

災害情報を高圧縮・低遅延で伝送する技術の研究開発

Research and development of technology for transmission of disaster information
with high compression/low delay

研究代表者

木槻純一 三菱電機株式会社
Junichi Kitsuki Mitsubishi Electric Corporation

研究分担者

竹内浩一[†] 山田悦久[†] 本山信明[†] 原田亜矢子[†] 越地正行[†] 松田幸成[†]
坂手寛治[†] 大澤淳真[†] 井對貴之[†] 宮澤一之[†] 関口俊一[†] 日和佐憲道[†]
井須芳美[†] 杉本和夫[†] 伊谷裕介[†] 峯澤彰[†] 服部亮史[†]
鹿喰善明^{††} 境田慎一^{††} 井口和久^{††} 市ヶ谷敦郎^{††} 杉藤泰子^{††}
Koichi TAKEUCHI[†] Yoshihisa YAMADA[†] Nobuaki MOTOYAMA[†] Ayako HARADA[†]
Masayuki KOSHIJI[†] Yukinari MATSUDA[†] Hiroharu SAKATE[†] Atsumasa OSAWA[†]
Takayuki ITSUI[†] Kazuyuki MIYAZAWA[†] Shunichi SEKIGUCHI[†] Norimichi HIWASA[†]
Yoshimi ISU[†] Kazuo SUGIMOTO[†] Yusuke ITANI[†] Akira MIYAZAWA[†] Ryoji HATTORI[†]
Yoshiaki SHISHIKUI^{††} Shinichi SAKAIDA^{††} Kazuhisa IGUCHI^{††}
Atsuro ICHIGAYA^{††} Yasuko SUGITO^{††}
[†]三菱電機株式会社 ^{††}日本放送協会
[†]Mitsubishi Electric Corporation ^{††}Japan Broadcasting Corporation

研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度

概要

大規模災害時において「正確な情報をあまねく迅速に伝える」ことのできる映像伝送技術を開発した。国際標準方式である HEVC 技術を利用したリアルタイムエンコーダ装置に対して、開発した符号化制御アルゴリズムを実装し、H.264 比で 2 倍の圧縮性能を確認した。さらに圧縮性能とハードウェアリソース、圧縮性能と遅延時間それぞれのトレードオフの関係を検証し、低消費電力と低遅延処理に関する技術手法を確立し、映像の符号化・復号処理に要している遅延時間を 60%削減する方式を開発した。

1. まえがき

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災では、大地震の発生時や津波の襲来時において、映像を用いた災害現場からの中継によって、これまでの我々の想定をはるかに超えた大災害が発生していることをリアルタイムに世界中へ発信することができた。しかし同時に、この大震災においては、損壊や停電などにより通信網自体も大きく障害を受けた上に、さらに通常時に対して一桁も二桁も多い情報発信がなされたために、伝送路がひっ迫して長時間にわたる発信規制が行われる、などの問題も発生し、情報を真に必要としている被災者に対して伝達することに課題があった。映像信号の空間解像度（画素数）・時間解像度（フレームレート）の向上に伴い、テキストや音声通話に比べて必要とする伝送量が格段に大きい映像データは、伝えられる情報量は非常に大きいものの、伝送路に対する影響も大きいいため、圧縮率の向上への期待がますます高まっている。

現在主に使用されている映像符号化方式には、1995 年に国際標準が成立した MPEG-2 video | H.262、2005 年に成立した H.264 | MPEG-4 AVC のハイプロファイルなどが挙げられる。H.264/AVC の検討が開始された 2001 年から 10 年近くを経た 2010 年に、日々進化が続くプロセッサの能力と近年の映像符号化技術の研究の蓄積を活かし、新しい映像符号化方式の標準化の検討が開始された。このプロジェクトは「HEVC (High Efficiency Video Coding)」と名付けられ、2013 年 1 月のジュネーブ会合にて国際投票用の最終文書が作成された。ITU-T では H.265 として、ISO/IEC では MPEG-H (ISO/IEC

