

HD対応マルチコーデック“HX-1000”

新居健一*

High Definition Video Multi Codec "HX-1000"

Kenichi Shimbo

要 旨

近年の防犯防災意識の向上や地上デジタル放送の浸透等の社会情勢の変化によって、映像監視システムに対してフルハイビジョン化の要求が高まっている。

三菱電機は従来映像圧縮技術を用いて、アナログカメラの画像・音声を符号化後にLAN経由で遠隔地に送信し復号表示するコーデックを、主に道路・河川・発電所等で運用する広域監視システムへ展開してきた。コーデック(画像・音声の符号復号装置)のラインアップとしてMPEG(Moving Picture Experts Group)-2符号化方式を採用した“BCシリーズ^(注1)”，H.264符号化方式を採用した“FXシリーズ^(注2)”を提供している。

今回、MPEG-2とH.264の両符号化方式に対応し、従来のアナログカメラシステムと今後主流となるフルハイビジョンデジタルカメラシステムのどちらにも利用可能でありながら低価格を実現した新製品、HD(High Definition)対応マルチコーデック“HX-1000”を開発した。

この装置はHD-SDI(High Definition-Serial Digital Interface)とHDMI(High Definition Multimedia Interface)^(注3)

の2種類のインターフェースを持ち、高価な専用ICを多用せずこれらのインターフェースをFPGA(Field Programmable Gate Array)1チップに統合して構築することによって装置本体ハードウェア低価格化を実現した。

また3種類の符号化(H.264, MPEG-2, M-JPEG(Motion-Joint Photographic Experts Group))^(注4)を同時に行うトリプルエンコード機能を実装しており、さらに、MPEG-2 6 Mbps(SD(Standard Definition)画像)とH.264 8 Mbps(HD画像)で画質を可能な限り同一品質に近づけるため独自の改善を加えた。

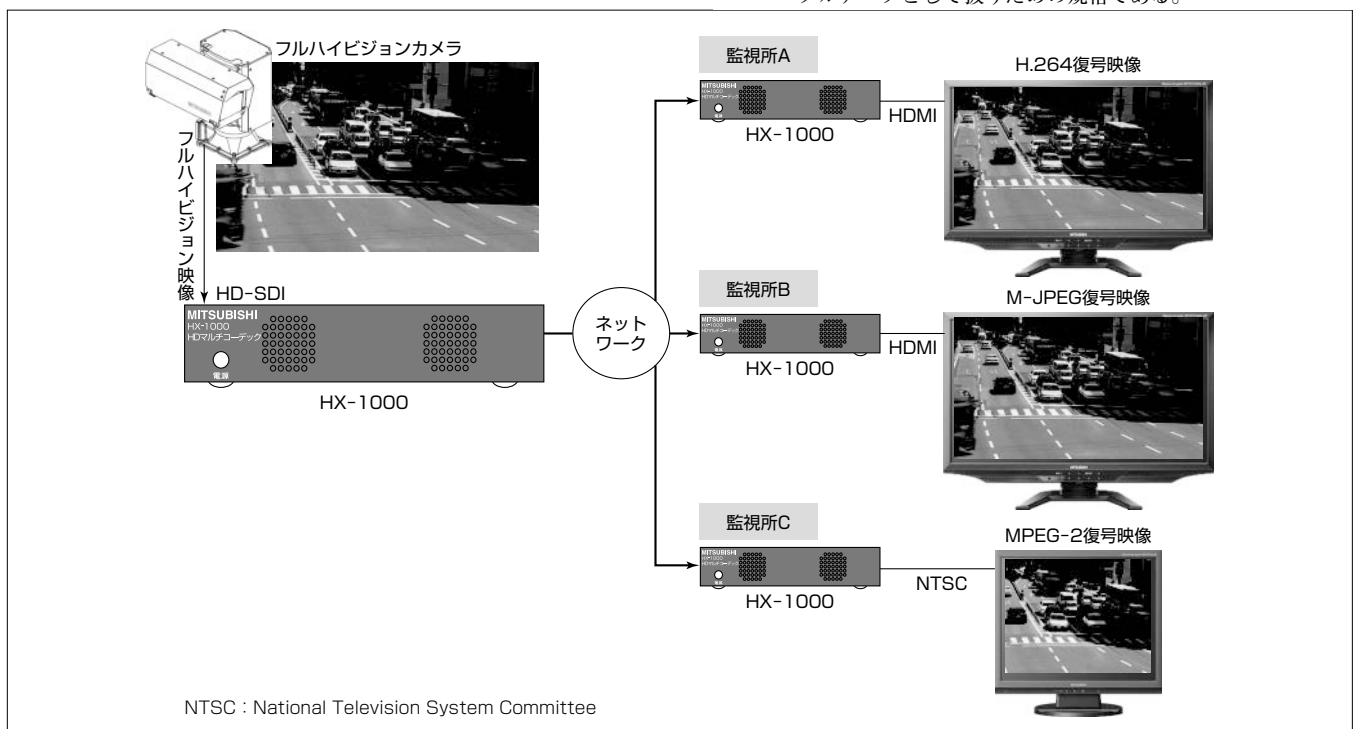
またアナログカメラとフルハイビジョンカメラのどちらも接続することができるため、シームレスにアナログからフルハイビジョンへのシステム更新が可能となり、監視システムの更新費用を抑えるなど、幅広い用途に用いることができる。

