

放送通信連携に向けた 多重化方式・トランスポート方式の標準化動向

青木秀一[†]

本稿では、放送通信連携の観点からデジタル放送の多重化方式およびトランスポート方式の標準化動向を述べる。当初のデジタル放送の多くは、映像・音声信号の多重化方式として、MPEG-2 Systems に規定する Transport Stream を採用した。その後、通信技術の進歩とともに、放送伝送路においても IP パケットを用いてコンテンツを伝送する放送システムが開発された。さらに、近年のコンテンツの多様化、ネットワークの多様化、端末の多様化を受け、MPEG では、放送と通信のハイブリッド配信が目的の一つである MPEG Media Transport (MMT) の標準化が進められている。NHK 技研においてもハイブリッド配信のためのトランスポート方式の開発を進めており、MPEG において提案を行った。そこで本稿では、デジタル放送における IP パケットの多重化方式および映像・音声信号を IP パケット化するトランスポート方式に加え、ハイブリッド配信のためのトランスポート方式および MMT の概要をまとめる。

Trends of Transport Mechanisms for Hybrid Delivery on Broadcast and Broadband

Shuichi Aoki[†]

This report presents trends of transport mechanisms of digital broadcast systems from the viewpoint of emerging hybrid content delivery on broadcast channels and broadband networks. Most of digital broadcast systems in the early stage adopted Transport Stream specified in MPEG-2 Systems as their transport mechanisms. With the rapid growth of information and communication technologies, some broadcast systems on which content is delivered in the form of IP packets, have been developed. Multiplexing schemes of IP packets on broadcast systems and transport mechanisms for audio/video signals on IP are summarized in this report. We are now developing a new transport scheme for hybrid delivery in order to deliver various forms of content in heterogeneous network environments. We proposed the developing scheme to MPEG, which is standardizing MPEG Media Transport (MMT). The outline of MMT is also described briefly in this report.

[†]NHK 放送技術研究所 Science and Technology Research Laboratories, NHK

1. はじめに

日本では、1996 年に CS デジタル放送が、2000 年には BS デジタル放送が、さらに、2003 年には地上デジタル放送が開始された。これらのデジタル放送では、符号化した映像信号や音声信号を多重するトランスポート方式として、MPEG-2 Systems[1]に規定する TS (Transport Stream) が用いられている。

こうした放送のデジタル化やブロードバンドなど通信技術の著しい発展の結果、放送あるいは通信のいずれを用いても、映像コンテンツの伝送が可能になった。このため、コンテンツの送出処理や受信機における放送・通信の処理を共通化することを目的とし、通信ネットワークで広く使われている IP (Internet Protocol) パケットを用いてコンテンツを伝送するデジタル放送システムが多数開発された。

このような放送伝送路における IP を用いるアプリケーションとして、コンテンツファイルを FLUTE (File Delivery over Unidirectional Transport) [2]などの方式を用いて IP パケット化しダウンロードする非リアルタイム系アプリケーションが規格化されている。また、符号化した映像信号や音声信号を RTP (Real-time Transport Protocol) [3]を用いて IP パケット化しストリーミングするリアルタイム系アプリケーションも規格化されている。

現在では、携帯端末の高機能化やディスプレイの高解像度化が進むなどコンテンツ利用デバイスが多様化していることに加え、ネットワークの多様化も進み、放送とインターネットなど複数のネットワークに同時に接続するデバイスも一般的となった。コンテンツ配信の環境が変化中、一対多の配信を効果的に行える放送と、一対一の配信を効果的に行える通信とを組み合わせるコンテンツを配信するハイブリッド配信では、多様なフォーマットのコンテンツを多様なデバイスに効果的に配信することができる。しかしながら、従来のトランスポート方式である MPEG-2 TS や RTP では、効率的なハイブリッド配信の実現には課題がある。そこで、筆者らはハイブリッド配信のための新たなトランスポート方式の開発を進めている。また、マルチメディアの情報処理技術の標準化を行う ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG)においても、ハイブリッド配信を目的の一つとしたトランスポート方式である MPEG Media Transport (MMT) の標準化が進められている。

