

ハイブリッド型放送における メディアのトランスポート方式

青木秀一^{†1†2} 浜田浩行^{†1} 青木勝典^{†1} 相澤清晴^{†2}

本稿では、放送・通信で伝送する映像や音声などのメディアを柔軟に組み合わせることが可能なトランスポート方式を提案する。ハイブリッド型放送では、一对多の配信を効率的に行える放送と、一对一の配信を行える通信の両方を用いることで効果的なコンテンツ配信が実現できるが、このためには、メディアの組み合わせが可能なトランスポート方式が必要となる。実験システムを用いて、提案トランスポート方式により、放送と通信で伝送する映像および音声を組み合わせたコンテンツ配信が可能であることを検証する。また、提案方式のオーバーヘッドを、現在のデジタル放送で用いられる MPEG-2 TS のオーバーヘッドと比較し、提案方式が高効率であることを示す。

A Transport Scheme for Media Components on Hybrid Broadcast Systems

Shuichi Aoki^{†1†2}, Hiroyuki Hamada^{†1},
Katsunori Aoki^{†1}, and Kiyoharu Aizawa^{†2}

In this paper, we propose a new transport scheme for hybrid broadcast systems. Hybrid broadcast systems make effective content delivery possible by combining point-to-multipoint one-way delivery of broadcast channels and point-to-point bi-directional delivery of broadband networks. The proposed scheme enables flexible combination of media components on various delivery channels. We develop a prototype hybrid delivery system to evaluate the function of the proposed transport scheme. The results of evaluation demonstrate that the proposed scheme can flexibly combine media components to compose content. We also show the efficiency of the proposed scheme by comparing the overhead of the proposed scheme to that of MPEG-2 TS.

^{†1} NHK 放送技術研究所 Science and Technology Research Laboratories, NHK

^{†2} 東京大学 情報理工学系研究科 Information Science and Technology, The University of Tokyo

1. はじめに

放送のデジタル化、通信技術の発展により、高品質な映像コンテンツの伝送に放送と通信の両方を用いることができるようになった。放送は、多数の利用者に同時に安定してコンテンツを伝送できるが一方の伝送である。一方、通信は、双方向の伝送が可能であり要求に応じたコンテンツを伝送できるが、ネットワークに輻輳が発生することがある。異なる特徴を持つこれらの伝送路を組み合わせることで、より効果的なコンテンツ配信が可能になる。例えば、広範囲を俯瞰した映像を放送で伝送し、利用者が選択した局所的な映像を通信で伝送し、受信装置側で両者をあわせて表示するなどのサービスが考えられる。

これまで、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、放送と通信を用いる非リアルタイム系のアプリケーションが開発されている¹⁾。しかし、放送と通信を用いる、ストリーミングサービスのようなリアルタイム系のアプリケーションは多くなく^{2)~6)}、その用途に適したトランスポート方式は存在しないのが現状である。そこで本稿では、放送と通信を組み合わせて用いるハイブリッド型の放送において、ストリーミングサービスの実現に必要なトランスポート方式を提案し、実験システムを用いてその機能を検証する。

2. ハイブリッド型放送におけるトランスポート方式の要件

筆者らは、ハイブリッド型放送におけるトランスポート方式の要件を以下のように整理した。

1. 映像や音声などのコンポーネントを多重して伝送できること
2. 映像や音声などのコンポーネントを多重せず独立して伝送できること
3. 多重して伝送したコンポーネントや多重せず伝送したコンポーネントを組み合わせ、コンテンツを構成できること
4. コンポーネントとして、ストリームに加えファイルを伝送できること
5. パケットロスや伝送遅延ジッタなどの伝送品質低下に対する信頼性を確保できること
6. コンポーネントのパケット化などに伴うオーバーヘッドが小さいこと
7. コンテンツの構成情報など制御信号のオーバーヘッドが小さいこと