(注1) MPEG-2コーデック“BC-5550”“BC-5800”等

(注2) H.264コーデック“FX-7400”など

(注3) HDMIは、HDMI Licensing LLCの登録商標である。

(注4) H.264, MPEG-2, M-JPEGは、画像及び音声符号化しデジタルデータとして扱うための規格である。



“HX-1000”によるトリプルエンコードのシステム構成例

フルハイビジョンカメラから入力した映像は、HX-1000でトリプルエンコード(H.264, MPEG-2, M-JPEGの3種類に符号化)して、同時に配信する。監視所(A~C)では、それぞれに設定された符号化データを受信し、復号した映像をモニタに表示する。

*コミュニケーションネットワーク製作所

1. ま え が き

近年の防犯防災意識の向上や地上デジタル放送の浸透等の社会情勢の変化によって、セキュリティに対する意識が高まり、映像監視システムに対してフルハイビジョン化の要求が増加している。

従来の広域監視システムは、アナログ画像を伝送するためにMPEG-2符号化方式を主流として普及してきた。しかし、フルハイビジョン画像(以下“HD画像”という。)を採用すると、画素数がアナログ画像(以下“SD画像”という。)に対し6倍となり、符号量も比例して増加することは避けられない。その結果MPEG-2符号化方式のままHD画像を加えたシステムを構成するとHD画像によって増加した符号化データが、既存のシステムで許容しているネットワーク帯域を圧迫し支障をきたすおそれが出てきた。この問題を回避するための手段として、圧縮効率が高く符号量の増加を抑えることが可能なH.264符号化方式が注目を集めてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

今回開発したHD対応マルチコーデック“HX-1000”(以下“HX-1000”という。)はBCシリーズのMPEG-2(SD画像向け)符号化方式とFXシリーズのH.264(SD画像向け)符号化方式を引きつぎ、3種類の符号化(H.264, MPEG-2, MJPEG)を同時に行うトリプルエンコード機能を実装し、さらに、アナログカメラ(以下“SDカメラ”という。)とフルハイビジョンデジタルカメラ(以下“HDカメラ”という。)双方に利用可能な高画質・高機能なコーデックである。

本稿では、設計に際し、高画質・高機能と低価格を両立させるため搭載した主たる技術について述べる。

2. フルハイビジョン化

2.1 マルチメディアCPUの選択

フルハイビジョン化開発に当たって同時に留意しなくてはならない課題は“低価格化”である。高額ICの多用や機能ごとに装置本体ハードウェアの種類を増やす等の価格上昇の要因を回避する設計が必要である。

従来のFXシリーズ(代表機種FX-7400)はH.264符号化・復号化をマルチメディアCPU上のファームウェアで実現することによって、装置本体ハードウェアをエンコーダとデコーダで共用し、製造工程最後のファームウェア書き込み作業で別製品となる構成としている。これはハードウェア共用化によるコストダウン効果を目的とした構成である。

HX-1000は、FX-7400と同様に装置本体ハードウェアの共用化によるコストダウンを実現するため、フルハイビジョン化の設計に先立ち、HD画像データを入出力できるインタフェースを持ち、伝送フレームレート30fpsでH.264符号化・復号化が可能な演算能力を持つマルチメディア