本稿では、放送・通信連携に向けたデジタル放送の多重化方式およびトランスポート方式の標準化動向をまとめる。

2. デジタル放送で広く用いられる MPEG-2 TS

国際標準となっている地上デジタル放送の方式として、北米で開発された ATSC 方式、ヨーロッパの DVB-T、DVB-T2 方式、日本の ISDB-T 方式、中国の DTMB 方式がある。それぞれの放送システムは、伝送路符号化・変調方式さらに情報源符号化方式

は異なる一方、多重化・トランスポートレイヤは、いずれも MPEG-2 TS を採用している。

MPEG-2 Systems は、符号化した映像や音声の多重化方式であり、蓄積系メディアを対象に主に用いられた MPEG-1 Systems を拡張し、1994 年に標準化された。MPEG-2 Systems では、PS (Program Stream) と TS の 2 種類の形式が規定され、PS は DVD ビデオにおける映像と音声の多重化方式として広く用いられている。

MPEG-2 TS は、TS パケットと呼ぶ 188 バイトの固定長のパケットが連なるストリームである。符号化した映像信号や音声信号は、それらを提示する時刻である PTS (Presentation Time Stamp) や符号の復号時刻である DTS (Decoding Time Stamp) などの情報をヘッダーに含む PES (Packetized Elementary Stream) と呼ばれるパケット形式とする。PTS および DTS は、エンコーダのクロックである STC (System Time Clock) に基づく時刻として示される。さらに、STC をサンプルした値を PCR (Program Clock Reference) として多重する。PCR はジッターを抑えて伝送される必要があるが、これにより、デコーダのクロックをエンコーダのクロックに同期することができ、長時間のストリーミングにおいてもデコーダのバッファが破綻することを回避できる。

MPEG-2 TS は、伝送品質が保証される一方向の伝送路で、映像や音声を無限の時間ストリーミングする用途に適しており、このため、多くのデジタル放送のトランスポート方式として採用された。

3. 放送伝送路における IP パケットの伝送

インターネットの普及に伴い、放送においても IP パケットを用いてコンテンツを伝送する放送システムが開発された。これにより、送出システムや受信機における放送・通信の処理を共通化できるだけでなく、消失したパケットを復元することで伝送品質を確保する AL-FEC (Application Layer-Forward Error Correction) などの IP 周辺技術を放送に導入することや、多様な形式のコンテンツを放送で伝送することが可能になった。

3.1 IP over TS による放送伝送路での IP パケットの多重

デジタル放送の多くは、MPEG-2 TS の伝送を前提に設計されていることから、IP パケットを TS パケットにカプセル化する方式が開発された。カプセル化の方式として、IP パケットをセクションとして MPEG-2 TS に多重する MPE (Multi Protocol Encapsulation)[4][5] と IP パケットをプライベートストリームとして MPEG-2 TS に多重する ULE (Unidirectional Lightweight Encapsulation)[6] がある。これらのカプセル化により、IP パケットの伝送に対応する放送システムを表 1 に、MPE と ULE の比較を表 2 に示す。

MPE はオーバーヘッドが大きい、MPE-FEC と呼ばれる AL-FEC を併用することで、移動受信などパケットロス率が高い環境においても、信頼性を確保した伝送を実

表 1 IP over TS により IP パケットの伝送に対応する放送システム

放送システム	カプセル化方式
ATSC-DTV	ATSC-MPE
DVB-H, DVB-SH	DVB-MPE
ISDB-T _{SB}	ULE
ISDB-T _{mm}	ULE