要件1は、現在と同様の、放送だけを用いるサービスあるいは通信だけを用いるサービスを想定し必要となる要件である。要件2と要件3は、映像や音声などのコンポーネントを組み合わせるための要件である。要件4は、すでにデータ放送が行われているように、アプリケーションや静止画などの任意のファイルをコンテンツの一部として利用するために必要となる要件である。また、要件5は、固定受信の放送ネットワークでは擬似エラーフリーの伝送が可能であるが、通信では、CDN (Content Delivery

Network)であってもパケットロスが起こることから必要となる要件である。さらに、放送は有限資源である電波を利用することから、要件6と要件7のように、コンポーネントのパケット化や制御信号のオーバーヘッドが可能な限り小さいことが必要となる。

3. 従来方式の課題

現在のデジタル放送では、映像や音声などを多重し伝送する仕組みとして MPEG-2 Systems⁷⁾に規定する Transport Stream (TS)を用いることが多い。一方、近年は、IP パケットを用いてコンテンツを伝送する IP 型のデジタル放送が多数開発され、送出システムや受信装置における放送と通信の処理の共通化が進んでいる。

北米の移動受信向けの放送方式である ATSC-M/H は、映像や音声の多重・伝送に MPEG-2 TS ではなく IP パケットを用いている。欧州で開発されたデジタル放送方式である DVB-T2 や DVB-S2 は、MPEG-2 TS に加え IP パケットの多重化方式を備える。日本では、携帯端末向けマルチメディア放送である ISDB-Tmm が、メディアの伝送に IP パケットを用い、IP パケットを MPEG-2 TS にカプセル化することで多重・伝送する方法を採用している。

そこで、ハイブリッド型放送において、MPEG-2 TS を用いる場合および IP パケットを用いる場合のそれぞれの課題をまとめる。

3.1 ハイブリッド型放送において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や音声のコンポーネントを、一つの TS に多重する必要がある。すなわち、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番組を構成する仕組みを持たない(図1)。また、番組の構成を記述する制御情報 (PSI)は、コンポーネントと同一の TS に多重する必要があるため、制御情報だけを通信から受信し、映像や音声のコンポーネントを放送から受信するなどの組み合わせは行えない。

さらに、MPEG-2 TS では、映像信号や音声信号のエンコーダに供給する STC およびその値を一定間隔でサンプルした値である PCR を用いて、メディアの復号時刻や表示時刻を指定し、コンポーネント間の同期を確保する。しかし、現在のコンテンツ送信システムは、一般に、エンコーダ間の STC を同期する仕組みを持たないため、同一

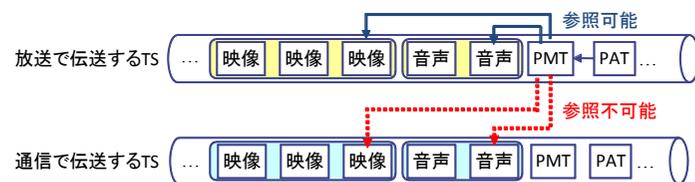


図1 MPEG-2 TS でのコンポーネントの組み合わせ



図2 ハイブリッド配信におけるSTCの混在

番組であっても放送局が異なれば STC が異なることがあり(図2)、放送で伝送するコンポーネントと通信で伝送するコンポーネントとの間で同期が確保できるシステムは限定される。

また、ファイルの伝送では、データカプセル伝送方式により伝送の信頼性を確保可能であるが、ストリーミング伝送については、伝送の信頼性を確保する仕組みを持たない。

3.2 ハイブリッド型放送においてIPパケットを用いる場合の課題

IP パケットを用いて映像や音声を送信する場合、トランスポートプロトコルとして RTP⁸⁾が広く用いられている。放送では、DVB-H や ATSC-M/H などが RTP を採用している。