CPU(以下“TMS320DM6467T”という。)を選定した。

TMS320DM6467Tは、TI社製で通称DavinciHDと呼ばれているCPUであり、ARM^(注5)とDSP(Digital Signal Processor)とコプロセッサの3層CPU構造を持ち、ARMは500MHz、DSPは1GHzのクロックで稼働するハイコストパフォーマンスのCPUである。

また、外部インタフェースは、画像入出力専用のVPIF(Video Port InterFace)と呼ばれるインタフェースを持ち、SD画像フォーマット規格のBT.656とHD画像フォーマット規格のSMPTE292の両方に対応しており、SD/HD各映像フォーマットの映像入出力が同時に実施できる仕様となっている。

演算能力に関しては、コプロセッサにH.264符号化・復号化に有効なAPI(Application Programming Interface)関数がバンドル提供されているため、最も演算能力(CPU処理能力)を必要とするHD画像の符号化・復号化は、コプロセッサとDSPで行い、ARMは音声コーデックとネットワーク制御を実行させる構成とすれば、処理能力としてはHD画像に対応し十分な性能が確保可能な仕様となっている。

また、DavinciHDはFX-7400に使用しているDSP(Davinci)の上位互換機種である点から、設計資産流用率も50%以上と高いため開発費の抑制に寄与した。

HX-1000のCPUにDavinciHDを採用することによって、FX-7400と同様のハードウェア共用化によるコストダウン効果を得ると同時に、開発費を抑制でき、想定通りの低価格化を実現した。

(注5) ARMは、ARM Ltd.の登録商標である。

2.2 HD-SDI, HDMIインタフェース設計

HDカメラやHDモニタのインタフェースは一般的にHD-SDI又はHDMIである。HX-1000では入出力機器の組合せの自由度確保のためHD-SDIとHDMIの両インタフェースを採用し、各入力・出力端子を装備した。

HD-SDIは同軸ケーブルを使用したデータ転送レート1.5Gbpsのシリアルデジタル画像インタフェースであり、CPU側VPIF用パラレルデータフォーマットSMPTE292に変換する必要がある。このシリアルパラレル変換を行うICは高価でインタフェースの数だけ実装する必要があり、部品価格と実装面積の両面から検討した結果、シリアルパラレル変換部分の回路はFPGAで実現する方式とした。

今回、XILINX社のSPARTAN-6上で稼働するXILINX社IP(Intellectual Property)のGTP(Gigabit Transceiver low-Power)セットによって変換処理を実装した。同様にHDMIもSPARTAN-6上で稼働するTED社IPのHDMI-SMPTE292変換セットを採用し、双方をFPGA 1チップに実装した。これによって、専用の変換ICを使わず、1チップのFPGA(SPARTAN-6)の追加でHD-SDIと

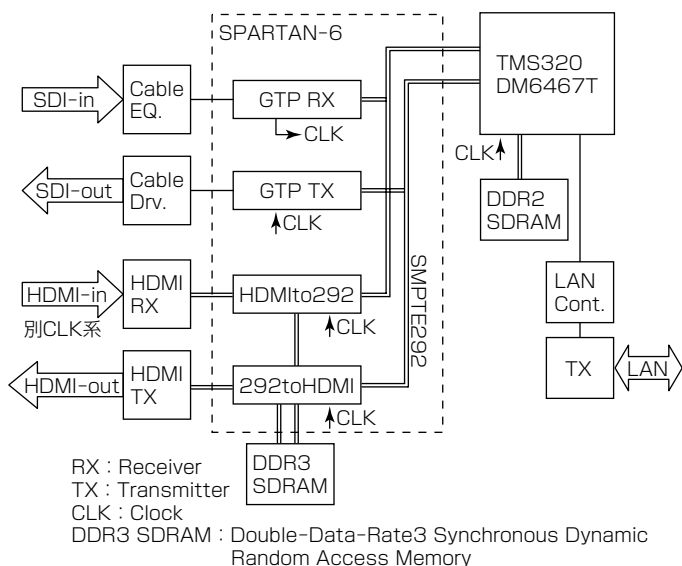


図1. HD-SDI, HDMIインタフェース

HDMIの搭載を実現した。

図1にHD-SDI, HDMIインタフェースを含むFPGA (SPARTAN-6)とTMS320DM6467T (DavinciHD)から構成する回路を示す。回路全体では画像用CLKとしてGTP RXで同期分離されたCLK (入力ない場合は自走CLK出力)を使用し, CLK系統が異なるHDMI入出力だけDDR3SDRAMによるバッファを介してCLK変換する。これによってHDMI以外ではCLKが統一され不要な変換回路を廃したシンプルな回路構成ができる。またCPUにはこれら以外にアナログ入出力用BT.656映像信号(27MHz)も入出力されているがここでは図示を省く。