表 2 MPE と ULE の比較

	MPE	ULE
IPv6 対応	LLC/SNAP ヘッダーが必要	対応
パケット長	<4KB	<32KB
多重時の FEC	あり	なし
オーバーヘッド	大	小

現できる。

3.2 放送伝送路での IP パケットの多重化方式

IP パケットを TS パケットにカプセル化する方式はオーバーヘッドが大きくなることから、MPEG-2 TS とは別に、IP パケットの多重に対応する放送システムが開発された。このような放送システムを表 3 に示す。

表 3 のうち、ATSC-M/H は文献[7]に規定される放送システムであり、MPEG-2 TS の多重には対応せず、IP パケットの多重のみに対応する。それ以外は、MPEG-2 TS の多重および IP パケットの多重に対応する。

GSE (Generic Stream Encapsulation) は、文献[8]で規定される方式であり、文献[9]が詳しい。GSE により放送に多重する IP パケットを分離するために必要となる制御信号は、MPE によりカプセル化したときと同様、INT (IP/MAC Notification Table) を用いる。INT は SI (Service Information) の一つであるため、GSE による多重を行う場合にも、MPEG-2 TS パケットの伝送が必要となる。

一方、TLV 多重化方式は、文献[10]で規定され、文献[11]が詳しい。TLV 多重化方式では、放送におけるコンテンツ伝送に特化するため、IP ヘッダー情報の圧縮が規定されている。このため、GSE よりもオーバーヘッドの小さい多重が可能である。IP パケットを分離するために用いる制御信号として Address Map Table (AMT) が規定される。AMT は TLV パケットとして多重されるため、TLV 多重化方式では、MPEG-2 TS パケットを伝送する必要はない。

文献[11]~[15]では、MPE や ULE も含め、各多重化方式の効率が比較されている。文献[14]は、伝送状況に応じた IP パケットの廃棄率の観点から MPE と GSE を比較し、BB (Base Band) フレームのヘッダー誤りによるパケット廃棄が伝搬しないため、MPE が GSE よりも効率的であることを指摘している。また、文献[15]は、GSE が MPE よりもオーバーヘッドが小さく効率的

表 3 IP パケットの多重化方式を備える放送システム

放送システム	多重時の形式/多重化方式
ATSC-M/H	M/H transport packet
DVB-T2, DVB-S2	GSE
高度広帯域衛星デジタル放送	TLV 多重化方式

とするものの、多重化レイヤで消失訂正を行う MPE-FEC に相当する方式が GSE に存在しないことから、GSE-FEC を提案している。

4. 放送伝送路のIPを用いるアプリケーション

4.1 コンテンツダウンロード

放送伝送路における IP を用いるアプリケーションとして、コンテンツをダウンロードした後に利用するなどの非リアルタイム系アプリケーションがある。

放送伝送路は一方向であり、送達確認を伴うファイル伝送が行えないため、一方向伝送路に対応したファイル伝送方式が規定されている (表 4)。

FLUTE は、IETF が規定するファイル伝送方式であり、複数のファイルを一つのセッションで送ることができる。ファイルの情報は、File Delivery Table (FDT) に記載し、FDT 自体をファイルと同様のオブジェクトとして伝送する (図 1)。また、ファイル自体はトランスポートオブジェクトとし、ソースブロックに分割後、パリティシンボルを生成し、それぞれを IP パケットに格納し伝送する。移動受信時に発生するバースト的なパケットの消失に対応するため、種々の AL-FEC が規定されており用いることができる。

一方、高度広帯域衛星デジタル放送では、衛星伝送路が擬似エラーフリーの伝送路であること、また、70Mbps という高速な伝送を実現する必要があることから、低オーバーヘッドのファイル伝送方式が規定されている[16]。このファイル伝送方式の概要を図 2 に示す。ファイルは、一定長のデータユニットに分割された後、シーケンス番号およびファイルの識別子を含むダウンロードヘッダーを付加し IP パケットに格納する。文献[17]では、放送送信機および放送受信機を用いたファイル伝送の評価が報告されており、伝送効率が高いことが分かる。