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、現在の放送のように、映像や音声のコンポーネントを多重する機能を持たない。そのため、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 と同様に、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 はストリーミングのためのプロトコルであることから、ファイルを送信することはできず、ファイルを組み合わせる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 ヘッダ圧縮を効果的に行うことが困難になる。また、RTCP および SDP のオーバーヘッドが大きいことも課題となる。

4. 提案するトランスポート方式

3章で整理したように、従来方式は2章に示したハイブリッド型放送の要件を満たさない。そこで、筆者らは、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)を提案する。

ATS を含むハイブリッド型放送のプロトコルスタックを図3に、また、映像や音声

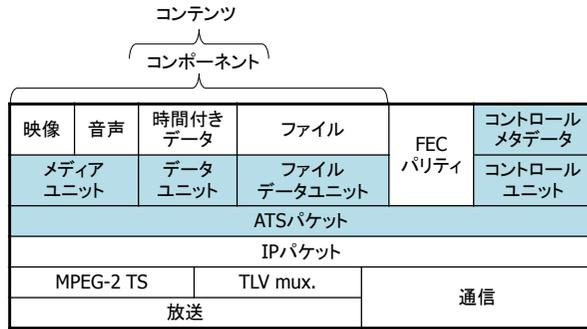


図3 ATSを含むハイブリッド型放送のプロトコルスタックのコンポーネント、ファイルデータ、コントロールメタデータをIPパケットとして出力するATSの処理概要を図4に示す。色を付けた機能がATSの範囲であり、色のない機能は既存方式を用いることを示している。また、ATSと従来方式の比較を表1に示す。

4.1 メディアユニット

符号化した映像信号や音声信号は、アクセスユニット(AU)の単位でメディアユニッ

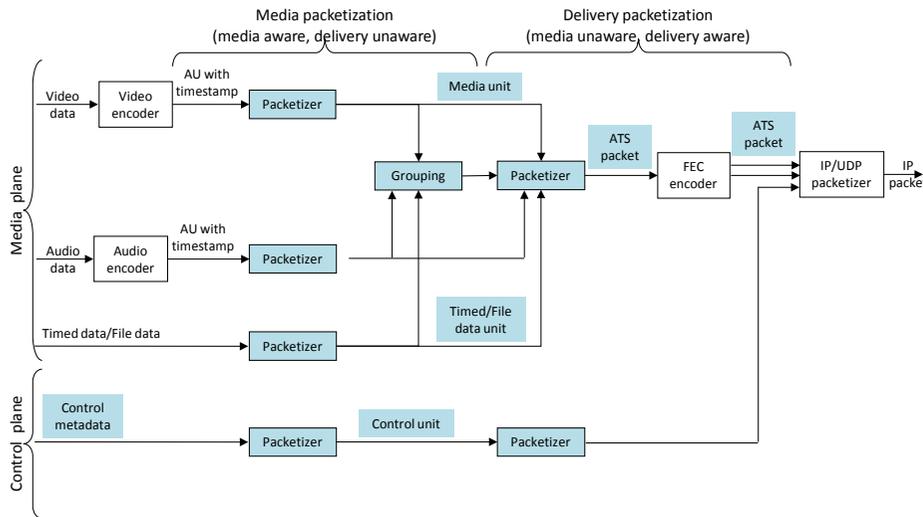


図4 ATSの処理概要

表1 ATS, MPEG-2 TS, RTPの比較

項目	ATS	MPEG-2 TS	RTP
異種ネットワークのコンポーネントの組み合わせ	○	×	○
異種ネットワークのコンポーネント間の同期	○	△ (要STCの同期)	○
コンポーネントの多重機能	○	○	△(外付け)
メディアのタイムスタンプ	復号,合成,同期	復号,表示	表示
ファイルの伝送機能	○	○	×
伝送の信頼性確保	○	×	△(外付け)