3. H.264のHD画像対応

3.1 H.264スペック

HX-1000はHD画像H.264ハイプロファイルとSD画像ベースラインプロファイルに準拠した符号化・復号化機能を搭載している。概略スペックを次に示す。

符号化方式: ITU-T H.264 ISO/IEC 14496-10:2003

ベースラインプロファイル/ハイプロファイル@L4.2

画像サイズ: HD: 1920×1080/SD: 720×480

音声符号化: MPEG-1Audio/MPEG-2AAC

(Advanced Audio Coding)

伝送速度: HD: 2~20Mbps, SD: 128Kbps~8Mbps

その他: フレームレート1~6, 8, 10, 15, 30fps対応など

装置はこれらスペックのH.264符号化・復号化をDavinci HD上のファームウェアで実現することによって低価格化を可能にした。実現の際にいくつかの独自機能を搭載しており, 次に述べる。

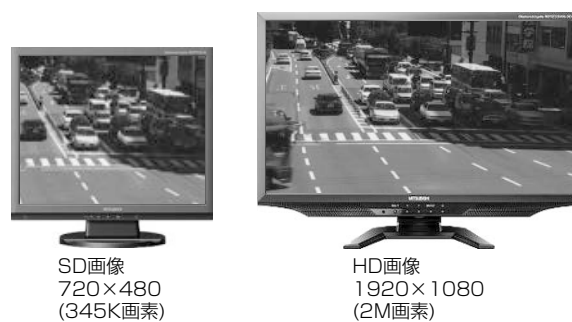


図2. SD画像とHD画像の比較

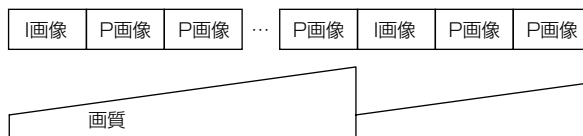


図3. I画像とP画像

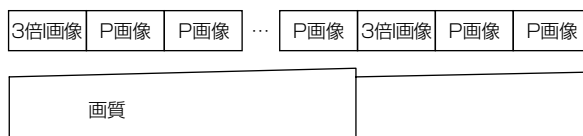


図4. 3倍I画像とP画像

3.2 H.264のHD画像対応

1章で述べたように, 従来のネットワークインフラでHD画像を扱う場合, 圧縮効率を6倍にして符号量を1/6に抑える必要がある。

しかし, H.264の圧縮効率はMPEG-2の約2倍であり⁽²⁾, 符号量を抑えるためにビットレートを下げる方法を取ることになる。その場合, 単純にビットレートを下げると画質の劣化を招くため, 同一品質画質を実現するにはH.264の圧縮効率向上以外の画質改善策が必要になる。

現在の広域監視システムではMPEG-2符号化方式では6Mbpsが, H.264符号化方式では8Mbpsが符号量の標準レートである。したがってHX-1000では“SD画像をMPEG-2で6Mbpsで符号化”した画質と“HD画像をH.264で8Mbpsで符号化(符号量の増加は, 1.3倍まで許容)”した画質を可能な限り同一品質に近づけるため独自の改善を加えている(図2)。その中の“イントラフラッシュ現象の改善”について述べる。

イントラフラッシュとは, I画像とP画像の画質の差が目視できる状況で発生するI画像の瞬間的画質劣化である。

図3には, I画像で渡された画像の品質がP画像を重ねるうちに向上していく様子が示されている。I画像の直前のP画像の画質とI画像の画質では品質に大きな差が現れ, I画像の画質劣化だけが際立って目立つ状況となる。この画質劣化がI画像のたびに現れるためイントラフラッシュと呼ばれている。