表 4 非リアルタイム系アプリケーションを規定する放送システムとファイル伝送方式

放送システム	ファイル伝送方式
ATSC-M/H, ATSC-NRT	FLUTE
DVB-H, DVB-SH	
ISDB-T _{mm}	
高度広帯域衛星デジタル放送	ARIB STD-B45 に規定の方式

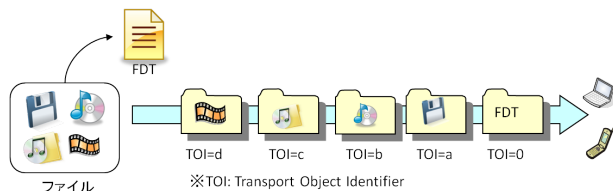


図 1 FLUTE でのファイルオブジェクトと FDT の伝送

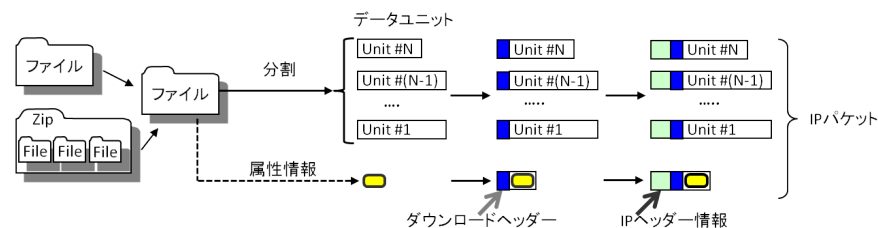


図 2 ARIB STD-B45 に規定のファイル伝送方式の概要

RTP は、IETF が規定するストリーミングプロトコルであり、RTP の周辺技術として、種々のコーデックの RTP ペイロードフォーマットが規定される[18]ほか、RTP のセッションを記述する SDP (Session Description Protocol)[19]、RTP の制御プロトコルである RTCP (RTP Control Protocol)[3]などの周辺技術が規定されている。

一方、MPEG-2 TS はストリーミングに適するトランスポート方式であり、RTP と MPEG-2 TS とは類似の機能を持つことが指摘される[20]ことから分かるように、IP over TS によるカプセル化を行い、RTP を用いてストリーミングを行う場合、伝送時のオーバーヘッドが必然的に大きくなると言える。

5. コンテンツのハイブリッド配信

5.1 ハイブリッド配信に関する既存研究

インターネット利用コストの低廉化、ブロードバンド化などにより、コンテンツ配信に放送と通信の両方を用いることが現実的となり、こうしたハイブリッド配信について、さまざまな研究が行われている。

例えば、ビデオオンデマンドサービスにおいて、同時配信数や消費帯域のシミュレーションを行い、人気があるコンテンツを放送で配信することで、通信回線やサーバーの負荷を減らせることが報告されている[21]。また、コンテンツ自体を放送で伝送し、そのライセンスの取得や欠損コンテンツの補完のため通信を用いるなど、非リアルタイム系のアプリケーションについても多数の報告がある。ダウンロードサービスを放送と通信で一体的に行うシステムの提案[22]、ファイルの受信に対応する STB (Set Top Box) 装置の試作[23]、ハイブリッド配信向けのサービスガイドの開発[24]、また、個人向けにカスタマイズした旅行案内をハンドヘルド端末に配信するシステムの提案[25]などがされている。さらに、こうした非リアルタイム系のアプリケーションに関し、配信に要する時間やトラフィック量のシミュレーション結果も多数報告されている[26]~[31]。

一方、放送で伝送するストリームと、通信で伝送するストリームとを同期を確保しながら再生するようリアルタイム系のアプリケーションに関する研究として、

DVB-H を放送伝送路として用い、そのトランスポートプロトコルとして RTP を用いる例が報告されている[32].