23008-2) として標準化され、それぞれ 2013 年 6 月、12 月に規格書が出版された。

HEVC は H.264/AVC の約 2 倍の圧縮性能 (MPEG-2 比で約 4 倍の圧縮性能) を目指して標準化の作業が進められ、その圧縮性能の確認には、繰り返し処理を多用した最適化演算を組み込んだソフトウェア (HEVC test model, HM と呼ばれている) を用いた。そのため、リアルタイムに符号化処理を行った場合の圧縮性能については未知であり、この HEVC を用いた運用を検討するためには、早期にハードウェア化を行って性能を検証することが必要であった。これまで標準化された映像符号化方式に関しても、リアルタイム処理を行うハードウェアにおいては、圧縮性能と消費電力 (演算量、回路規模)、圧縮性能と処理遅延の双方にはトレードオフの関係にあることがわかっている。新たな符号化方式である HEVC でも同様のトレードオフがあることが想定されるが、どの程度の関係にあるかについては、詳細な検討とともにやはりハードウェアへの実装を行う必要があった。

映像伝送と映像符号化技術に関するこのような背景を踏まえ、本研究開発では以降に記す課題と目標を掲げて実施した。図 1 に、本研究開発の課題と目標をまとめる。

【課題】

東日本大震災発生時には、通信インフラそのものに対する障害の発生や、大規模かつ長時間にわたる通信混雑 (輻輳) が発生し、災害現場のカメラ映像等をリアルタイムに伝送することが困難になった。

このような環境下においても高精細の映像データの伝

送を可能とするために、より圧縮性能に優れた映像符号化アルゴリズムを開発することを課題とする。

一方、災害発生時にはリアルタイム性も要求されることから、可能な限り符号化遅延を生じさせないように、開発する新しい映像符号化方式に対しては符号化性能と遅延時間のトレードオフを検証し、従来方式よりも遅延時間を短縮する手法を確立することを課題とする。

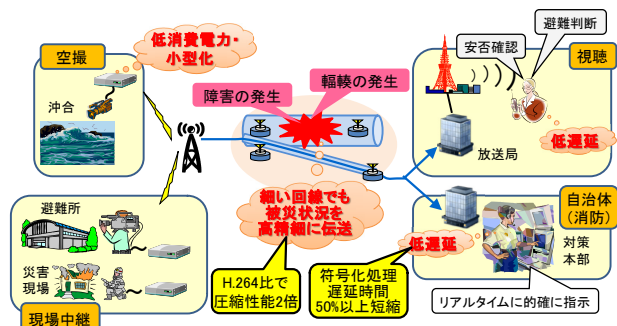


図 1 全体概要図（課題と目標）

【目標】

HEVC を利用したリアルタイム動作が可能な符号化制御アルゴリズムを新たに開発し、ハードウェアエンコーダ装置上に実装して画質評価を行い、その符号化性能を確認する。現在放送局等で使用されている業務用の H.264/AVC エンコーダ装置と比較を行い、2 倍の圧縮性能を達成する [課題ア) - 1 - 1]。

エンコーダ装置が生成する符号化映像の画質を確認するための評価環境として、リアルタイムにエンコーダ装置が生成した圧縮データを IP 受信して復号・表示を行うリアルタイムデコーダソフトウェアを開発する。さらに、圧縮データから符号化パラメータを可視化するツールの機能拡張を行い、符号化制御アルゴリズムが正しく動作して適切な符号化パラメータを選択できているかどうかを確認できる評価環境を構築する [課題ア) - 1 - 2]。

HEVC のエンコーダ装置への実装においては、演算量やメモリ容量などのハードウェアリソースと符号化性能との間にはトレードオフの関係があり、演算量・メモリ容量を多くすれば装置は大型化するが符号化性能は上がり、演算量・メモリ容量を少なくすれば装置の小型化ができるが符号化性能は下がってしまう。このトレードオフの関係について実装により評価・検証し、低消費電力のコーデック実現に関する技術手法を確立する [課題ア) - 1 - 3]。

