

HDTV 対応双方向通信用 H.264/AVC リアルタイムソフトウェアコーデック

佐野 卓^{†1} 大西 隆之^{†1} 岩崎 裕江^{†1}
上倉 一人^{†1} 長沼 次郎^{†2}

本稿では HDTV 対応双方向通信用 H.264/AVC リアルタイムソフトウェアコーデックの構成とその性能について述べる。本コーデックは複数の符号化コアで構成され、並列処理を行う事でフル HD 品質 (1920×1080 画素, 29.97 フレーム/秒) の映像を高画質かつ低遅延に符号化を行うことが可能である。また、エラー訂正機能及びエラー隠ぺい機能により、高品質な映像コミュニケーションが実現可能である。

A Software-based H.264/AVC HDTV Real-time Interactive CODEC Architecture Using Parallel Processing

TAKASHI SANO,^{†1} TAKAYUKI ONISHI,^{†1} HIROE IWASAKI,^{†1}
KAZUTO KAMIKURA^{†1} and JIRO NAGANUMA^{†2}

This paper describes a software-based H.264/AVC HDTV real-time interactive CODEC architecture using parallel processing. It provides Full-HD quality (1920 x 1080 pixels, 29.97 frames per second) using parallel encoding, natural interactive conversation with low delay of less than 165 ms, and smooth visual communication free from macro block noises. This software with a home television and a home digital video camera achieves HDTV-quality bidirectional video communication via commercially IP broadband network.

^{†1} 日本電信電話株式会社, NTT サイバースペース研究所

Nippon Telegraph and Telephone Corporation, NTT Cyber Space Laboratories

^{†2} NTT エレクトロニクス株式会社

NTT Electronics

1. はじめに

近年, IPTV や IP ネットワークを用いた地上波デジタル放送の再送信や, ハードディスクレコーダ等で H.264/AVC¹⁾ で符号化された HD サイズの映像コンテンツが広く用いられてきている。また, IP ネットワークの広帯域化により, 今後は映像配信やテレビ会議システム等の IP ネットワークを用いた映像伝送アプリケーションが増えてくると考えられる。H.264/AVC の符号化処理においては膨大な計算量を必要とするため, 現在は LSI 等の専用ハードウェアを用いてリアルタイム符号化処理を行うものが主流となっている²⁾⁻⁴⁾。ソフトウェアを用いた H.264/AVC リアルタイム符号化処理装置としては HD サイズ (1280×720, 30 フレーム/秒) のものは発表されている⁵⁾ が, フル HD サイズ (1920×1080, 30 フレーム/秒) のものはまだほとんどない。そこで我々はフル HD の映像を低遅延かつリアルタイムに H.264/AVC に符号化し, 双方向通信を行う HDTV 対応双方向通信用 H.264/AVC リアルタイムソフトウェアコーデックを開発した。

本稿では, まず第 2 節で本コーデックシステムに要求される要求条件についてまとめ, 第 3 節で本コーデックシステムの構成について述べる。次に第 4 節で本コーデックシステムの処理量, 遅延量, 画質, エラー耐性についての評価を行う。最後に第 5 節で本コーデックシステムの適用例について述べ, 第 6 節でまとめとする。

2. 要求条件

本コーデックシステムを実現するには以下に示す性能・機能が求められる。

(1) 並列処理

近年, 複数の CPU コアを搭載した汎用 CPU が広く普及してきている。H.264/AVC の膨大な演算量を処理するためにはマルチコア CPU の性能を最大限に活かすための並列処理手法が必要となる。

(2) エラー耐性

ブロックノイズの無い高品質な映像伝送を実現するためには, ネットワークエラーに対する対処が必要となる。特に FEC (Forward Error Correction)⁶⁾ やエラー隠蔽処理は, パケットロスに対する対処として有効である。

(3) 低遅延

文献 7) では, テレビ電話およびテレビ会議システムにおいて違和感の無い円滑な会話を実現するためには片道 200msec 以下の遅延量を実現することが必要であると述べている。本

