

IP マルチキャストを用いたデジタル放送コンテンツ配信技術に関する一検討

西村 敏 青木 勝典 藤田 欣裕

NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

E-mail: nishimura.s-gy@nhk.or.jp

あらまし 地上波テレビ放送のアナログからデジタルへの円滑な移行にむけて、地上デジタル放送のネットワークを補完するための様々な方法が検討されている。その手段のひとつとして、IP ネットワークを利用した配信が注目されている。本稿では、特に IP マルチキャストを用いたデジタル放送再送信について、伝送品質、コンテンツ保護、放送区域制御、緊急警報放送などの観点から技術的な課題について述べるとともに、マルチキャストによるデジタル放送コンテンツ配信技術について検討を行った。また、マルチキャスト配信サーバおよび受信クライアントを試作し、伝送実験による各機能の検証結果について述べる。

キーワード デジタル放送、マルチキャスト、ストリーミング、IP ネットワーク

A Study on contents distribution technologies for Digital TV using IP multicast

Satoshi NISHIMURA Katsunori Aoki Yoshihiro FUJITA

Science & Technical Research Laboratories JAPAN BROADCASTING CORPORATION

1-10-11 kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

E-mail: nishimura.s-gy@nhk.or.jp

Abstract To complete a smooth transition from analogue to digital television service, various re-transmission systems for ISDB-T which fills the gap of digital terrestrial networks are discussed. Re-transmitting system using IP network has gotten attention recently. In particular, we discussed the issue of re-transmitting architecture using IP multicast from the viewpoint of ensuring of high-quality transmission, region control and emergency warning system. We also examined the experimental contents distribution system for digital TV and developed an experimental IP streaming server and client system.

Keyword Digital TV, Multicast, Streaming, IP network

1. はじめに

地上デジタル放送は、2003年12月の放送開始より2年が経過し、現在急速に普及が加速しつつある。2011年のアナログからデジタルへの全面移行に向けては、電波の届きにくい条件不利地域のデジタル化が重要な課題である。この条件不利地域などデジタル放送の難視聴対策として、IP マルチキャストを用いた地上波デジタル放送の再送信や衛星を活用した補完が注目されている。

放送事業者の観点からは、再送信される放送が元の放送と同一のものとみなせる内容およびサービスであることが重要である。このような再送信技術として、CATV ではパススルー及びトランスモジュレーション方式が開発され既に実用化されている。

本報告では、IP マルチキャストによる再送信方式について、放送コンテンツの保護、放送区域制御、伝送

品質確保などの観点から技術的な課題について述べるとともに、マルチキャストによるデジタル放送コンテンツの配信技術について検討する。また、デジタル放送コンテンツのマルチキャスト配信サーバ及びクライアントを試作し、実験によりその機能の検証を行う。

2. 技術課題

2.1. アクセス制御方式とコンテンツ保護

デジタル放送は、不正コピー防止等のコンテンツ保護を確実にするために、ARIB STB-B25^[1]のアクセス制御方式によるサービス管理が行われている。このアクセス制御方式では、MPEG-2 TS のペイロード部分のみを鍵長 64bit の Multi2 暗号でスクランブル化している。

IP マルチキャストを用いた地上デジタル放送の再送信の場合においても、このアクセス制御の枠組みを維持することは重要であり、特に ARIB STB-B25 の機能に依存する部分の多い BS デジタル放送やサーバ型

放送との整合性を考えると、このアクセス制御の枠組みの維持が必要であると考えられる。

ここで、IP ネットワークを用いた伝送では、電波による放送と比較して、一般に広く普及している PC のハードウェアを用いて、誰でも簡単にデジタル放送信号の取得、解析や加工ができるようになる。デジタル放送の信号はスクランブル化されているとは言え、PC の計算能力の向上やグリッドコンピューティング技術の利用、暗号化解読能力の進歩を考慮すると現行のアクセス制御方式のみでは強度が不十分である。

よって、IP ネットワークを伝送路として使用するに当たっては、ARIB STB-B25 に基づく B-CAS を用いたアクセス制御の枠組みを維持し、かつ MPEG-2TS 全体に強固な暗号化を施すことが必要であると考えられる。

