器や、VR/AR等の情報機器の実時間高精細画像センシングと低遅延伝送の応用分野に適用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題である超低遅延動画画像符号化方式は、今後の5Gをベースとする情報化社会において、ネットワークを介して人間の反応速度を遥かに超える低遅延動画画像伝送を行うために必須の圧縮伝送技術である。特に車両の自動運転や遠隔医療およびVR/ARによるエンターテインメントなどの様々な応用分野に適用可能であり、今後の先端情報機器に幅広く活用できる。4K/8Kなどの超高精細画像センシング応用に向けてもこの基本技術の概念を適用することが可能であり、将来の高精細画像アプリケーションの発展に寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we applied various algorithms such as line-based motion prediction processing, dynamic range adaptive quantization, and context adaptive semi-fixed length coding based on the newly proposed line-based coding processing. As a result, this coding method realized ultra-low-latency performance of the order of 1/1000 microseconds compared to the conventional method. At the same time, it was verified that it has functional superiority as an encoding method such as high image quality performance and high compression rate of up to 20%. Furthermore, the superiority of the circuit amount and power consumption was verified by the architectural design and circuit implementation of this coding method. This result can be applied to application fields of real-time high-definition image sensing and ultra-low-latency transmission of in-vehicle equipment, medical equipment, and information equipment such as VR/AR.

研究分野：VLSI設計技術

キーワード：低遅延 動画画像 符号化 動き予測 高位合成 FPGA

1. 研究開始当初の背景

これまで、動画像符号化技術は、デジタル放送やマルチメディアコンテンツの頒布、デジタル録画などを用途として発展してきた。これらの用途では、高解像度化や長時間録画を実現するために「高圧縮率」が重視され、MPEG-2 [1]や H.264[2]などの標準規格が広く普及している。しかし、自動運転、自律型ロボット、IoT など、近年の新たなアプリケーションでは、従来とは異なる「超低遅延」の特性を備えた新しい動画像符号化技術が求められている。

例えば、自動制御化する車両やロボットは、カメラにより撮像した画像を基に、自車の位置や姿勢を判定し、周辺の状態を認識して車体を制御していく。仮想現実(AR)機能などを備えた IoT エッジデバイスでは、撮像した画像をホスト(クラウド)に転送して処理した上、再度受信してユーザーに表示する。いずれも、高精度の画像解析を行うために、4K や 8K といった高精細な画像を、カメラ、制御デバイス、表示デバイス、外部ネットワーク間で圧縮転送する必要がある。さらに、ユーザーである人間の反応速度を超える極めて短時間のうちに一連の処理を完了しなければならない。すなわち、これらの実時間画像センシングにおいては、システムを構成するデバイス間において、動画像を低遅延にて圧縮転送することが不可欠である。ところが、従来の動画像符号化方式では、2次元 DCT を基本として矩形領域単位で圧縮を行うため、通常 15 ラインかそれ以上の画素データを蓄積する必要があり、数 ms の遅延が避けられない[3]。そこで、我々は新たにライン単位での圧縮を基本とし、 μs オーダーの超低遅延処理を実現する新たな動画像符号化方式を提案した。

2. 研究の目的

本研究では、ラインを基本単位とする「実時間画像センシング向け超低遅延動画像符号化方式」技術を確立することを目的とする。従来の符号化技術は、デジタル録画などを想定し、高圧縮率を重視している。これに対し、本研究で念頭におく用途である車両やロボットの自動制御、IoT 機器間の画像データ転送では、低遅延転送が最重要課題となる。本研究の符号化技術では、動画像を μs オーダーの超低遅延で転送することを検証とする。この超低遅延動画像符号化方式の特長は、(1)ライン単位および画素単位での画像予測、(2)ダイナミックレンジ適応型量子化、(3)コンテキスト適応型準固定長符号化である。これらの提案アルゴリズムをハードウェアへ実装して超低遅延で動画像転送を実証する。最終的には、提案する超低遅延動画像符号化方式は、車載機器や医療機器または VR 機器のエッジデバイスとして符号化性能面と具現化に向けた実装面での観点で実現性があり有用であることを実証する。本研究の成果は、基盤技術として自動運転、自律型ロボット、IoT による生活の利便化の進展に大きく貢献する。