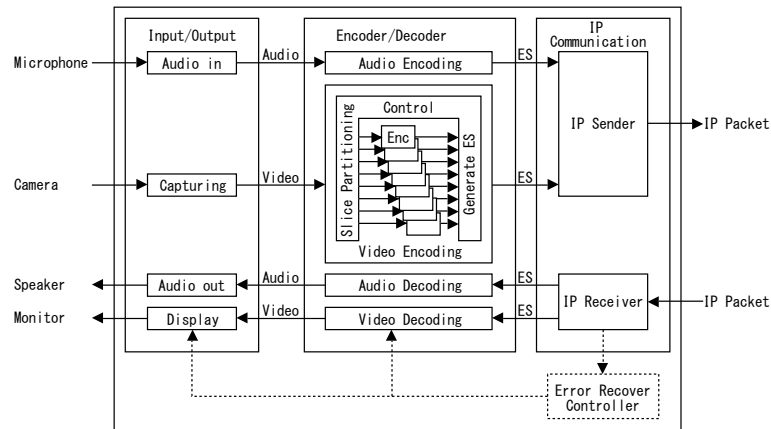


図 1 全体構成図

Fig.1 Block diagram of the CODEC system

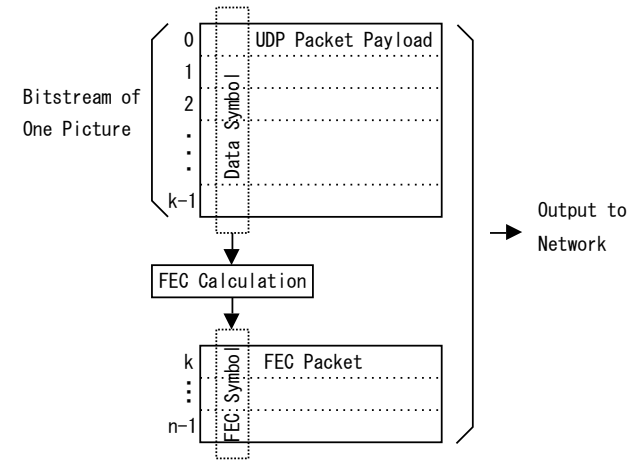


図 2 FEC のデータ構造

Fig.2 Data structure of FEC

コーデックシステムにおいても片方向 200msec 以下の遅延量を実現する。

以上のようにソフトウェアでの双方向映像通信には並列処理，エラー耐性，低遅延が重要となる。

3. HDTV 対応双方向通信用 H.264/AVC リアルタイムソフトウェアコーデックの構成

本コーデックシステムの全体構成図を図 1 に示す。本コーデックの符号化部は，複数の符号化コア，スライス分割部，ストリーム結合部，全体制御部で構成されている。入力された映像はスライス分割部で水平帯状に分割され，各符号化コアで H.264/AVC へ符号化される。参照画像は共有メモリに保存され符号化に用いられる。各符号化コアで符号化されたビットストリームはストリーム結合部で結合され，IP 送信部へ出力される。全体制御部は全ての符号化コアから符号化結果を収集し，次のフレームの符号化に用いる符号化パラメータを生成し各符号化コアへ送信する。

FEC の方式にはリード・ソロモンを採用している。FEC のデータ構造を図 2 に示す。UDP パケットペイロードにパケット化された 1 ピクチャ分のビットストリームに対し FEC 演算を施し，FEC パケットを生成する。ネットワーク上で UDP パケットロスが発生した場合，IP 受信部で FEC パケットを用いてエラー訂正を行う。パラメータ (n,k) は可変であり， k

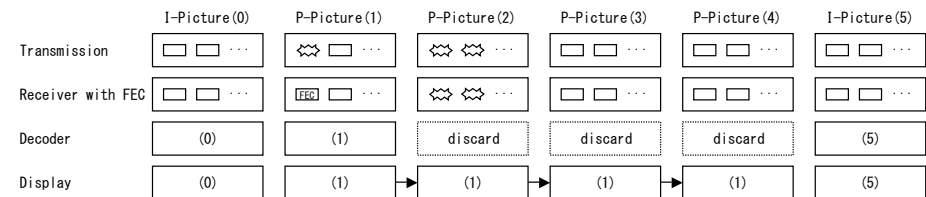


図 3 エラー隠蔽処理

Fig.3 Error concealment

を各ピクチャの生成パケット数としピクチャ毎に FEC 演算を行うことで，遅延量の増加がなく FEC 演算が可能である。

パケットロスが発生した場合のエラー隠蔽処理の模式図を図 3 に示す。ネットワークエラーによって復号できないピクチャが発生した場合，復号処理を一時停止し次の I ピクチャが復号されるまで直前の正常なピクチャを出力する。本コーデックではこのようなエラー処理の時間を短くするために， $M=1$ ， $N=5$ という短い GOP 構造を採用している。これによりマクロブロックノイズのない映像が出力可能である。