2.2. 広帯域マルチキャストの伝送品質

多数の利用者に同時に番組を配信するマルチキャストを用いたストリーミングサービスでは、パケットロスが発生しても、失われたパケットを個々の利用者に対して個別に再送することは難しく、パケットロスが画質劣化となって現れやすい。

高品質・高画質なハイビジョンは地上デジタル放送の大きな特徴のひとつであることから、パケットロス要因の除去とパケットロスの影響の軽減などにより高い品質を確保することが必要である。

配信に用いられる IP ネットワークは放送局から収容局までの基幹網（コアネットワーク）区間と収容局から家庭までのアクセスとに区別される。

基幹網における品質確保の方法としては、放送配信に特化したクローズドな配信ネットワークを用いる方法や、他の通信と共用したネットワークであっても QoS 保証アーキテクチャを導入し、Intserv^[2]により帯域保証を行う、もしくは Diffserv^[3]を用い放送ストリームを優先的に伝送するなど、他の一般トラフィックと分離して扱うことで他の通信との輻輳によるパケットロスを軽減できると考えられる。また、ネットワーク障害等による経路変更に伴うパケット紛失を防止するマルチキャスト配信の無瞬断化の検討が行われている^{[4][5]}。

基幹網では、1ch あたり 18Mbps~20Mbps に及ぶ地上デジタル放送のストリームを放送区域内全チャンネル分安定して伝送する必要がある。これら QoS 保証アーキテクチャや、マルチキャスト配信がこうした条件で信頼性高く動作するかを伝送実験により十分確認したうえで方式を決定する必要がある。

収容局から家庭までのアクセス区間は、一般のインターネットトラフィックと放送ストリームが混在して伝送される部分となる。この区間では輻輳によるパケットロスがより高い確率で発生すると考えられる。

同時に多数の受信者に広帯域ストリームを伝送する場合、パケットロスを回復する手法として FEC(Forward Error Correction)^{[6][7][8]}が有効である。FEC による誤り訂正は、一般にパケットロス率に対する誤り訂正率で評価されるが、実際の IP ネットワークではパケット損失率やパケットロスの発生パターンは、当該ストリームや他の通信の発生状況や、伝送路や通信を中継する機器に大きく依存し、これらについて再現性のある一般的指標を想定することは難しい。このため、FEC の設計・評価にあたっては、伝送実験により実際の伝送路品質に即した有効な方式やパラメータ設定を行うなどの対処が必要である。

また、伝送方式の評価という観点からは、IP 伝送に伴う遅延および誤り訂正に伴う遅延時間の増加や揺らぎについて把握する必要がある。

2.3. 放送区域制御

地上デジタル放送は地域免許制度に基づいて実施されているものであり、IP ネットワークを用いた配信においても配信地域を免許された放送区域へと制御することが必要である。

UHF の電波を用いた放送では、安定して放送を受信できる範囲は地理的にはほぼ一定の範囲にとどまるが、IP を用いた通信は地理的な距離にはあまり制約されない。このため大規模なネットワークでのサービスでは放送区域を制限する仕組みが必要である。

一般のインターネットに対して配信を行うのではなく、一つの通信事業者が管理しているクローズドな配信網内のサービスを想定すれば、ルータ機器の配置やインタフェース単位のトラフィックフィルタリングにより配信許可・拒否を設定することによる区域制御が現実的な対処方法と考えられる。

しかし、IP 伝送では VPN 技術等を用いれば、受信ストリームを放送区域外に中継することも容易となることから、漏れを少なくするためには、受信器の認証や往復遅延時間(Round Trip Time:RTT)の監視などを組み合わせた対策が必要となる。

2.4. 緊急警報放送

緊急警報放送とは、非常災害が発生した、あるいは発生する恐れがある場合に、受信機を自動的に動作させ、注意喚起をした上で災害情報を伝えようとするものである。

地上デジタル放送における緊急警報放送の送出は、PMT(Program Map Table)に EWS 条件(start_end_flag, 第1種/第2種種別, 地域符号)を設定した緊急情報記述子を挿入し、TMCC(Transmission and Multiplexing Configuration Control)における緊急警報放送用起動フラグを 1 として送出する^[9]。