また、現行のデジタル放送で使用されている MPEG-2 ビデオ符号化における処理遅延と HEVC の処理遅延に関して検証を行い、符号化性能と符号化遅延時間のトレードオフに関して検証し、MPEG-2 と比較して符号化性能を保ちながら映像の符号化・復号に係る処理遅延時間を 50% 以上短縮する手法を確立する [課題ア) - 2]。

2 倍の圧縮性能実現を確認するために、災害映像や評価用映像などを用いて主観評価実験を行う。災害時の映像には、ヘリコプターからの空撮映像や、地震による振動や手ぶれによる振動など、通常時の映像とは異なる信号特性が多く含まれていることから、地震・津波・台風などの災害発生時に実際に撮影された映像を用いて評価を行う [課題ア) - 3]。

2. 研究開発内容及び成果

映像符号化技術として、2013 年春の国際標準化成立を目標に技術検討が進められていた HEVC/H.265 の符号化技術をベースに検討を行った。リアルタイム動作が可能な

符号化制御アルゴリズムを新たに開発し、ハードウェアエンコーダ装置上に実装して画質評価を行い、その符号化性能を確認した。現在放送局等で使用されている業務用の H.264/AVC エンコーダ装置と比較を行い、2 倍の圧縮性能を確認した。フル HD 映像に対応したエンコーダ装置による実時間での H.264/AVC 比 2 倍の圧縮性能の実証は開発時点では世界初であった [課題ア) - 1 - 1]。

エンコーダ装置が生成する符号化映像の画質を確認するための評価環境として、リアルタイムにエンコーダ装置が生成した圧縮データを IP 受信して復号・表示を行うリアルタイムデコーダソフトウェアを開発した。さらに、圧縮データから符号化パラメータを可視化するツールを開発し、符号化制御アルゴリズムが正しく動作して適切な符号化パラメータを選択できていることを目視で確認できる評価環境を構築した [課題ア) - 1 - 2]。

映像符号化の技術では、演算量やメモリ容量などのハードウェアリソースと符号化性能との間にトレードオフの関係がある。放送局内で使われる装置であれば符号化性能を最大限に高められるように演算量・メモリ容量を多く使って装置を大型化することも可能であるが、災害現場からの中継用の装置の場合には、人が直接現場に運んだり空撮を行うためにヘリコプターに搭載したりするために、小型・軽量化や長時間のバッテリー駆動が可能なように低消費電力化が強く求められる。そこで、HEVC 方式に対してこのトレードオフの関係について実装を含めた評価・検証を行い、災害現場からの中継に効果を発揮する低消費電力コーデック実現に関する技術手法を確立した [課題ア) - 1 - 3]。

また、現行のデジタル放送で使用されている MPEG-2 ビデオ符号化における処理遅延と HEVC の処理遅延に対する検証を行った上で、HEVC 方式に対する符号化性能と符号化遅延時間のトレードオフに関する検証を行い、MPEG-2 と比較して符号化性能を保ちながら映像の符号化・復号に係る処理遅延時間を 60% 短縮する手法を確立した [課題ア) - 2]。

2 倍の圧縮性能実現を確認するために、災害映像や評価用映像の選定を行い、これらの映像を用いて主観評価実験を行った。この実験結果から得られた知見をもとに、高画質化に資する符号化パラメータの収集を行った [課題ア) - 3]。