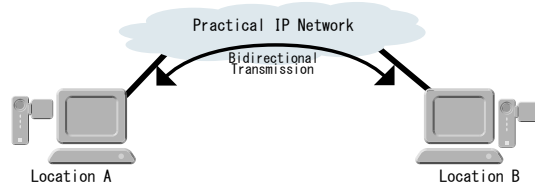


図 4 評価環境
Fig. 4 Evaluation system

4. 実装と評価

本コーデックは C 言語と MMX/SSE 等のアセンブラ言語を用いて実装されている。本コーデックの記述ライン数を表 1 に示す。アセンブラ言語は動き予測処理，画面内予測，DCT/IDCT，デブロッキングフィルタ等の記述に用いられている。

今回用いた評価環境を図 4 に示す。また，本評価システムの構成を表 2 に，符号化処理に用いたパラメータを表 3 に示す。

本コーデックの並列処理における処理性能を図 5 に示す。評価に使用した CPU はハイパースレッド機能を搭載したクワッドコア CPU であるため，符号化コアが増えるにつれて処理可能なフレームレートが増大していく。本コーデックは 4 コア以上の CPU であればリアルタイム処理可能である。符号化コアを 8 個で動作させた場合の CPU 処理の内訳を図 6

表 1 記述ライン数
Table 1 Total number of source lines

	C 言語 [Klines]	アセンブラ言語 [Klines]
Encoder	79.5	54.5
Decoder	36.1	17.4

表 2 システム構成
Table 2 System configuration

CPU	Intel Core i7-940 (2.93GHz)
Memory	DDR3-SDRAM 6GB
OS	Windows Vista Ultimate SP1
Camera	Panasonic HDR-HC9
Capture Device	Blackmagic Intensity Pro

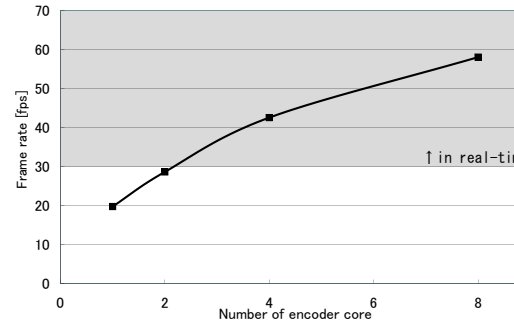


図 5 並列処理における処理性能
Fig. 5 Processing speed with parallel encoding

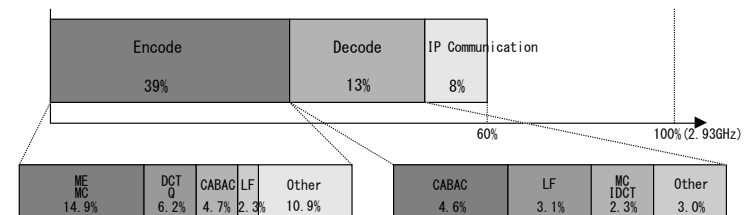


図 6 CPU 処理の内訳 (符号化コア 8 個の場合)
Fig. 6 CPU performance with 8 encoding cores

に示す。本コーデックは CPU の約 60% の使用率でリアルタイム動作可能である。

次に本コーデックの遅延量について測定した。遅延量はタイムコード入りの映像を用いて映像キャプチャから，符号化，ネットワーク送受信，復号処理を経てディスプレイ表示までの時間差を測定した。本コーデックでは片方向 165msec の遅延量で動作可能である。

表 3 符号化パラメータ
Table 3 Encoding parameters

Image Format	1920×1080 / 29.97fps
Profile / Level	H.264 High profile / Level 4.0
Bit rate	10Mbps
GOP Structure	M=1, N=5 (I:Field, P:Frame)
Symbol Mode	CABAC
Audio Format	MPEG-1 Layer 2