自動起動に対応する受信機では、待機中に TMCC 緊

急警報放送用起動フラグを周期的に監視し、その変化により緊急警報の開始を検知する。その後、TSの受信を開始しPMTの緊急情報記述子に基づいて緊急警報放送の受信処理を行う。

IPマルチキャストを用いてデジタル放送コンテンツを配信するにあたり、MPEG-2TSの内容をそのまま伝送することで、PMTの緊急警報記述子をそのままの形で伝送することができる。このため、常時TSを受信し監視することができれば、TMCCの信号がなくても緊急警報の放送の監視および受信が可能である。

しかし、絶えずMPEG-2TSを監視するのは常時約20Mbpsものパケットを受信し、MPEG-2TS信号のPMTを監視することになる。これは、端末の処理負荷が大きくなるだけでなく、受信していないにも関わらず、監視だけのために常時高いビットレートのストリームをネットワークに流しつづける必要があり、ネットワークの帯域を効率的に扱えないという課題がある。

この課題に対しては、TMCC信号のみを少ない帯域で確実にSTBに伝え、STBの起動を促す対策が考えられる。例えば、TMCC信号を低いビットレートとなるように間欠的に伝送する緊急警報告知用のマルチキャスト配信を行い、待機中の受信器は本信号を監視し、緊急警報の開始時には自動的に起動する方法が考えられる。

ここで、この緊急警報告知用の信号の配信にあたっては、当該信号と見せかけた偽の情報を送出するサービス妨害が予想される。このため、緊急警報告知用の信号であることが分かる十分な認証の機能を与えられる必要がある。

また、通信路の障害等により当該信号が届かない場合には、緊急警報の用を成さなくなる。このため、当該信号の受信が正しく行われているかの監視機能を実現することも必要である。

3. デジタル放送コンテンツマルチキャスト配信システム検討

以上の課題を考慮し、デジタル放送コンテンツをIPマルチキャストによりストリーミング配信するシステムを検討し、ストリーム配信を行うサーバ装置および受信装置を試作した。

IPマルチキャスト配信システムの設計にあたっては、前章に述べた要求条件に鑑み、放送の同一性の維持の観点からデジタル放送MPEG-2TSの内容をそのまま伝送することを第一に考え、放送されるTS全体を伝送する。インターネットでは、通信のセキュリティ強化のためにSSL(Secure Socket Layer)やTLS(Transport Layer Security)を利用して通信路の暗号化を図ることが広く行われているが、これらは一般TCPの利用を前提としており、UDPを利用した通信に

は適用できない。そこで、TSパケット全体を暗号化する処理を施すことでセキュリティの強化を図る。

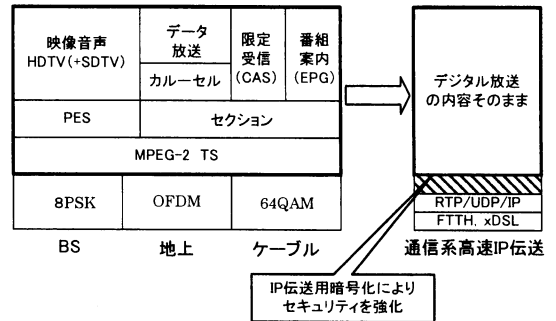


図 1: 各伝送方式のプロトコルスタック

また、伝送路におけるパケット損失の影響を軽減するためFECによるパケット損失回復機能を備えるとともに、トラフィックのバースト性に起因するネットワーク機器でのパケットロスを抑制するため、IPパケット出力部でのシェーピングを行う^[10]。