5.2 ハイブリッド配信のトランスポート方式にMPEG-2 TSを用いる場合の課題

MPEG-2 TS では、番組を構成する映像信号や音声信号のコンポーネントを、一つの TS に多重する必要がある。また、番組を構成するコンポーネントの情報を記述する制御情報も同一の TS に多重しなければならない。異なる TS に多重されたコンポーネントを参照したり、同期を取ったりする仕組みを持たないことから、放送の TS で伝送されるコンポーネントと、通信の TS で伝送されるコンポーネントとを組み合わせることでコンテンツを構成することができない。

さらに、通信で使われる IP パケットの大きさは一般に 1.5KB 程度まで大きくできるのに対し、TS パケットは 188 バイトの固定長であるため、図 3 に示すように、一つの IP パケットに映像や音声さらには制御情報が混載されることとなる。このため、受信機は、IP パケットのフィルタリングにより TS パケットを取り出し、さらに TS パケットの処理後でない、所望のコンポーネントを取り出すことができない。特に高ビットレートのコンポーネントでは、より簡便な処理が必要になる。

5.3 ハイブリッド配信のトランスポート方式にRTPを用いる場合の課題

RTP では、映像や音声のコンポーネントを多重することなく個別に伝送できるが、逆に、コンポーネントを多重する機能を持たない。このため、映像や音声を多重し伝送する場合、MPEG-2 TS や ISO base media file format に多重し、これを RTP で伝送する方法が広く用いられている。しかしながら、このような伝送を行った場合、MPEG-2 TS と同様、異なるネットワークで伝送するコンポーネントを組み合わせることが困難になる。

また、RTP はファイルを伝送することはできず、ファイルを組み合わせたコンテンツを構成することができない。さらに、RTP の制御情報として、一般に RTCP が必要となるほか、RTP のセッションを記述する SDP も必要となる。これらは別々の IP データフローで伝送する必要があるため、用いる IP データフローの数が多くなり IP ヘッダー圧縮を効果的に行うことが困難になる。RTCP や SDP のオーバーヘッドが大きいことも課題となる。

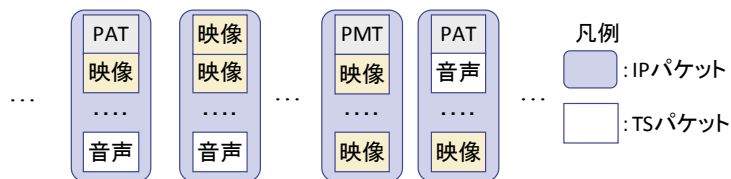


図 3 IP パケットにおける TS パケットの混載

5.4 Advanced Transport Scheme (ATS)の提案

筆者らは、ハイブリッド配信の実現に向け、放送・通信において共通に用いることを想定した新たなトランスポート方式である Advanced Transport Scheme (ATS)を提案している[33]. ATS を含むハイブリッド配信のプロトコルスタックを図 4 に示す。

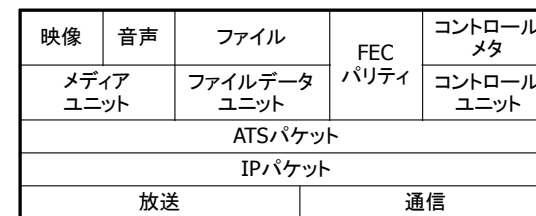


図 4 ATS のプロトコルスタック

ATS では、映像や音声、ファイルに加え、AL-FEC のパリティやコントロールメタの多重を実現するため、それぞれをユニット化するレイヤと、ユニット化したデータをパケット化する ATS パケットのレイヤとを分けることとした。表示する時刻を指定する映像・音声などの情報はメディアユニットと呼ぶ形式に、表示時刻が指定されないファイルなどの情報はファイルデータユニットと呼ぶ形式とする。また、制御系の情報はコントロールメタとしてコントロールユニット化する。