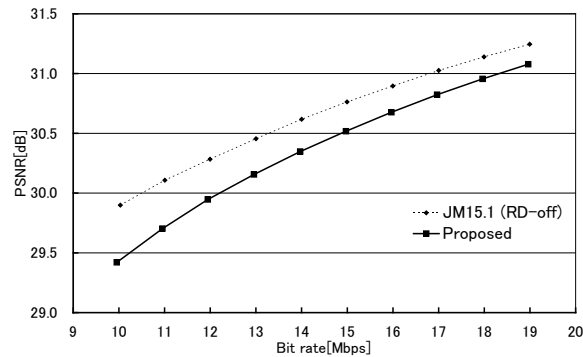


図 7 PSNR による符号化効率測定結果 (Woman in flowers)
Fig. 7 Coding efficiency of "Woman in Flowers"

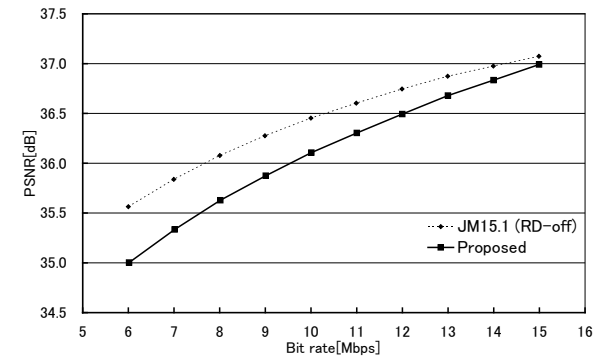


図 8 PSNR による符号化効率測定結果 (Video phone)
Fig. 8 Coding efficiency of "Video phone"

本コーデックの PSNR による画質評価結果を図 7, 8 に示す. コンテンツは ITE 標準動画画像の「Woman in flowers」と民生カメラで撮影した「Video phone」の2つを用いた. どちらも固定カメラで撮影された映像である. 比較対象として JM バージョン 15.1⁸⁾ で同一の符号化パラメータを用いて符号化した結果を併記した. JM は符号化処理に実時間の約 150 倍もの時間がかかっているのに対し, 本コーデックは JM と比較して約 0.3dB の画質劣化でリアルタイム処理を実現している.

次に SSIM による画質評価結果を図 9, 10 に示す. SSIM とは主観評価指標を考慮した画質評価方法である. 本コーデックは Video phone では JM よりも高い SSIM を示しており, Woman in flowers においても 15Mbps 以上のビットレートで JM よりも主観画質が向上している事が分かる. これにより, 高画質なテレビ電話/テレビ会議システムが実現可能である.

FEC によるエラー訂正処理の評価結果を表 4 に示す. 評価は B フレックスベーシックの商用回線を用いて約 60 分間行った. 各ピクチャに付与する FEC パケット数は, I ピクチャに対して 7 パケット, P ピクチャに対して 4 パケットとした. これらは FEC の処理負荷とエラーに対するカバー率とのトレードオフを事前実験にて評価したうえで設定した. 本コーデックに搭載された FEC は遅延を増やす事無くパケットロスが発生したピクチャのうちの約 90%以上のピクチャを回復可能である. これにより, 一般的な IP 網上での高品質な双方向通信が可能である.

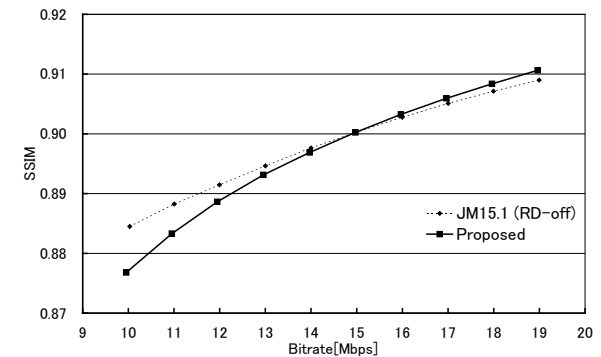


図 9 SSIM による画質評価結果 (Woman in flowers)
Fig. 9 SSIM of "Woman in Flowers"

5. 適用シーン

本コーデックは高品質なテレビ電話, テレビ会議, 遠隔講義等に適用可能である. また, 遠隔医療, 遠隔診断, 遠隔問診等の高画質が求められる分野においても適用可能であると考えられる. 本コーデックシステムは一昨年の InterBEE2008 に出展し, 幕張会場と事業所