トと呼ぶパケット形式にする。メディアユニットは、高精細映像によるAUサイズの増大を考慮し、最大1MBの可変長形式とした。

メディアユニットの構成の概要を図5に示す。MPEG-2 SystemsのPESでは、復号時刻(DTS)および再生時刻(PTS)の2種類のタイムスタンプを付加することが可能であったが、メディアユニットでは、任意のコンポーネント間での同期を確保するため、復号時刻に加え、合成時刻(DTS)および同期時刻(Ref)を付加することとした。同期時刻は、ATSのコンポーネントと同期を確保する際はUTCのタイムスタンプとし、MPEG-2 TSのコンポーネントと同期を確保する際はSTCのタイムスタンプとする。

最大3種類のタイムスタンプを付加することによるヘッダ量の増加を抑えるため、DTSには、連続するAUのDTSの差分を記述することとし、CTSには、当該AUにおけるDTSとの差分を記述することとした。また、Refは、すべてのAUに付加する必要はなく、ランダムアクセスポイントのAUに付加することで、メディアユニットのヘッダ量を抑えることができる。

さらに、欠損したAUの検出および特定、また、それらの補完を可能とするため、メディアユニットごとに識別子を設けた。放送で伝送したコンポーネントにおいて、特定のAUを差し替えたり、補完したりする用途を想定している。

4.2 ファイルデータユニット

任意のファイルを伝送する際は、ファイルデータユニットと呼ぶパケット形式を用

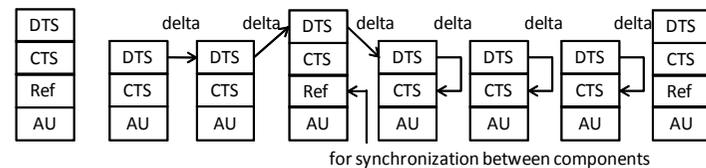


図5 メディアユニットの構成の概要

いる。これにより、ファイルをコンポーネントの一つとしてコンテンツの構成要素とすることが可能になる。

IP パケットを用いるファイル伝送方式として、高度広帯域衛星デジタル放送におけるファイル伝送方式が ARIB 標準として策定されている⁹⁾。このファイル伝送方式は、大容量ファイルを伝送可能な低オーバーヘッドの伝送方式である。そのため、ATS のファイルデータユニットの構成を、文献 9) の構成と同一とした。

ファイルを伝送する際は、ファイルを一定長の単位に分割する他、ファイルの識別情報やファイルの大きさなどを記述した伝送ファイル属性情報を生成する。これらをファイルデータユニットにカプセル化する。伝送ファイル属性情報は、XML 形式のテキストファイルであり、受信装置で、ファイルを復元するために必要な情報である。

4.3 スタートアップコントロールメタ

受信装置は、コンテンツの構成や必要なコンポーネントの取得先を示す情報を記載したスタートアップコントロールメタと呼ぶ制御情報を、コンテンツの受信に先立ち受信する。スタートアップコントロールメタの概念を図 6 に示す。

スタートアップコントロールメタでは、コンポーネントの取得先として、以下の 4 種類を指定可能とした。

1. スタートアップコントロールメタと同一の IP データフロー
2. IPv4 のデータフロー
3. IPv6 のデータフロー
4. 放送の MPEG-2 TS

1 のように、スタートアップコントロールメタと同一の IP データフローで伝送するコンポーネントを参照する方法は、MPEG-2 TS の PMT においてコンポーネントの PID を指定する方法と同様である。これに対し、スタートアップコントロールメタとは異なる IP データフローのコンポーネントや放送の MPEG-2 TS のコンポーネントを参照可能とすることで、柔軟なコンポーネントの組み合わせが可能となる。