試作したマルチキャスト配信サーバの機能構成を図2に示す。

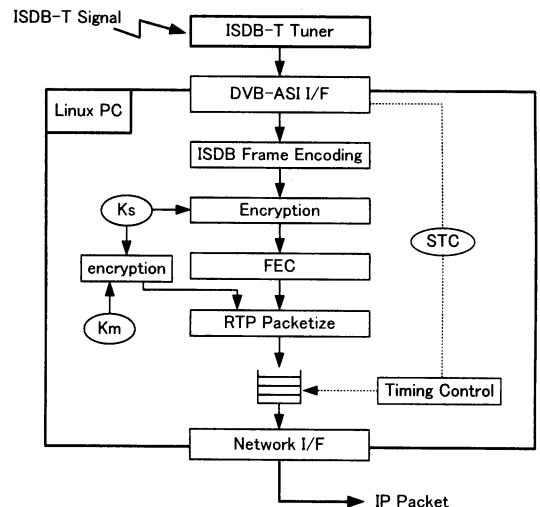


図 2: マルチキャスト配信サーバ機能構成

本配信サーバは、地上デジタル放送を受信しMPEG-2TSをDVB-ASIインターフェースに出力するISDB-Tチューナ及び同インターフェースボードを供えるLinuxPCで構成した。ここで、ISDB-Tチューナは、受信したMPEG-2TSとともに、送信制御情報であるISDB-T_information^[11]を復元する機能を有する。

以下、各ブロックについて説明する。

(1) ISDBフレームエンコード部

ISDB-Tチューナから出力されるTS信号は、放送TSと同様の多重フレーム構造を有しており、OFDM信号

として伝送される有効データとしての TS パケットと、OFDM の信号としては伝送されないインターフェース用に付加されたヌルパケットで構成される^[11]。

例えば、モード 3、ガードインターバル 1/8、QPSK(1/2)×1 セグメント (A 階層)、64QAM (7/8) × 12 セグメント (B 階層) の場合、1 OFDM フレームに含まれる TS パケット数は 4608 パケットであり、そのうち無効階層に相当するヌルパケット数は、4 割を超える 1968 パケットにおよぶ。

非同期ネットワークを用いる IP 伝送では、このヌルパケットをそのまま伝送することは、帯域の有効利用の観点から効率が悪い。しかし、単純にこのヌルパケットを削除すると、受信側における PCR の多重位置がずれ、受信装置におけるクロック再生に支障をきたす。この問題に対し、ヌルパケットの削除に伴う伝送速度の変更に応じて PCR の打ち直しを行う方法、或いは削除したヌルパケットの TS 上の位置や数を受信機側に通知し、受信側で削除されたヌルパケットを復元する^[12]ことで PCR の同期のずれを補正する方法が考えられる。

今回は、これら 2 つの方式について試作を行った。1 つめの方式は、ヌルパケットの削除数に伴い PCR を内部クロックにてリスタンプする方式である。

2 つめの方式は 1 OFDM フレームを 1 つの処理単位とし、TS パケットと共に ISDB-T_information の階層情報及び TSP カウンタを伝送する。この階層情報を参照することにより A,B 階層の TS を特定し、TSP カウンタにより各 TS パケットの OFDM フレーム上での位置を特定する方式とした。受信側では、連続する 2 つの TS パケットの TSP カウンタに不連続が生じている場合は、2 つの TSP カウンタの差分に相当するヌルパケットを挿入することにより、PCR の同期を保つことができる。

ここで両方式とも暗号化における鍵長を考慮し、1 TS パケットは 192 バイトとし、後ろ 4 バイトに階層情報及び TSP カウンタを多重した。

(2) 暗号化部

ISDB フレームエンコード部より得られた MPEG-2TS 全体に暗号化を行う。今回は、鍵長を 128bit とする AES CBC(Cipher Block Chaining) モードで暗号化を行った。

暗号化鍵 K_s は OFDM フレーム毎に更新するものとする。なおこの K_s の伝送については各受信機に共通の秘密鍵 K_m によって暗号化され伝送される。

(3) FEC エンコード部

暗号化された TS パケットに FEC エンコードを行う。FEC フォーマットは、暗号化した TS 最大 7 個を含む各 RTP パケットに対し、図 3 に示す構成を用いて N 個