これら研究課題の開発体系を図 2 に示す。

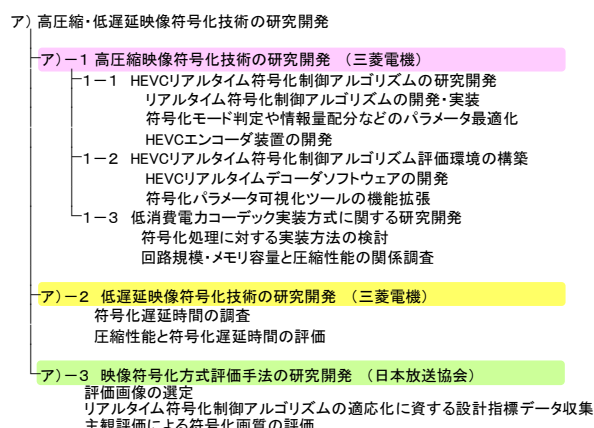


図 2 研究開発体系

本研究開発では、短期間でより多くの成果を得るために、既存の技術や設計資産などを最大限活用することにより実施した。今回の研究開発において、新たに開発した成果

物と流用した既存技術・資産の関係について図3にまとめる。

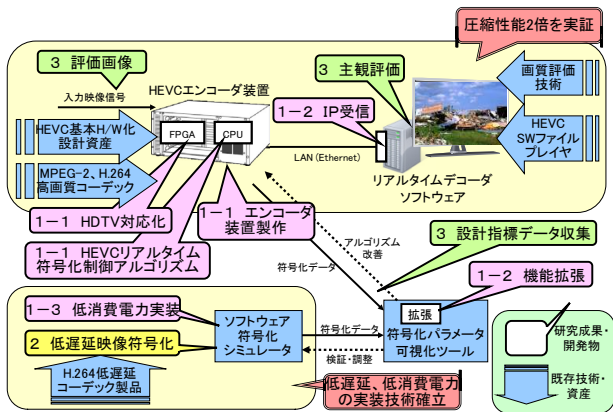


図3 開発した技術・成果物と既存技術

以下、個別の課題について、詳述する。

【課題ア）－1】 高圧縮映像符号化技術の研究開発

本課題では、HEVC リアルタイム符号化制御アルゴリズムの研究開発を実施した。この開発では、HDTVに対応した映像入力処理回路、制御回路、CPU インタフェース回路、高圧縮符号化制御アルゴリズムの開発を実施した。HEVCの符号化基板回路、基板上に実装されているFPGAの内部回路、CPU 基板回路などの H/W 化設計資産を利用して HEVC エンコーダ装置の開発を行い、装置への実装を行った。またこの装置の符号化性能を評価するために、ソフトウェアデコーダに IP 受信機能を実装し、リアルタイムに復号画像を表示可能とした。図4に開発した HEVC エンコーダ装置およびデコーダソフトウェアのシステム概略図を示す。

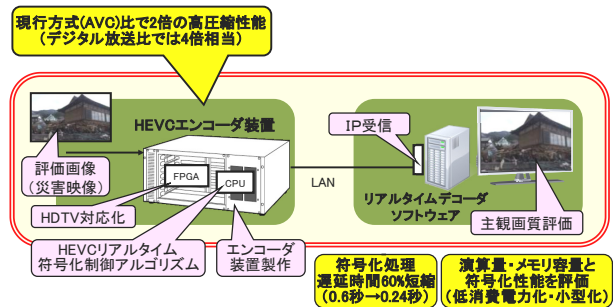


図4 高圧縮符号化技術の開発成果

【課題ア）－1－1】 符号化モード判定や動き検出処理に対し、HDTV 映像に適した符号化制御アルゴリズムを新たに開発してエンコーダ装置に実装することにより、リアルタイムに圧縮性能を評価する環境を構築した。

開発した HEVC エンコーダ装置の全体写真と符号化基板を図5に、またエンコーダ装置の諸元を表1にまとめる。符号化方式としては、2011年10月に標準化機関(JCT-VC: Joint Collaborative Team on Video Coding)にて策定されたテストモデル「HM-4」の仕様をベースに開発を行った。CPU 基板上の LAN からビデオ ES (Elementary Stream) を出力し、エンコーダ装置の外部で圧縮処理の機能・性能の検証を行うことができる構成とした。

リアルタイム符号化制御アルゴリズムの開発・実装として、インタレース画像に対する GOP (Group of Pictures) 構造の検討、CU (Coding Unit) 分割の最適化、動き予