スタートアップコントロールメタでは、この他、コンポーネント伝送時の AL-FEC を識別する情報やコンポーネントの選択に必要な情報を記述する。

4.4 ATS パケット

メディアユニット、ファイルデータユニットおよびコントロールメタは、伝送時に、

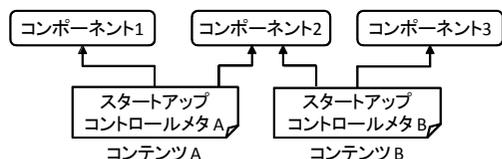


図 6 スタートアップコントロールメタの概念

伝送路の MTU の大きさに応じたサイズに分割し、ATS パケットと呼ぶパケット形式とする。ATS パケットは可変長のパケットであり、ペイロードの種類を示す識別子を、ATS パケットの先頭に配置することで、受信装置において、コントロールメタの分離を容易に行うことが可能である。

メディアユニットやファイルデータユニットを ATS パケットにカプセル化する際、ネットワークの伝送品質に応じ、AL-FEC による冗長データを生成することができる。冗長データを生成した ATS パケットには、冗長データのシーケンス番号を付加することで、受信装置における AL-FEC のブロックの構成が容易に行える。なお、AL-FEC の方式は ATS として特定せず、伝送するネットワーク品質、許容される遅延の増加、許容されるオーバーヘッドの増加などの要素を考慮し、適した方式を利用する。

4.5 Advanced PMT

通信のトランスポート方式を ATS とした場合、受信装置が ATS のスタートアップコントロールメタを受信することで、放送の MPEG-2 TS のコンポーネントをコンテンツの構成要素として取り入れることができる。これに対し、MPEG-2 TS を用いる現在の放送からは、通信で伝送するコンポーネントを参照できない。このため、MPEG-2 TS に多重する制御信号として、Advanced PMT と呼ぶ新たな制御信号が必要となる。

現在の PMT は、PMT と同一の TS に多重するコンポーネントおよび PCR を伝送する TS パケットの PID を指定できるが、Advanced PMT では、以下の指定を可能とした。

- 放送の MPEG-2 TS で伝送する PCR の PID
- 放送の MPEG-2 TS で伝送するコンポーネントの PID
- 通信で伝送する MPEG-2 TS のコンポーネントの PID
- ATS のコンポーネントの ID



図 7 放送に多重する Advanced PMT による、通信で伝送するコンポーネントの参照

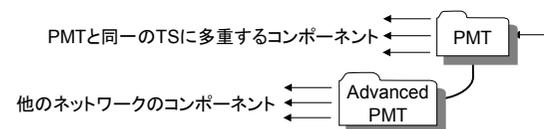


図 8 Advanced PMT の識別

これらの指定が可能であることにより、図7に示すように MPEG-2 TS を用いる現在の放送から、他のネットワークで伝送するコンポーネントを参照することが可能になる。

また、アプリケーションに依存せず、他のコンポーネントの参照を可能とするため、Advanced PMT をセクション形式の PSI/SI とし、Advanced PMT を伝送する TS パケットの PID を PMT にて指定することとした (図8)。これにより、既存の受信装置には影響を与えず、Advanced PMT に対応する受信装置だけが、他のネットワークで伝送するコンポーネントを参照できる。

5. 提案方式の機能検証

ATS を用いて、放送と通信で伝送する映像および音声のコンポーネントを組み合わせたコンテンツ配信が可能であることを検証するため、高度広帯域衛星デジタル放送の送受信機とネットワークエミュレータとを用いて実験システムを構築した。実験システムの構成を図9に示す。

実験システムにおいて、スタートアップコントロールメタ、映像および音声のコンポーネントを伝送し、ネットワークエミュレータにて表2に示す伝送品質低下を発生させ、映像と音声の再生出力を観測した。伝送した映像・音声信号のフォーマットを表3に示す。