3. 研究の方法

超低遅延動画像符号化方式の研究は以下の2つのステップで段階的に進める。まず、最初の段階で C 言語によるアルゴリズムシミュレータを設計し、超低遅延動画像符号化アルゴリズムを策定する。種々のテスト動画像を用い高品位かつ超低遅延にて処理できることを画像シミュレーションにて確認する。次に、提案した符号化アルゴリズムを実現する LSI アーキテクチャを検討し、エンコーダおよびデコーダの IP 化設計を行い、設計した IP を FPGA に実装しハードウェア規模やスループットについて評価する。ハードウェアにて実際に高精細動画像の転送を行い、エンコーダへの画像入力からデコーダの画像出力の遅延時間を測定することで、超低遅延での符号化処理を実証する。具体的な手法について以下に述べる。

(1) 提案アルゴリズムのシミュレータ構築と画像シミュレーション

まず、サーバ上で動作する C 言語ベースのアルゴリズムシミュレータを設計し、符号化アルゴリズムを策定する。シミュレータ上で検討する具体的な研究内容は以下の通りである。

ライン単位および画素単位での画像予測方式の開発

本研究では、超低遅延を実現するためにライン単位での圧縮処理が基本となる。ライン単位でのブロックマッチングをベースとする画面内画像予測方式に加え、フレーム(1画面)をラインに置き換えた画面間画像予測方式も取り入れ、新たな画像予測方式を確立する。更に、DPCM をベースとした画素単位での予測、および、申請者が提案する新画面内画像予測を導入し、高圧縮率を実現する。

ダイナミックレンジ適応型量子化およびコンテキスト適応型準固定長符号化方式の開発

本研究では、超低遅延を実現するために2次元 DCT は採用しない。そのため1圧縮単位あたりの画素数が少なく、周波数ドメインでの量子化では十分な圧縮効果が得られない懸念がある。従って、画素値ドメインにて、対象圧縮単位のダイナミックレンジに応じて量子化パラメータを増

減する方式を検討する。予測残差の大小に応じて量子化の粒度を変化させることで、疑似的に高周波成分をより粗く量子化する効果が期待できる。一方、量子化後のデータ群のダイナミックレンジおよび偏差は小さくなり、従来の可変長符号では十分な圧縮効果が得られないことも想定される。その解決策として準固定長符号を導入して、最大符号長を抑えた上でコンテキスト予測の精度向上を図る。

細粒度レート制御方式の開発

超低遅延を実現するためには、符号化データのデータレートを一定とし、送信側および受信側の符号化データを格納するバッファを極力小さくしなければならない。ただし、余りに細かい時間単位でデータレートを一定とすると、極端に画質が劣化する部分が生じるため、ある程度の時間幅にてデータレートが一定となるよう制御する必要がある。従来の動画像符号化方式におけるレート制御方式では数千画素程度でデータレートを一定とすることが可能であるが、本研究では数十画素程度のデータレート制御を実現する。

これまでの研究で蓄積してきた種々のテスト動画像を用いて、高品位かつ超低遅延にて処理できることをシミュレーションにより確認する。

(2) 符号化アルゴリズムのハードウェア実装による評価

提案する符号化アルゴリズムは低遅延処理を低コストで行うことを目的としているため、実際にハードウェア化し低遅延性能と実装規模を確認する必要がある。

策定した符号化アルゴリズムを実現するアーキテクチャを検討し、IP 化設計を行う。送信側に配置するエンコーダ、および、受信側に配置するデコーダの双方を設計する。高位合成によりハードウェア化することを前提とし、System C にて記述する。高位合成の設計技術は確立済みであり、CAD ソフトウェアの使用実績もある。

設計した IP を FPGA 実装し実装規模を確認する。実時間での符号化処理が可能であることから、多数の高精細テスト動画像を入力し、どの画像に対しても十分な圧縮率が得られることを集中的に検証する。不十分な点があれば、アルゴリズムにフィードバックし再検討を行う。また、エンコーダとデコーダを統合したシステムを構築し、実際に高精細動画像の転送を行い、エンコーダへの画像入力からデコーダの画像出力の遅延時間を測定することで、超低遅延での符号化処理を実証する。