測参照ピクチャ構造の最適化、イントラ予測モード判定処理の演算量削減、などを行った。



図5 符号化装置全体と符号化基板

表1 HEVC 符号化装置の諸元

映像入出力信号	デジタルシリアル信号 (SMPTE425M, SMPTE292M)
入力映像フォーマット	1080p (Progressive, 59.94/60Hz) 1080i (Interlace, 29.97/30Hz)
色差フォーマット	4:2:0
ビット深度	入出力・符号化：10bit
前処理	映像入力、フレーム並び替え、画像特微量抽出、フィルタ処理（水平、垂直、422→420 変換）
映像符号化	HEVC 映像符号化(HM-4 仕様)
CPU 処理	装置動作制御、符号化制御
最大ビデオレート	1080p、1080i：20Mbps
ストリーム出力 I/F	ビデオ ES 出力(LAN)

【課題ア）－1－2】 HEVC リアルタイム符号化制御アルゴリズムの評価環境の構築を行った。ここでは、エンコーダ装置が生成する符号化映像の画質を確認するとともに、高圧縮符号化制御アルゴリズムの性能向上に向けた作業を効率よく行うための評価環境を構築した。

ひとつは IP 受信機能を備えたリアルタイムデコーダソフトウェアを開発し、エンコーダ装置が生成した圧縮データを IP 受信して復号・表示を行うことにより、リアルタイムに符号化画質の確認を行えるようにした。もうひとつは符号化パラメータを可視化するツールを開発し、エンコーダ装置が出力する圧縮データを解析できるようにした。これらふたつのソフトウェアを利用することにより、高圧縮符号化制御アルゴリズムが正しく動作して適切な符号化パラメータが選択できているかどうかを目視で確認できるようになり、作業効率の向上を図ることができた。図6に符号化パラメータ可視化ツールの出力例を示す。

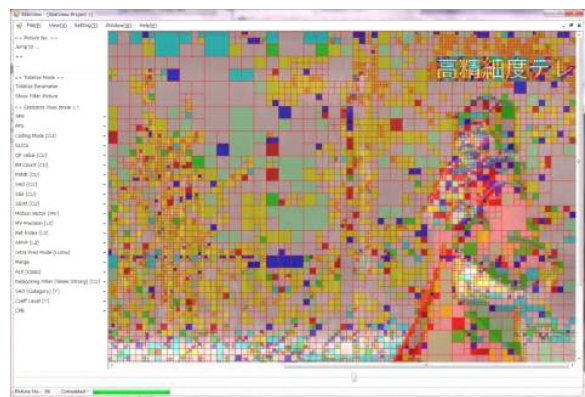




図 6 パラメータ可視化ツールの出力例
(上：イントラ予測符号化、下：動き予測符号化)

【課題ア）－ 1－ 3】低消費電力コーデック実装方式に関する研究開発を行った。従来の映像符号化方式と同様、HEVC においても、演算量やメモリ容量などのハードウェアリソースと符号化性能との間にはトレードオフの関係がある。演算量・メモリ容量を多くすれば装置は大型化するが符号化性能を上げることができ、演算量・メモリ容量を少なくすれば装置の小型化ができるが符号化性能は下がってしまう。

このトレードオフの関係について、エンコーダ回路の半分程度の規模を占める動き探索機能を対象に、実装を用いて回路規模（ゲート数）、必要とするメモリ容量、消費電力、符号化性能に対して評価・検証を行い、低消費電力コーデック実現に関する技術手法を確立した。

【課題ア）－ 2】低遅延映像符号化技術の研究開発

デジタル放送に使用されている MPEG-2 ビデオ符号化方式を検討対象として、符号化遅延時間の調査、圧縮性能と符号化遅延時間の評価を行い、低遅延映像符号化技術の手法を確立した。MPEG-2 ビデオ符号化方式において、前処理、符号化処理、送信バッファ、受信バッファ、復号処理、後処理のそれぞれについて、処理遅延要素の遅延要因の考察と定量的な遅延量の見積もりを行った。

