

MMT における MPEG-2 TS コンテンツ多重方式の検討

河村侑輝^{†1} 青木秀一^{†1} 大槻一博^{†1} 土田健一^{†1} 木村武史^{†1}

1995年に国際標準化された MPEG-2 TS (Transport Stream)は、各国のデジタルテレビ放送に採用されるなど映像・音声メディアの多重化方式として広く普及した。さらに、インターネットの普及とともに IP 伝送路の高速化・低コスト化が進み、RTP (Real-time Transport Protocol)を用いて TS 信号を IP 伝送する TS over IP が IPTV サービスや素材伝送を中心に用いられている。一方、複数伝送路によるハイブリッド伝送など TS では限界のある高度な放送通信連携サービスの実現を目指す MPEG-H MMT (MPEG Media Transport)の標準化が行われ、2013年11月に FDIS (Final Draft International Standard) が発行された。本稿では、ハイブリッド伝送など MMT の特徴を活用可能な TS 形式コンテンツの多重方式である TS over MMT を提案し、次世代放送サービスにおけるレガシーメディア活用の可能性を示す。

A Study on Multiplexing Scheme for MPEG-2 TS Content over MMT

YUKI KAWAMURA^{†1} SHUICHI AOKI^{†1} KAZUHIRO OTSUKI^{†1}
 KENICHI TSUCHIDA^{†1} TAKESHI KIMURA^{†1}

In this paper, we propose “TS over MMT”, which is a multiplexing scheme for MPEG-2 TS (Transport Stream) content over MPEG-H MMT (MPEG Media Transport), and demonstrate the potential for utilization of legacy media in next-generation broadcasting services. TS has been widely adopted in various applications including digital television broadcasting all over the world since it was internationally standardized in 1995. Furthermore, it is utilized as “TS over IP” with RTP (Real-time Transport Protocol) in IP applications such as IPTV and IP delivery of video materials for content production. On the other hand, MPEG published the final draft international standard of MMT in November 2013. MMT can realize hybrid delivery of content which is more suitable for heterogeneous environment.

1. はじめに

1995年に国際標準化された多重化方式である MPEG-2 TS (Transport Stream)[1]は、各国のデジタルテレビ放送や Blu-ray Disc など、放送・通信・蓄積を問わず数多くのアプリケーションに採用されている。IP (Internet Protocol)伝送路の普及、高速化、低コスト化とともに TS 信号の IP 伝送への要求が高まり、IPTV サービスや放送局などで用いられる素材伝送では RTP (Real-time Transport Protocol)を用いた TS over IP が普及している。

一方、8K SHV (Super Hi-Vision)放送をはじめとした次世代放送サービスの実用化に向け、新たな多重化方式の標準化が進められている。次世代放送サービスでは、超高精細映像の伝送に加え、放送・通信が高度に連携したサービスの実現が求められている。筆者らは、複数伝送路を用いたハイブリッド伝送を前提とした多重化方式である MPEG-H MMT (MPEG Media Transport)[2]の国際標準化に取り組み、SHV 衛星放送方式への導入を提案している[3]。

MMT は TS と同等の多重化機能を持つ上に IP 伝送を前提に設計されているため、これまで TS over IP が用いられてきたアプリケーションにおいて MMT の採用が進むと考えられる。しかし、TS 形式で蓄積されたコンテンツ資産や TS 信号を入出力とする符号化器や復号器などの映像処理

装置が数多く流通している現状を見ると、レガシーメディアとしての TS が今後も共存していく可能性が高い。MMT を用いた次世代放送サービスにおいて、これらのレガシーメディアをサービスの一部としてどのように活用できるかが課題の一つとなっている。レガシーメディア活用を考慮した MMT サービスのレイヤモデルを図 1 に示す。

本稿では、ハイブリッド伝送など MMT の特徴を活用可能な TS 形式コンテンツの多重方式である TS over MMT を提案し、次世代放送サービスにおけるレガシーメディア活用の可能性を示す。

2. TS と MMT の概要

TS の標準化からおおよそ 20 年、当時の予想を上回る勢いで伝送路、コンテンツ、デバイスの多様化が進み、TS は標準化当時に想定された適用範囲を超えて利用されている。一方、MMT は現在、そしてこれからの伝送路環境やコンテンツに相応しい多重化方式として標準化された。TS と



図 1 レガシーメディア活用を考慮した MMT サービスのレイヤモデル

Figure 1 Layer model of MMT service utilizing legacy media.