HX-1000ではこの問題を回避するため, I画像の圧縮率

表1. 高画質調整手段

No.	方式	I画像データ量	P画像データ量	フレームレート	ビットレート
1	標準画質	標準	標準	30fps	8 Mbps
2	高画質fps厳守	3倍	標準	30fps	9 Mbps
3	高画質均等配信	3倍	0.9倍	30fps	8 Mbps
4	高画質bps厳守	6倍	標準	15fps	8 Mbps

の指定が可能な仕様とした。イントラフラッシュが目立つ細やかな動きの多い画像の際にはI画像の符号化データ量倍率を上げI画像を高品質にする。

図4は、I画像を3倍の品質に向上させた様子を示している。I画像の直前のP画像とI画像では品質に差がなくなり、イントラフラッシュの発生が抑えられる(表1-No.2)。ただしそのままではI画像の符号化データ量が数倍に増加して全体のビットレートが8 Mbpsを超えてしまうため、I画像のデータ量の増加分はP画像のデータ量を抑えた上で全体に均等配信になるように平均化し、8 Mbpsを維持させる。この処置によって、イントラフラッシュが抑えられた映像を得る(表1-No.3)。

なお、増加した符号データをフレームレートを下げて均等化する手段も搭載しており(表1-No.4)、システムによってはI画像をn倍して品質向上した際にフレームレートを落とすことによって全体のビットレートを8 Mbpsに維持する方法も採用できる。システムによって異なる画像品質要求に対し、HX-1000は様々な微調整手段を提供する。

4. MPEG-2のHDカメラ対応

4.1 MPEG-2スペック

HX-1000はBCシリーズと互換性のあるMPEG-2符号復号機能を搭載し、SDカメラ(SD画像)及びHDカメラ(圧縮SD画像)に対応する。概略スペックを次に示す。

符号化方式：MPEG-2(ISO/IEC13818-2)MP@ML
 画像サイズ：SD：720×480(HD画像はSDに縮小して扱う)

伝送速度：1.5~12Mbps

音声符号化：MPEG-1Audio

装置はこれらスペックのMPEG-2復号化をDavinciHD上のファームウェアで、符号化を安価な専用ICで実現することによって低価格化を可能にした。実現の際にいくつかの独自機能を搭載しており、次に述べる。

4.2 MPEG-2のHD画像対応

HX-1000は、従来の広域監視システムとの互換性を維持するために、HDカメラを接続した場合はHDカメラ画像をSD画像に変換してからMPEG-2符号化している。

HD画像からSD画像への変換とは、SMPTE292規格からBT.656規格へのフォーマット変換である。しかしこのフォーマット間には互換性がなく制御データや非映像情報デ

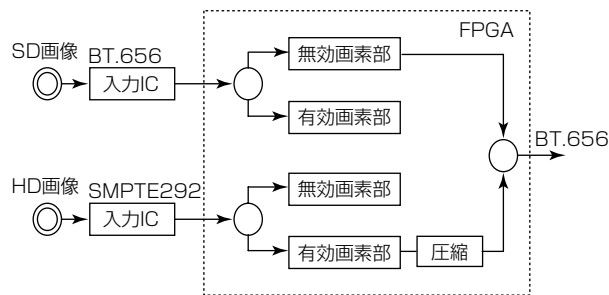


図5. フォーマット変換ロジック

ータの扱いも異なるため、HD画像からSD画像への変換には複雑で多量の判断処理を必要とする。

HX-1000ではこのフォーマット変換を安価なFPGA内部ロジックでシンプルに行えるように設計した。図5にFPGA内部で行っているフォーマット変換ロジックを示す。SD画像を入力後アナログ入力ICでBT.656フォーマットに変換した後、有効画素部と無効画素部に分離する。この無効画素部が制御データや非映像情報データの存在する重要部分となる。HD画像も同様にSMPTE292フォーマットに変換後有効画素と無効画素に分離する。HD画像は分離後有効画素だけ圧縮しSDサイズに縮小後、BT.656無効画素部と合成し、正規のBT.656フォーマットに復元する。アナログ入力ICは、アナログカメラ非接続時でも自立してBT.656フォーマットを出力し続け無効画素部を途切れさせないため、アナログカメラが接続されていなくても復元処理が止まることはない。また、無効画素部の制御データはSD画像で共通であるため、圧縮したHD画像の有効画素との合成が可能となる。