検証した伝送路の組み合わせを表4に示す。組み合わせ1は、現在の放送と同じモ

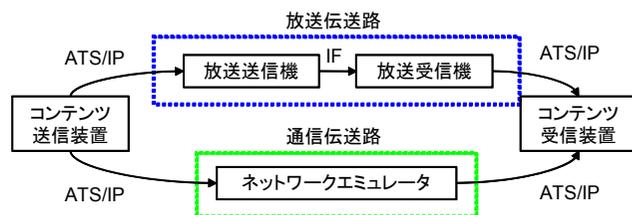


図9 実験システムの構成

表2 ネットワークエミュレータの設定

パケットロス率	1%
伝送遅延	50~100 ミリ秒

表3 伝送した映像・音声信号

映像	H.264/MPEG-4 AVC 13Mbps, 1920x1080/30/P
音声	MPEG-4 AAC 128kbps, 2CH

表4 伝送路の組み合わせ

	スタートアップ コントロールメタ	映像	音声
組み合わせ1	放送	放送	放送
組み合わせ2	通信	通信	通信
組み合わせ3	放送	放送	通信
組み合わせ4	放送	通信	放送
組み合わせ5	通信	放送	放送

デルであり、受信装置は、放送からスタートアップコントロールメタを受信し、その情報に従い、放送で伝送する映像と音声を受信する。組み合わせ2は、現在の IPTV と同じモデルである。組み合わせ3は、組み合わせ1で受信するコンテンツにおいて、音声を、通信で伝送する別の音声に差し替えたコンテンツである。組み合わせ4は、組み合わせ1で受信するコンテンツにおいて、映像を、通信で伝送する別の映像に差し替えたコンテンツである。組み合わせ5は、放送の番組を通信から視聴開始する組み合わせであり、ポータルサイトで番組を選択し、放送の映像や音声を受信する想定である。

実験システムを用いた検証の結果、いずれの組み合わせにおいても、コンテンツを構成する映像と音声を正しく受信することが確認できた。また、表2に示した伝送品質低下が、コンテンツ受信装置における映像信号や音声信号の復号に影響しないことが確認できた。

6. オーバヘッドの比較

放送で用いるトランスポート方式は、コンポーネントのパケット化や制御信号のオーバヘッドが可能な限り小さいことが必要である。

そこで、ATS のパケット化に要するオーバヘッドを、現在のデジタル放送で用いられているトランスポート方式である MPEG-2 TS のオーバヘッドと比較する。

符号	符号
メディアユニット	PES
ATS/パケット	
IP/パケット	TS/パケット
TLV/パケット	
伝送路符号化	伝送路符号化

(a) ATS

(b) MPEG-2 TS

図10 符号のパケット化の概要

表 5 オーバヘッドの割合 (%)

コンポーネント	ATS (MTU)			MPEG-2 TS
	1,352	4,040	6,152	
MPEG-4 AAC 128kbps (2ch)	7.3	7.3	7.3	9.9
MPEG-4 AVC 5Mbps (720x480/30/P)	0.96	0.39	0.30	2.7
MPEG-4 AVC 13Mbps (1920x1080/30/P)	0.59	0.32	0.22	2.5
MPEG-4 AVC 30Mbps (3840x2160/30/P)	0.87	0.29	0.20	2.5

ATS におけるオーバヘッドは、メディアユニットヘッダ、ATS ヘッダ、IP/UDP ヘッダおよび TLV ヘッダの合計とした(図 10a)。また、MPEG-2 TS におけるオーバヘッドは、PES ヘッダ、TS ヘッダおよびアダプテーションの合計とした(図 10b)。それぞれのオーバヘッドの、符号に対する割合を表 5 に示す。ATS では、3 種類の MTU に応じたオーバヘッドの割合を示した。

表 5 から、いずれのコンポーネントにおいても、ATS のオーバヘッドが MPEG-2 TS と比較し小さいことが確認できる。

次に、ATS の制御信号のオーバヘッドを、MPEG-2 TS の PSI のオーバヘッドと比較する。MPEG-2 TS では、受信装置は PAT を最初に受信し、PAT の記述に従い PMT を受信し、番組を構成するコンポーネントの PID を特定する。一方、ATS では、コンポーネントを受信するため、スタートアップコントロールメタを最初に取得する必要がある。そこで、PAT および PMT と、スタートアップコントロールメタの大きさを比較した。比較結果を表 6 に示す。