各ユニットは、伝送路の MTU (Maximum Transmission Unit) に応じたサイズに分割し、ATS パケットと呼ぶ可変長のパケット形式とする。メディアユニットやファイルデータユニットを ATS パケット化する際、ネットワークの伝送品質に応じ、AL-FEC によるパリティを生成することができる。ATS と、MPEG-2 TS, RTP の機能比較を表 5 に示す。

表 5 ATS, MPEG-2 TS, RTP の機能比較

機能	ATS	MPEG-2 TS	RTP
ファイル伝送	対応	小サイズのみ 可能	対応せず
コンポーネントの多重	可能	可能	対応せず
他ネットワーク上のコンポーネントの組み合わせ	可能	困難	M2TS との組み合わせは困難
他ネットワーク上のコンポーネントとの同期	可能	STC の同期に より可能	M2TS との同期は困難
メディアコンポーネントのタイムスタンプ	復号, 合成, 同期	復号, 提示	提示
伝送エラー耐性	あり	なし	なし
クロックリカバリ	なし	可能	なし
蓄積	なし	対応	なし

5.5 MPEGにおけるMEPG Media Transportの標準化

MPEG-2 Systems の標準化から 17 年が経過し、ネットワーク環境は大きく変化した。有線・無線の通信回線、放送などコンテンツの伝送路が多様化すると同時に、コンテンツ利用デバイスの多様化も進み、複数の伝送路に接続可能なデバイスも一般的となっている。

こうした環境の変化に対し、MPEG-2 TS および ISO base media file format が、当初は想定していない用途で用いられていること、また、これら既存方式の拡張用コードポイントが枯渇しつつあることなどを背景に、MPEG において、既存のトランスポート方式の課題を整理するワークショップが二度開催された。

2009 年 7 月の MPEG ロンドン会合では、既存のトランスポート方式の課題や事例検討が行われ[34]、MPEG-2 TS がオーバーロードであること、また、PES や TS パケットの大きさが UHD などの新たなアプリケーションに最適でないことが指摘され、新たな方式が必要であるなどの議論が行われた。2010 年 1 月の MPEG 京都会合では、放送・通信を含むハイブリッド配信における新たなトランスポート方式の必要性などが議論された[35]。この結果、放送や通信などの多様なネットワークを柔軟に用いて、マルチメディアコンテンツを伝送するための新たなトランスポート方式である MPEG Media Transport (MMT)の標準化が開始された[36]。2013 年前半の標準化完了を目標としている。

MMT の目的は文献[37]にまとめられており、以下のような目的が記載されている。

- 放送・通信など多様なネットワークでの適応的なメディア配信
- QoS/QoE 向上のためのレイヤ間協調
- オンラインゲームや会話型アプリなど、双方向・低遅延サービス
- 効率的な一対多の配信
- 伝送エラー耐性の確保

また MMT のユースケースは文献[38]にまとめられており、

- UHD コンテンツや 3D コンテンツの配信
- グループ参加型アプリケーション
- マルチデバイスでのシームレスなコンテンツ利用
- インターネットテレビ
- P2P 配信

など多数のユースケースが列挙されている。

こうしたユースケースに対応するための MMT のレイヤ構造と、既存方式のレイヤ構造との対応を図 5 に示す。図 5 における E.3 から E.1 は Encapsulation の機能を持つレイヤであり、メディアの符号を、蓄積あるいは配信方式のペイロードで伝送するための形式にカプセル化するレイヤである。D.1 から D.3 は、Delivery の機能を持つレイヤであり、カプセル化したメディアの符号をネットワークのノードからノードへ転送