そして、符号化性能とのトレードオフを考慮しながら遅延時間を短縮するために、符号化ピクチャ構造をフレーム構造からフィールド構造に変更することで前処理の遅延を、送信・受信の双方のバッファ制御をピクチャ単位からスライス単位に変更することでバッファの遅延をそれぞれ削減した。その代償として圧縮性能の劣化の可能性が増大するが、映像符号化の予測構造（GOP 構造）を最適化することによって、遅延量を減らしながら画質の向上を図った。図 7 に、処理遅延時間の低減結果の詳細を示す。

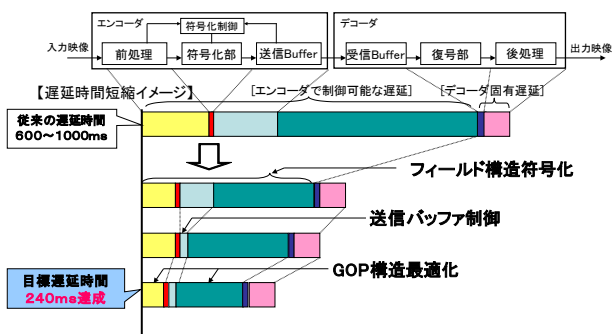


図 7 符号化処理遅延時間の低減技術

放送で用いられている MPEG-2 映像符号化方式での符

号化レートを用いて同等以上の画質を保ちながら、従来手法における映像の符号化・復号にかかる処理遅延時間（約 600～1000 ミリ秒）に対して 60%削減して 240 ミリ秒を実現する低遅延映像符号化アルゴリズムを確立した。

【課題ア－ 3】映像符号化方式評価手法の研究開発

災害発生時のネットワークの品質や撮影される映像データを想定し、HEVC 映像符号化方式に対する圧縮性能評価手法を確立することを目的とした研究開発として、評価画像の選定、評価画像の信号特性評価、画質への影響の大きい符号化パラメータの抽出と符号化制御アルゴリズムの適応化に資する設計指標データの収集、主観評価による符号化画質の評価、を行った。



図 8 評価用映像（一部）

評価用映像としては、映像情報メディア学会標準画像第 2 版から 60i 映像を 3 種類と 60p 映像を 4 種類、NHK の放送番組素材から、震災時の映像や台風上陸時の映像などの災害関連映像より 16 種類を選定した。その一部を図 8 に示す。それぞれのシーンは 10 秒～15 秒で構成されている。これらの映像に対して、符号化処理の難易度を見積もるために信号特性の測定を行い、画素間相関の高いものと低いものが混在しており、コーデックの評価用に適した画像群であることを確認した。

図 9 に示す主観評価システムを構築し、開発した HEVC コーデックと現在放送局等で使用されている業務用の H.264/AVC コーデックとの間で符号化画質の比較を行った。この主観評価実験により、開発した HEVC 映像符号化方式が H.264/AVC の 2 倍の圧縮性能を有していることを確認した。その結果の一例を図 10 に示す。

主観評価を通して確認された HEVC の符号化雑音を抑制することを目的に、パラメータ可視化ツールを用いて圧縮データの解析を行い、画質への影響の大きい符号化パラメータを抽出し、符号化制御アルゴリズムの開発へのフィードバックを行った。