の FEC のパケットを付加する。FEC は、パースト的なパケット損失を考慮して、XOR 演算を用い連続する N 個のパケット損失を訂正する方式とした。

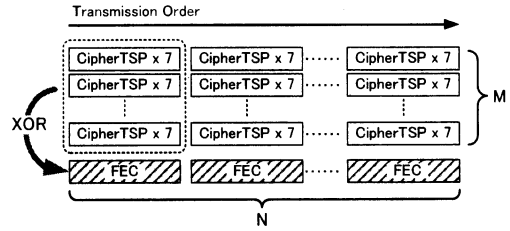


図 3: FEC フォーマット

1 つの FEC フレームは $(N \times M)$ 個の RTP パケットのペイロードで構成される。今回は、OFDM フレームに合わせて $N=54$, $M=7$ として FEC パケットを生成した。これによる冗長度は約 14% となる。

(4) RTP パケット化部

暗号化 TS のパケットおよび、FEC 冗長化のパケットを RTP パケットに多重する。なお暗号化及び FEC パラメータ収容のため RTP 拡張ヘッダを用いている。

V	P	X	CC	M	PT	Sequence Number			
TimeStamp*									
SSRC**									
Reserved					Length				
PacketsInFrame					DataPacketsInFrame				
TotalUnitCount		CryptedUnitCount		KeyId	FEC Type	FEC Parameter			
Payload (192 * TotalUnitCount)									
Adaptation									

* Frame Number, Segment Number を挿入
** Original_network_id, Transport_stream_id を挿入

図 4: ヘッダフォーマット

図 4 に詳細なヘッダフォーマットを示す。TimeStamp には、処理単位となる ISDB-T の多重フレームの番号を表す FrameNumber を上位 16 ビットとし、フレーム中の当該パケットの位置を示す SegmentNumber を下位 16 ビットとする 32 ビット値を用いる。SSRC としては、伝送される MPEG-2TS から得られる選局情報である Original_Network_id, Transport_stream_id を用い、受信機での選局情報として利用する。PacketsInFrame, DataPacketsInFrame は、フレーム内の総パケット数と暗号化 TS パケットデータ数をそれぞれ表す。TotalUnitCount, CryptedUnitCount はパケットに含まれる総 192 バイトユニット数、及びそのうち暗号化されたユニット数を示す。TotalUnitCount が FEC により保護される対象となる。KeyId は該当パケットのペイロードの暗号化に使用した K_s の識別番号を示す。

FECType, FECParameter は FEC エンコードに使用したアルゴリズム及びパラメータを記述する。

また, Km によって暗号化された Ks は非暗号化ユニットとして RTP パケットのペイロード, またはペイロード部のトレイラとして存在する Adaptation フィールドにて伝送する。

(5) 伝送タイミング制御部

本処理部は, RTP パケットをネットワークへ伝送する際のタイミングを制御する。

配信システム内でオーバーフローやアンダーフローを発生させないためには, MPEG-2TS を入力する DVB-ASI I/F のクロック とネットワーク I/F から出力する RTP パケットの配信制御クロックが同期する必要がある。

そこで, 伝送タイミング制御部ではマルチキャスト配信サーバ PC の内部クロックではなく, DVB-ASI I/F ボードの内部 STC を参照することで, STC に同期したクロックを用いる方式とした。

また, タイミング制御の精度が荒い場合には, ネットワークへのパケットの出力がバースト的になり, パケットロスの原因となることがある。この問題を避けるためには, パケット単位での出力タイミング制御が必要である。このため, IP 伝送部を他のプロセスよりも優先的に制御し精度の高い伝送タイミング制御を行う実装とした。

4. 基礎実験

試作した IP マルチキャスト配信サーバ装置および受信装置を用いて基礎的な伝送実験を行い, その機能の確認をおこなった。伝送実験の構成を図 5 に示す。

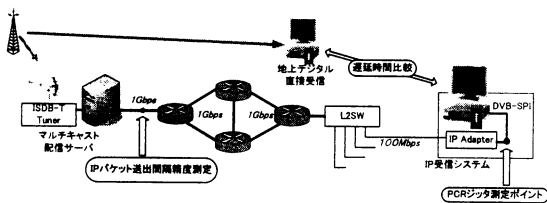


図 5: 伝送実験構成

図 5 の IP 受信システムは, DVB-SPI インターフェースより入力した MPEG-2TS に対し B-CAS システムを動作させることができる地上デジタル受信機, 及び IP 受信アダプタから構成される。IP 受信アダプタは, 第 3 章の伝送フォーマットに基づいて受信 IP パケットの FEC デコード及び暗号化パケットの復号を行い, 得られた TS に対し ISDB フレームデコードを行い DVB-SPI 信号として地上デジタルチューナに出力する。