PAT の大きさは、PMT の PID を一つ記述する場合 20 バイトとなり、188 バイトの TS パケットにパケット化される。また、PMT の大きさは、2 つの PID を記述する場合 26 バイトとなるが、これも 188 バイトの TS パケットにパケット化される。すなわち、PAT および PMT の伝送時の大きさは 376 バイトとなる。

一方、スタートアップコントロールメタは、スタートアップコントロールメタと映像および音声のコンポーネントとを同一の IP データフローに多重する場合、その大きさは 43 バイトとなる。伝送時の大きさは、IP ヘッダ圧縮の状態に応じて異なるが、54 バイトから 99 バイトとなる。

PAT および PMT、あるいはスタートアップコントロールメタの多重頻度は、コンテンツの受信を開始する際の遅延に大きく影響し、一定の遅延に抑えるためには高頻度で多重する必要がある。表 6 に示したように、ATS のスタートアップコントロールメタは、MPEG-2 TS の PAT および PMT と比較し十分に小さく、多重時のオーバヘッド

表 6 ATS と MPEG-2 TS の制御信号の大きさの比較

ATS	54~99 バイト
MPEG-2 TS	376 バイト

が抑えられることが分かる。

以上の結果から、MPEG-2 TS と比較し、ATS のオーバヘッドが小さく、効率的なトランスポート方式であることが確認できた。

7. まとめ

本稿では、放送と通信の両方を用いるハイブリッド型の放送において、それぞれの伝送路で伝送する映像や音声のコンポーネントを柔軟に組み合わせたコンテンツの構成が可能となる新たなトランスポート方式である Advanced Transport Scheme (ATS) を提案した。実験システムを用いて、ATS により、放送と通信で伝送する映像および音声を組み合わせるコンテンツの配信が可能であることを検証した。また、ATS のパケット化および制御信号のオーバヘッドを MPEG-2 TS と比較し、効率的であることを確認した。

今後、提案方式の機能検証をさらに進めるとともに、コンポーネントの切り替えなどに必要となる制御信号を検討する予定である。

参考文献

- 1) Shuichi Aoki, Katsunori Aoki, Kiyohiko Ishikawa, Hiroyuki Imaizumi, and Takeshi Kimura, "Content Download Application over the Advanced Satellite Broadcasting System", NAB Broadcast Engineering Conference, pp.193-201 (2009)
- 2) Alexander Adolf, "DVB Work on Multimedia Transport", 第 91 回 MPEG 京都例会 MMT ワークショップ (2010)
- 3) Shuichi Aoki, Katsunori Aoki, Keigo Majima, and Hiroyuki Hamada, "Consideration of a transport mechanism on broadcasting from the viewpoint of emerging hybrid content delivery systems", 第 91 回 MPEG 京都例会 MMT ワークショップ (2010)
- 4) Thomas Schierl, Karsten Grüneberg, and Thomas Wiegand, "Scalable video coding over RTP and MPEG-2 Transport Stream in Broadcast and IPTV channels," IEEE Wireless Communications, October 2009, pp.64-71 (2009)
- 5) Christoph Heuck, "An Analytical Approach for Performance Evaluation of Hybrid (Broadcast/Mobile) Networks," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.56, no.2, pp.9-18 (2010)
- 6) Peter Siebert, "Hybrid Broadband/Broadcast Systems and Set-top Boxes," IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (2008)
- 7) ITU-T Recommendation H.222.0|ISO/IEC 13818-1, Information Technology-Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems (2006)
- 8) "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", IETF RFC 3550 (2003)
- 9) 電波産業会: "高度広帯域衛星デジタル放送におけるダウンロード方式", ARIB STD-B45 (2010)