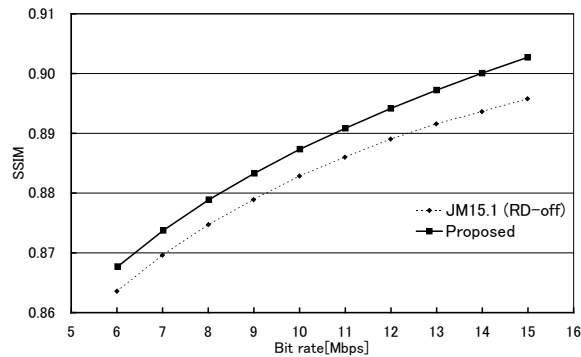


図 10 SSIM による画質評価結果 (Video phone)
Fig. 10 SSIM of "Video phone"

とを IP ネットワークを介して双方向通信を行うことで、高品質な映像コミュニケーションシステムの実演を行った (図 11)。

6. おわりに

本稿では HDTV 対応双方向通信用 H.264/AVC リアルタイムソフトウェアコーデックの構成と評価結果について述べた。本コーデックではフル HD サイズの高画質な映像と 165msec の遅延量による円滑な会話、マクロブロックノイズの無い高品質なエラー耐性処理により、臨場感のある高品質なテレビ電話、テレビ会議システムを実現する事が可能である。今後は更なる高画質・低レート化と、大画面、多地点対応等の多機能化を進めていく予定である。

参考文献

- 1) ISO/IEC, Information Technology - Coding of Audio Visual Objects - Part10 : Advanced Video Coding 2003.

表 4 FEC によるエラー訂正処理の評価
Table 4 Error correction by FEC

	Lost frames	Recovery frames	Recovered rate[%]	Average frame rate[fps]
A to B	185	171	92.4	29.95
B to A	86	79	91.9	29.96



図 11 デモンストレーションの様子 (InterBEE2008)
Fig. 11 A photo of demonstration (InterBEE2008)

- 2) K. Iwata, S. Mochizuki, T. Shibayama, F. Izuhara, H. Ueda, K. Hosogi, H. Nakata, M. Ehama, T. Kengaku, T. Nakazawa, and H. Watanabe, "A 256mW Full-HD H.264 High-Profile CODEC Featuring Dual Macroblock-Pipeline Architecture in 65nm CMOS", Symposium on VLSI Circuits, 2008, pp. 102-103.
- 3) M. Ikeda, H. Iwasaki, K. Nitta, T. Onishi, T. Sano, A. Sagata, Y. Nakajima, M. Inamori, T. Yoshitome, H. Matsuda, R. Tanida, A. Shimizu, and J. Naganuma, "A Professional H.264/AVC CODEC Chip-Set for HDTV Broadcast Infrastructure and High-End Flexible CODEC Systems," A Symposium on High Performance Chips (HOT CHIPS 19), Aug. 2007.
- 4) Koyo Nitta, Mitsuo Ikeda, Hiroe Iwasaki, Takayuki Onishi, Takashi Sano, Atsushi Sagata, Yasuyuki Nakajima, Minoru Inamori, Takeshi Yoshitome, Hiroaki Matsuda, Ryuichi Tanida, Atsushi Shimizu, Ken Nakamura, and Jiro Naganuma, "An H.264/AVC High422 Profile and MPEG-2 422 Profile Encoder LSI for HDTV Broadcasting Infrastructures," 2008 IEEE Symposium on VLSI Circuits, pp.106-107, 2008.
- 5) Tatsuji Moriyoshi and Shigeki Miura, "Real-time H.264 Encoder with Deblocking Filter Parallelization," ICCE 2008, 2008, 2.4-2.
- 6) Takayuki Onishi, Takashi Sano, Hiroe Iwasaki, Jiro Naganuma, "H.264/AVC 双方向 HDTV リアルタイムソフトウェアコーデックにおける低遅延 FEC 性能評価", 信学会全国大会 2009, D-11-9, 2009.
- 7) Satoru Iai, Takaaki Kurita, Nobuhiko Kitawaki, "Quality Requirements for Multimedia Communication Services and Terminals -Interaction of Speech and Video Delays-, in GLOBECOM '93, 1993, vol. 1, pp. 394-398.
- 8) Joint Video Team (JVT), H.264/AVC JM Reference Software.