実験では, 配信サーバから出力される IP パケットの送出間隔制御, 地上デジタルとの遅延, PCR ジッタ,

緊急警報について検証を行った。

4.1. IP 出力送出間隔制御

配信サーバの送出性能を, 出力 IP パケット単位の送出間隔制御の観点から評価した。図 5 の送出間隔精度測定ポイントにおいて, IP アナライザを用いて配信サーバ出力をキャプチャし, 送出間隔を測定する。

結果を図 6 に示す。図 6 は, キャプチャしたパケットの μsec 精度の送出間隔をヒストグラムで示している。ここで, 平均ビットレートを算出する。モード 3, ガードインターバル $1/8$ では OFDM のフレーム長が 231.336msec であり, 前述の $N=54, M=7$ の条件では, 1 フレーム当りのパケット数は, FEC 部分を含めて 432 パケットとなる。よってヘッダ及び FCS 分のオーバーヘッドを考慮すると, 1 パケットは 1414Byte となり, 平均ビットレートは約 21.12Mbps となる。

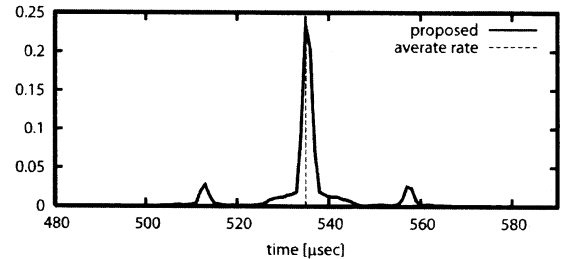


図 6: パケット送出間隔ヒストグラム

図 6 より, ほぼ全てのパケットが, 平均送出間隔 ($1414\text{Byte} \times 8 / 21.12\text{Mbps} \approx 535\mu\text{sec}$) 近傍に分布しており, 十分な性能が得られていることが分かる。

4.2. IP 伝送に伴う遅延

本配信サーバの地上デジタル放送信号受信から IP 受信機における映像の表示までのトータルの遅延時間を測定した。遅延時間は, IP 受信システムにおけるデコード後の映像と, 地上デジタル直接受信機のデコード画像を VTR により撮影し, その映像フレームの遅延を数えることにより測定した。

この結果, 遅延時間は 18 フレーム, およそ 600msec であった。この遅延の内訳は, OFDM フレーム単位で処理を行うためのフレーム化の遅延が送受信双方で 231.336msec ずつ, 暗号化・FEC におよそ $1\sim 2\text{msec}$, ネットワーク遅延が 1msec 以内の値であり, 約 100msec 程度がインターフェースにおけるバッファリング遅延と思われる。

今回は近距離での実験であったため, ネットワーク遅延がわずかであるが, 今後実ネットワークにおいて伝送遅延および誤り訂正に伴う遅延時間の増加や揺らぎについての検証が必要である。

4.3. PCR ジッタ

ISDB フレームエンコード/デコードに伴う PCR 同期

化方式の精度を確認するため、図5に示すIP受信アダプタ出力のDVB-SPI信号のPCRジッタを測定した。

図7に両方式の結果をPCRジッタのヒストグラムで示す。左図はPCRリスタンプ方式の結果であり、右図はヌルパケット復元方式の結果である。

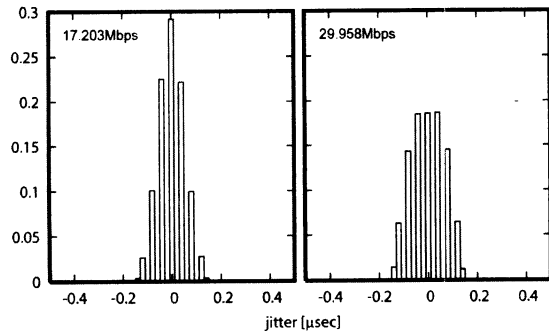


図7:PCRジッタヒストグラム(左図:PCRリスタンプ方式, 右図:ヌルパケット復元方式)