この流れによって、CPUのプログラムの介入なくFPGA内部ロジックでSMPTE292規格からBT.656規格へのフォーマット変換が完了する。MPEG-2符号化はこのBT.656で行われ、従来のMPEG-2方式と完全互換を確保する。

5. その他の機能

5.1 符号化・復号化機能

HX-1000(図6)の符号化・復号化機能を次に示す。

- (1) H.264エンコード機能(SD画像/HD画像)
- (2) MPEG-2エンコード機能(SD画像/HD圧縮SD画像)
- (3) M-JPEGエンコード機能(SD画像/HD画像)
- (4) 3種符号化を同時に行う業界初^(注6)のトリプルエンコード機能
- (5) ステレオ音声MPEG-1Audio/MPEG-2AAC圧縮機能
- (6) 全符号化方式のデコード機能(映像音声同時各1種)

(注6) 2014年2月現在、当社調べ

5.2 文字発生機能

HX-1000は、他社差別化のためFX-7400同等の文字発



図 6. HX-1000

生機能(当社独自機能)を搭載している。主な特長を次に示す。

(1) テロップ文字発生機能

- ・ 1文字列128文字, 1画面32文字列, 64画面登録可
- ・ JIS第1第2水準漢字, カナ, 外字(最大48文字)対応
- ・ 文字サイズ3種(文字列ごと指定可)
- ・ 文字飾り4種(文字列ごと指定可)
- ・ テロップ向き, 速度任意(文字列ごと指定可)
- ・ 文字色・文字飾り色8色任意組合(文字列ごと指定可)

(2) グラフィック機能

- ・ 任意形状の線, 台形, 矩形(くけい)表示可能(最大16)
- ・ 矩形単位の色指定可
- ・ 16×16画素の任意BMP(BitMaP)128枚を使用し, 任意速度で順次再生アニメーションを表示可能

HX-1000にはスーパーインポーズ用のVRAM (Video Random Access Memory)が8色分8面用意されており, それぞれに任意のBMPを展開できる。この8面の組合せによって文字背景や文字飾りと文字フォントを任意色に設定し, 任意面のBMPを定期更新することによってテロップやアニメーションを実現する(図7)。

この機能は汎用的な文字多重ICでは実現できず, FXシリーズ及びHX-1000の独自機能として広く活用されている。

6. む す び

HX-1000は, BCシリーズ及びFXシリーズからのSD画像用MPEG-2/H.264符号化方式を継承搭載しつつ, HD画像対応のH.264符号化方式の搭載, さらに, MPEG-2符号化方式とM-JPEG符号化方式を併せ持つトリプルエンコード機能を業界に先駆けて実現した。

同一装置ハードウェアをエンコーダとデコーダで共用し,



図 7. 文字発生機能とグラフィック機能による表示画面

装置の低価格化を実現した。さらに, JISラック1Uに2機設置可能な小型化によってシステム導入費用の削減にも寄与した。

文字発生機能など独自の機能を持つと同時に, ユーザーインタフェースとしてWeb画面, TELNET (TELEcommunication NETwork)画面, 独自設定制御ソケット等, 顧客やサービスマンが利用する状況に応じた各種インタフェースを用意し, 現地工事まで含むトータル工数の削減も実現している。

このようにHX-1000はフルハイビジョンインタフェースの1チップ集約や装置ハードウェアの共用化によるコストダウンと, トリプルエンコードなどの最新技術を両立させたスマートな設計となっており, 広域監視システムによって高いセキュリティ機能を提供する。

今後も, 小型, 高機能化はもちろんのこと, 顧客から要望の多い機能(他社HD画像用H.264とのより高い互換性の確保など)の実現に取り組み, 機能・性能・保守性を考慮したコーデック開発を進める予定である。

参 考 文 献

- (1) 山田悦久, ほか: 高品質映像符号化技術の標準化動向, 三菱電機技報, 82, No.12, 743~746 (2008)
- (2) 猪股英樹, ほか: H.264HDTVコーデック技術, 三菱電機技報, 82, No.12, 747~750 (2008)
- (3) 山田悦久, ほか: 次世代ネットワークにおける映像符号化技術の動向, 三菱電機技報, 82, No.2, 151~154 (2008)