4. 研究成果

(1) 提案した超低遅延動画像符号化方式における符号化器および復号化のブロックの構成を図 1 に示す。この符号化器はライン単位処理を採用することによって Full-HD 動画像 (1920 画素 x1080 画素) に対して最小で 0.44 μ s の低遅延を達成している。複数のライン単位の画像予測手法、画像適応量子化、そして最適化エントロピー符号化を用いて画像シミュレーションによる評価を実施した。基本提案方式は 39.0% の圧縮率を実現し、45.5dB の画質を達成する。1D-DCT を適用したオプションモード採用時においては、追加の算術計算量が増えるが、同等レベルの画質を維持しつつ、29.5% への圧縮率を達成した。RD (Rate Distortion) 曲線は提案された基本アルゴリズムとオプションの 1D-DCT モードが大きな視覚的劣化なしにそれぞれ 33% と 20% への圧縮を達成することを示す [4]。提案された動画像符号化方式を用いて、自動運転車両と VR デバイスを実装することで大きな遅延もしくは視覚的劣化無しに入力動画像の帯域幅の 20% で Full-HD 動画像を転送できることを検証した。

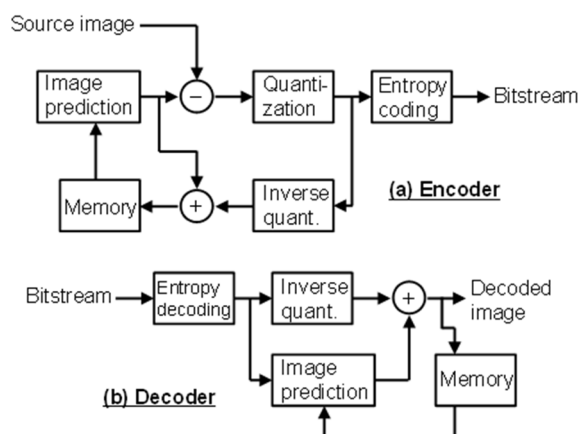


図 1 符号化器および復号器の構成

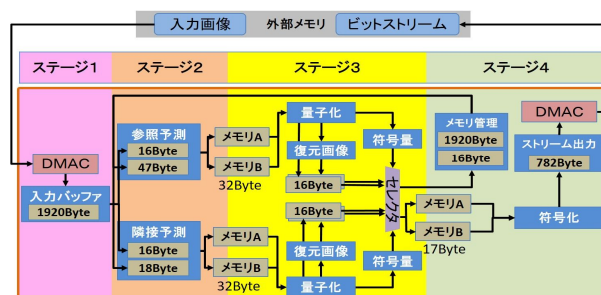


図 2 符号化器全体のハードウェア構成

表 1 目標値と実装結果の比較

項目	目標値	実装結果
遅延量	1.0 μ s 未満	0.84 μ s
処理性能	Full-HD 30-fps	Full-HD 30-fps
メモリ容量	30KByte 未満	5KByte
ロジック規模	300KGate 未満	268KGate

(2) 本研究では超低遅延動画像符号化方式に対応した符号化器のアーキテクチャ設計に基づいた符号化器全体のハードウェア構成を図 2 に示す。設計手法として高位合成を適用して回路実装を行い、遅延量やロジック規模について評価を行った。提案符号化器は

9つのモジュールを4段のパイプライン構造で処理させることで、1 μ s 以下である 0.84 μ s という低遅延での処理を実現可能とした。また、ロジック規模削減と動画像符号化器の性能とのトレードオフを考慮し、アルゴリズムに対して最適化を施した。参照予測の範囲をアルゴリズム策定時の値より大幅に制限し-4画素~+3画素とすることに加え、隣接画素予測の予測手法を4種類から、水平と斜めの2種類とすることで、従来手法と比較して、動画像符号化器としての性能を保ちつつ、全体のハードウェア規模を約20%削減した[5]。その結果、提案符号化器の目標仕様である遅延量とハードウェア規模を満足する実装結果が得られた(表1)。

(3) 先行研究として、複数の課題に対してもシミュレーションを実施し、以下に記す一定の知見を得ることができた。

可変ブロックサイズ手法とは画素変化に応じて処理単位を変更することで画像の画質の劣化を抑えつつ圧縮率が改善可能な手法である。基本処理単位であるCB(Compression Block)のサイズを16画素から、32画素、64画素、128画素、と処理単位を大きくし、ビットストリームのオーバーヘッド部の情報量を減らすことで圧縮率が改善可能である。先行調査において、この手法を適用した画像シミュレーションでは、画質劣化を低い水準で抑えつつ、圧縮率を5%~7.5%改善することができた[6]。今後の超低遅延動画像符号化方式に適用可能と考える。