図7より両方式ともPCRジッタはほぼ $-0.2\mu\text{sec}$ ~ $0.2\mu\text{sec}$ に収まっていることが分かる。またジッタの最大値については、リスタンプ方式で $0.22\mu\text{sec}$ 、ヌルパケット復元方式で $0.2\mu\text{sec}$ 程度と小さな値であった。

以上の結果により両方式ともMPEG-2システムで規定されている $0.5\mu\text{sec}$ ^[14]以内に収まっていることが確認された。

両方式と上記規定を満たしているが、PCRリスタンプ方式はIP受信機においてPCR同期に対し特別な処理が不要であるといった利点があり、その一方でヌルパケット復元方式は、ISDB-Tチューナから出力されるMPEG-2TSと同一の多重フレーム構造を再現できることが特徴であることから、状況に応じた使い分けも考えられる。

4.4. 緊急警報



図8:緊急警報メッセージ画面

今回試作したマルチキャスト配信サーバでは、試験的にPMTに緊急情報記述子を挿入することが可能であり、この機能を用いてIP伝送における緊急警報の伝

達確認を行った。

この結果図8の受信映像のように緊急警報放送に反応することが確認できた。

なお、緊急警報放送用起動フラグを伝送する場合は、図2のブロックにおけるISDB-TチューナからTMCC信号から当該フラグの情報を取り出し、受信チャンネル情報と共に緊急警報告知用マルチキャストアドレスにて配信することで自動起動が可能になる。

5. まとめ

本稿では、IPマルチキャストによる地上デジタル再送信について、伝送品質確保、コンテンツ保護、放送区域制御、緊急放送の観点から技術的な課題を述べた。また、IPマルチキャスト配信システムの試作を行い、本配信サーバから出力されるIPパケットの送出間隔制御、地上デジタルとの遅延、PCRジッタ、緊急警報の各項目について確認した。

今後、実ネットワークにおける伝送実験により各課題の検証を進めるとともに、放送型マルチキャスト配信における暗号化、鍵配布方式について検討していく。

文献

- [1] ARIB STD-B25: “地上デジタル放送におけるアクセス制御方式,” 電波産業界
- [2] RFC 1633, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview,” 1994.
- [3] S Blake, D.Black, M.Carlson, E.Davies, Z.Wang and W.Weiss, “An architecture for differentiated services,” RFC 2475, Dec. 1998.
- [4] T. Hasegawa and T. Hasegawa, “A Gateway approach for providing non-stop IP broadcasting service infrastructure”, The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, Feb. 2005.
- [5] 甲斐, 佐藤, 小林, “IPマルチキャストにおける無瞬断ルート切替手法,” 信学ソ大, B-6-16.9.2005.
- [6] RFC 3453, “The use of forward error correction (FEC) in reliable multicast”, Dec. 2002.
- [7] 相原, 西村, 近堂, 前田, 渡辺, “MPEG-2 over IPv6システムの開発,” 信学技報 IA2002-19, pp.7-12
- [8] 高橋, 戸出, 村上, “XOR-based codingに基づく効率的なマルチキャスト映像配信技術の提案,” 信学技報 NS2003-209, pp.9-12. 2003.
- [9] ARIB STD-B14: “地上デジタルテレビジョン放送運用規定,” 電波産業界
- [10] 西村, 青木, 鹿喰, 藤田, “多チャンネルストリーミングサーバにおけるバースト抑制方法の検討,” 信学技報 NS2005-14, pp.9-12, 2005.
- [11] ARIB STD-B31: “地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式,” 電波産業界
- [12] 倉掛, 日下部, 中村, 小山田, “イーサネットフレームによるデジタル放送の再送信方式の一検討,” 信学総大, B-8-18.3.2005.
- [13] RFC 3550, “RTP: a transport protocol for real-time applications,” 2003.
- [14] ISO/IEC13818-1 International Standard, Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio: Systems -, 1994.