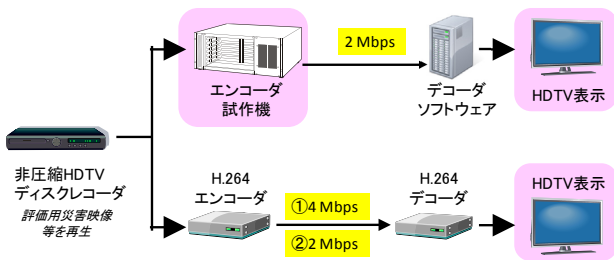


図 9 主観評価実験

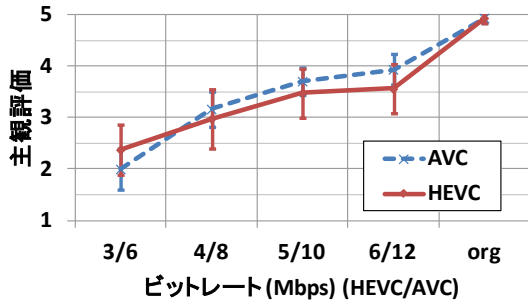


図 10 主観評価の結果の一例

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

災害時における成果の展開先として図 11 に示すような場面が考えられる。使用される場面とともに今後の展開計画を以下に記す。

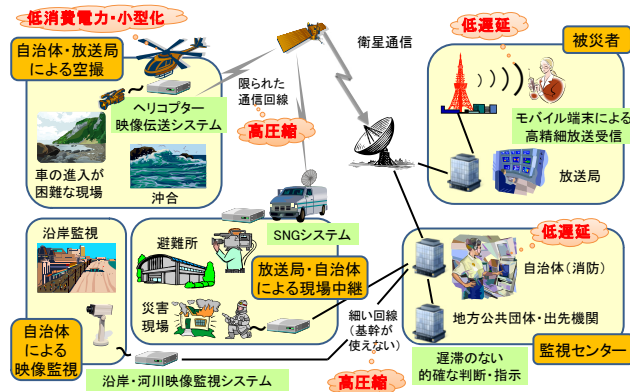


図 11 成果の展開

- SNG 素材映像伝送システム：放送局が災害現場から映像中継を行う際、災害に起因して太い基幹回線に障害が発生しても、通信衛星などの細い通信回線を用いて高精細な映像伝送を行うことが可能となる。リアルタイムの映像伝送とともに、ファイル蓄積された映像データを短時間で放送局に伝送することも可能となる。映像 1 チャンネルの伝送に使用する帯域を大幅に削減できるため、より多くの映像チャンネルの伝送が実現できるようになる。通信衛星を効率よく利用できるようになるため、東北地方の放送局を含めた国内の多くの放送局から早期製品化の要望を受けている。伝送用モデムやアンテナも含めたシステム全体の開発・製品化を進めている。2013 年 11 月に幕張メッセで開催された国際放送機器展 (InterBEE) に、本研究成果を活用して開発した符号化基板を用いてデモ展示を行った。展示会には、HEVC 対応の符号化装置が複数出展されていた

が、CPU 上で動作するソフトウェアベースのものが多く、HDTV 映像をハードウェアを用いてリアルタイムに符号化するデモ展示は唯一のものであった。ヘリコプターからの空撮映像をはじめとする符号化処理難度の高い素材を用いて、H.264/AVC の 3Mbps の符号化映像と比較展示することにより、放送局関係者をはじめとする多くの来場者に対して、特に災害発生時における低レートでの符号化映像伝送の性能をアピールすることができた

- ヘリコプター映像伝送システム：放送局や消防署などの自治体が保有するヘリコプターなどを用いて、災害現場の上空から映像中継を行う。低消費電力化・小型化された映像伝送システムを用いることによって、車では進入が困難な災害現場や沖合から、空撮によるリアルタイム映像伝送を可能とする。圧縮率の向上により、使用する電波帯域を削減できるとともに、送信用アンテナの小型化・低消費電力化が可能となり、搭載重量に厳しいヘリコプターの有力な防災・減災システムとして期待が高い。既存の H.264/AVC を置き換えるシステムを構築して製品展開を図る
- 河川・沿岸・道路などの映像監視システム：自治体の災害対策本部では、高精細な映像を受信することにより災害現場の状況を的確に捉え、現場への指示を迅速に行うことが可能となる。新たに監視カメラを設置するだけでなく、既存の JPEG や H.264/AVC を用いているカメラ・レコーダの置き換えなど、映像監視の需要は増加傾向にある。長時間録画や狭帯域伝送も実現できる HEVC 対応品の製品化検討を進める
- 被災者によるモバイル端末による高品質放送受信システム：被災者は、災害直後の混乱状況においても高精細・高品質な映像により災害現場の状況を確認することができ、避難判断を遅滞なく的確に行ったり、身元確認や安否確認を正確かつ効率よく行うことができるようになる。近い将来にはモバイル端末に HEVC 復号機能が搭載されるようになり、この機能を活用したコンテンツのダウンロード再生サービスから実現される見込みである。動画のリアルタイム伝送・表示を可能とするモバイル端末向け符号化・送信システムの製品化検討を進める