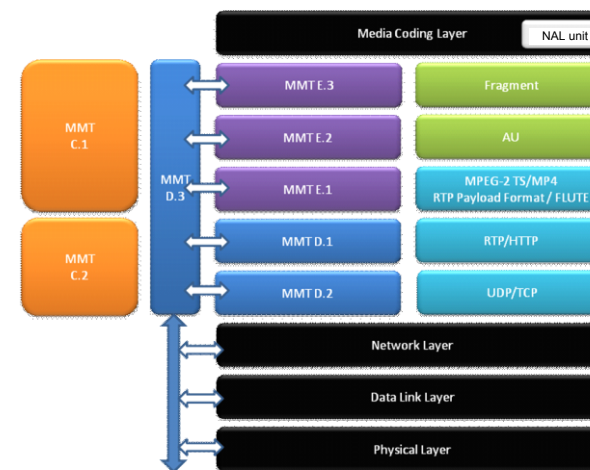


図 5 MMT のレイヤ構造 (文献[37]から引用)

する機能を持つ。D.3はクロスレイヤ最適化を行う場合のレイヤである。C.1とC.2は、Controlの機能を持つレイヤであり、メディアの配信や利用をコントロールする。また、MMTの要求条件は、文献[39]にまとめられている。

2011 年 1 月の MPEG テグ会合において、技術募集に対する提案が行われ、筆者らの提案を含め日中韓の 7 組織から方式提案が行われた。これに基づき、現在、各レイヤにおける詳細なシンタックスやセマンティックスの検討が進められている。

6. まとめ

本稿では、デジタル放送の多重化方式・トランスポート方式について、放送・通信連携の観点からその動向をまとめた。

当初のデジタル放送は、放送完結型のシステムであり、多重化方式として MPEG-2 TS を採用した。通信技術の発展とインターネットの普及にともない、IP パケットを用いてコンテンツを伝送する放送システムが開発された。現在は、コンテンツの多様化、ネットワークの多様化、コンテンツ利用デバイスの多様化を背景に、ハイブリッド配信に向けた研究開発および標準化が進められていることを述べた。

筆者らはハイブリッド配信のためのトランスポート方式として ATS を提案しており、今後、提案方式の機能検証を進めるとともに、MPEG における標準化活動を継続する。