本研究の基本アルゴリズムにおける動き予測方式は画面内予測をベースとしているが、画面間予測モードを付加した場合の画質性能と圧縮率をシミュレーションにより調査した。また、この低遅延動画像符号化方式は主に車載機器や医療機器のエッジデバイスとして適用されるため、画面間予測においてはフレームメモリの量を削減する必要があり、フレームメモリの容量と圧縮率及び画質との関係を調査した。その結果、Full-HD画像において画面間予測モードを限定したうえでフレームメモリを1/8まで間引き削減しても、画像の劣化を抑えつつ、圧縮率を維持できることが判明した[7]。今後は、間引きによるフレームメモリ削減に加えて、新たな手法によるフレームメモリ削減手法を模索する。

この研究を通して、超低遅延動画像符号化方式は、車載機器や医療機器またはVR/AR等の機器を代表とする将来の機器においてエッジデバイスとして低遅延性能および画質および圧縮率などの性能面での観点に加えて、具現化における実装規模の観点からも実現性が高く有用であることが実証された。今後は4K/8Kなどの高精細画像に対して、この研究で得られた概念をベースに、低遅延を維持しつつ高圧縮で高画質な動画像符号化方式の研究に取り組む。

<引用文献>

[1] ISO/IEC 13818-2:2013 Information technology “Generic coding of moving pictures and associated audio information” Part 2: Video, October 2013, <https://www.iso.org/standard/61152.html>.

[2] ITU-T Rec. H.264 (02/2016) Advanced video coding for generic audiovisual services, February 2016, <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264>.

[3] S. Mochizuki, K. Matsubara, K. Matsumoto, C. Nguyen, T. Shibayama, K. Iwata, K. Mizumoto, T. Irita, H. Hara and T. Hattori, “A 197mW 70ms-latency Full-HD 12-channel video-processing SoC for car information systems,” IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) Dig. Tech. Papers, pp.78-79, Feb. 2016.

[4] S. Mochizuki, et al, “Ultra-low-latency video coding method for autonomous vehicles and virtual reality devices,” Proceedings of IEEE IOTAIS 2018, pp.155-161,

[5] F. Kosuke, et al, “Design and Implementation of Ultra-low-Latency Video Encoder Using High-Level Synthesis” Proceedings of IEEE ISPACS 2019, pp.155-161, Dec. 2019 Nov. 2018.

[6] 片野優希, 深谷洸輔, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化方式におけるブロックサイズ決定手法の検討”, 令和2年東北地区若手研究者発表会, pp.66-pp.67, 2020年2月。

[7] 池野将誉, 深谷洸輔, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化方式における画面間予測手法の検討”, 令和2年東北地区若手研究者発表会, pp.71-pp.72, 2020年2月。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 K. Fukaya, K. Mori, K. Imamura, Y. Matsuda, T. Matsumura, and S. Mochizuki
2. 発表標題 Design and implementation of ultra-low-latency video encoder using high-level synthesis
3. 学会等名 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片野優希, 深谷洸輔, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式におけるブロックサイズ決定手法の検討
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷洸輔, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化プロセッサのアーキテクチャ設計およびハードウェア実装
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池野将誉, 深谷洸輔, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式における画面間予測手法の検討
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷洸輔, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式のハードウェア実装
3. 学会等名 第62回日本大学工学部学術研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiji Mochizuki, Kousuke Imamura, Kaito Mori, Yoshio Matsuda, Tetsuya Matsumura
2. 発表標題 Ultra-low-latency Video Coding Method for Autonomous Vehicles and Virtual Reality Devices
3. 学会等名 IEEE 2018 International Conference on IoT and Intelligence System (IoTaIS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森海斗, 望月誠二, 今村幸祐, 過足 幸司, 松田吉雄, 松村哲哉
2. 発表標題 自動運転に向けた超低遅延動画画像符号化方式の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会IE研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森海斗, 望月誠二, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式のアーキテクチャ設計およびハードウェア実装
3. 学会等名 第61回日本大学工学部学術研究報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森海斗, 望月誠二, 今村幸祐, 松田吉雄, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延ネットワーク伝送向け動画画像符号化方式の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会CS研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤舜祐, 森海斗, 望月誠二, 今村幸祐, 松田吉雄, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森海斗, 金澤舜祐, 望月誠二, 松村哲哉
2. 発表標題 超低遅延動画画像符号化方式におけるエントロピー符号化手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	今村 幸祐 (Imamura Kousuke) (00324096)	金沢大学・電子情報通信学系・准教授 (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	松田 吉雄 (Matsuda Yoshio)		
研究協力者	望月 誠二 (Mochizuki Seiji)	ルネサスエレクトロニクス(株)	