本研究開発の実装では、2011 年秋時点の国際標準草案を使用したため、2013 年春に規格化作業が完了して出版された国際標準方式に対して圧縮性能面での大差はないが圧縮されている符号化パラメータの順番やパラメータの値が意味する内容が異なるため、装置としての互換性がない。そこで製品化に向けた第一段階の開発として、符号化エンジン部分の標準準拠化を進める。またこの開発と並行して、災害映像以外の一般的な映像を用いて性能評価を行い、符号化制御アルゴリズムの高画質化を進め、普段使いを可能とする装置化開発を進める。一方、システムを構成する上で必要となる受信機 (デコーダ装置) についても合わせて検討を進めていく。

放送局向けのコーデックについては、2014 年 4 月に最終規格文書が作成される拡張仕様 (4:2:2 の色差フォーマットへの対応) が必須とされるため、成立する規格を想定して検討を先行して進めるとともに、規格化される符号化パラメータの範囲として適切な値を提案する等、標準化作業を牽引していく。

また、本研究開発で得られた知見を HEVC 方式に対応したスーパーハイビジョン(SHV)エンコーダ装置に活用して研究開発を加速し、2016 年の SHV 試験放送の実現など、新たな放送サービス開始に役立てることを目指す。

4. むすび

HEVC 技術を利用した HDTV 用符号化制御アルゴリズムを開発し、エンコーダ装置に実装して符号化性能をリアルタイムに評価できる環境を構築した。震災時の空撮映像や標準画像などから評価用画像を選定して、放送局等で使用されている H.264 エンコーダ装置と圧縮性能の比較を行い、半分のビットレートであっても符号化画質が同等もしくは H.264 を上回っていること、同じビットレートであれば H.264 よりも高画質であることを、主観評価によって確認した。符号化・復号処理に要する処理遅延について、圧縮性能とのトレードオフを検証し、処理遅延時間を 60%削減する手法を確立した。

【誌上发表リスト】

- [1] 原田、他、“リアルタイム HEVC 符号化アルゴリズムの開発と評価”、2013 年電子情報通信学会総合大会、D-11-49、(2013 年 3 月 21 日)
- [2] 井口、他、“HEVC ハイビジョンエンコーダの画質評価”、2013 年映像情報メディア学会年次大会、17-4、(2013 年 8 月 30 日)
- [3] Miyazawa, et al., "Real-Time Hardware Implementation of HEVC Video Encoder for 1080p HD Video", IEEE Picture Coding Symposium 2013 (2013 年 12 月 11 日)

【申請特許リスト】

- [1] 井對、他、「画像符号化装置、画像復号装置」、日本、2012 年 11 月 7 日
- [2] 日和佐、他、「画像符号化装置、画像復号装置、画像符号化方法」、日本、2013 年 1 月 8 日
- [3] 井須、他、「動画画像符号化装置、動画画像復号装置、動画画像符号化方法」、日本、2013 年 1 月 8 日

【国際標準提案リスト】

- [1] JCT-VC 第 12 回会合、JCTVC-L0379、“HEVC Real-time Hardware Encoder for HDTV signal”, 2013 年 1 月

【報道掲載リスト】

- [1] “何かが道をやってくる”、HiVi、2013 年 7 月号 (ステレオサウンド)