参考文献

- 1) ITU-T Rec. H.222.0|ISO/IEC 13818-1:2006, "Information Technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems" (2006)
- 2) T. Paila, et al., "FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport," IETF RFC 3926 (2004)
- 3) H. Schulzrinne, et al., "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," IETF RFC 3550 (2003)
- 4) ATSC Doc. A/92, "ATSC Standard: Delivery of IP Multicast Sessions over ATSC Data Broadcast" (2002)
- 5) ETSI EN 301 192, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB Specification for data broadcasting" (2004)
- 6) G. Fairhurst, et al., "Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) for Transmission of IP Datagrams over an MPEG-2 Transport Stream (TS)," IETF RFC 4326 (2005)
- 7) ATSC Doc. A/153, "ATSC-Mobile DTV Standard" (2009)
- 8) ETSI TS 102 606, "Digital Video Broadcasting (DVB); Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol" (2007)
- 9) J. Cantillo, et al., "Design Issues for the Generic Stream Encapsulation (GSE) of IP Datagrams over DVB-S," IEEE International Workshop on Satellite and Space Communications, pp.276-280 (2007)
- 10) Rec. ITU-R BT. 1869 "Multiplexing scheme for variable-length packets in digital multimedia broadcasting systems" (2010)
- 11) S. Aoki, et al., "Efficient Multiplexing Scheme for IP Packets over the Advanced Satellite Broadcasting System," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 55, no.1, pp.49-55 (2009)
- 12) A. Mayer, et al., "Analytical and Experimental IP Encapsulation Efficiency Comparison of GSE, MPE, and ULE over DVB-S2," IEEE International Workshop on Satellite and Space Communications, pp.114-118 (2007)
- 13) B. de la Cuesta, et al., "Analysis of IPv6 Encapsulation over ULE and MPE using a Regenerative Satellite Payload," IEEE International Workshop on Satellite and Space Communications, pp.193-197 (2008)
- 14) P. Hakala, et al., "On the Performance and Efficiency of Generic Stream Encapsulation Combined with LDPC Coding for the Terrestrial DVB Systems," IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (2008)
- 15) L.Li, et al., "A New Reliable Scheme for IP services Transmission in T-DMB Systems," International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp.1037-1041 (2008)
- 16) 電波産業会 : "デジタル放送におけるダウンロード方式," ARIB ATD-B45 (2011)
- 17) S.Aoki, et al., "Effective Content Delivery Method for File-based Broadcast System over Satellite Broadcasting Channels," IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, mm2010-33 (2010)
- 18) D. Hoffman, et al., "RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video," IETF RFC 2250 (1998)
- 19) M. Handley, et al., "SDP: Session Description Protocol," IETF RFC 4566 (2006)
- 20) M.Wagner, et al., "Towards an RTP Profile for IPTV," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.55, no.2, pp.343-352 (2009)
- 21) W.-F.Poon, et al., "A Hybrid Delivery Strategy for a Video-on-Demand System With Customer Reneging Behavior," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.48, no.2, pp.140-150 (2002)
- 22) S.Aoki, et al., "Content Download Application over the Advanced Satellite Broadcasting System," NAB Broadcast Engineering Conference, pp.193-201 (2009)
- 23) P. Siebert, "Hybrid Broadband/Broadcast Systems and Set-top Boxes," IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (2008)
- 24) B.-D. Lee, "Provisioning of Rich Media Experiences for Hybrid Mobile Broadcast Services," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.55, issue 3, pp.1113-1120 (2009)
- 25) A. Gil, et al., "Personalized Multimedia Touristic Services for Hybrid Broadcast/Broadband Mobile Receivers," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 56, issue 1, pp.211-219 (2010)
- 26) C. Heuck, "An Analytical Approach for Performance Evaluation of Hybrid (Broadcast/Mobile) Networks," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.56, no.2, pp.9-18 (2010)
- 27) A. Bria, et al., "Cost-Based Resource Management for Filecasting Services in Hybrid DVB-H and 3G systems," IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems, pp.159-163 (2008)
- 28) Y. L. Songyu, et al., "A New Hybrid Delivery Scheme for Efficient Video-on-Demand Services," IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Processing (2005)
- 29) J. H. Oh, et al., "A New Broadcasting Technique for An Adaptive Hybrid Data Delivery in Wireless Mobile Network Environment," IEEE International Conference on Performance Computing and Communications (2000)
- 30) J. Cai, et al., "On a Cooperation of Broadcast Scheduling and Base Station Caching in the Hybrid Wireless Broadcast Environment," 7th International Conference on Mobile Data Management, pp.72-79 (2006)
- 31) A. Bria, "Future Hybrid Cellular-Broadcasting Systems for Multimedia Multicasting," International Conference on Wireless and Mobile Communications (2006)
- 32) H.T. Chiao, et al., "Hybrid Streaming Delivery over DVB-H Broadcast and WiMAX Mobile Networks," IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (2010)
- 33) S.Aoki, et al., "A New Transport Scheme for Hybrid Delivery of Content over Broadcast and Broadband," IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, mm11-11 (2011)
- 34) L. Chiariglione, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 Doc. N10853, "Presentations of MMT Workshop in London 2009" (2009)
- 35) L. Chiariglione, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 Doc. N11200, "Presentations of MMT Workshop in Kyoto 2010" (2010)
- 36) ISO/IEC JTC1/SC29/WG 11 Doc. N11539: "Call for Proposals on MPEG Media Transport (MMT)" (2010)
- 37) ISO/IEC JTC1/SC29/WG 11 Doc. N11541: "MPEG Media Transport (MMT) Context and Objective" (2010)
- 38) ISO/IEC JTC1/SC29/WG 11 Doc. N11542: "Use Cases for MPEG Media Transport (MMT)" (2010)
- 39) ISO/IEC JTC1/SC29/WG 11 Doc. N11540: "Requirements on MPEG Media Transport (MMT)" (2010)