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

MMT における主要項目の比較を
 表 1 に示す。

以下では、TS over IP および
 HTTP (HyperText Transfer Protocol)
 ストリーミングにおける TS の利
 用について説明した後、MMT に
 よって実現されるハイブリッド伝
 送の概要を述べる。

2.1 TS over IP

TS は ATM 伝送路をターゲットに設計されたが、現在で
 は IP 伝送路を用いた TS over IP がより一般的である。TS
 over IP ではアプリケーション層の protocols として RTP
 が標準的に用いられる。RTP パケットに対する TS パケッ
 トのカプセル化は IETF RFC 2250[4]に規定され、それを参
 照する形でいくつかの標準規格が策定されている。素材伝
 送規格としては SMPTE 2022-2[5], IPTV 規格としては
 DVB-IPTV[6]や IPTV FJ STD-0004[7]などがある。TS over IP
 における TS パケットのカプセル化と誤り訂正の概要を以
 下に示す。

(1) TS パケットのカプセル化

図 2 に示すように、IP 伝送路の MTU に収まるように TS
 パケット列を単純分割して順次 IP パケットに格納する。物
 理層に Ethernet が用いられる場合、MTU は 1500 バイトが
 標準であり、最大 7 個の TS パケットを 1 個の RTP パケッ
 トに格納できる。RTP パケットのヘッダ部にはシーケンス
 ナンバーが付与され、受信したパケットのリオーダーやパ
 ケットロスの検出に利用できる。

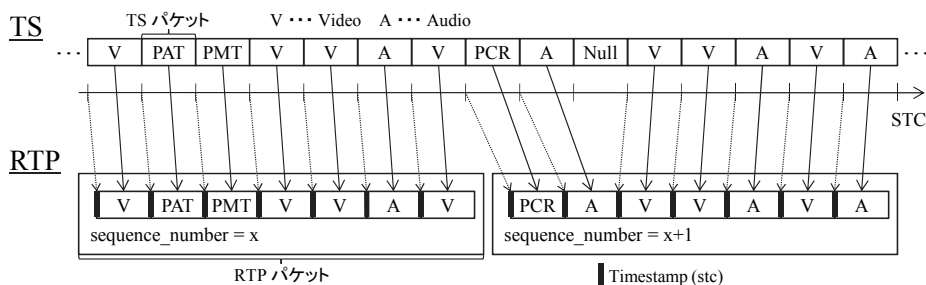


図 2 RTP パケットに対する TS パケットのカプセル化の例
 Figure 2 Example of encapsulation of TS packet to RTP packet.

RFC 2250 には規定されないが、伝送データの削減を目的
 に有効なデータを持たないヌル TS パケットを送信側で削
 除する実装もある。この場合、受信データを元通りの TS
 信号として再生するため、全ての TS パケットに 32 ビット
 のタイムスタンプが付与される。

(2) 誤り訂正

伝送路の性質と必要なサービス品質に応じて、誤り訂正
 が実装される。伝送路上でロスしたパケットの復元を可能
 とする AL-FEC (Application Layer-Forward Error Correction)
 アルゴリズムとして Pro-MPEG CoP3r2[8]に規定される方
 式の採用例が多い。Pro-MPEG FEC では、複数 RTP パケッ
 トの排他的論理和によってリペアパケットが生成される。
 また、双方向伝送路の場合には RTCP (RTP Control Protocol)
 によるパケットロス通知を用いることで、FEC で復元不可
 能となったパケットの再送を行う ARQ (Automatic Repeat
 reQuest)の実装が可能である。

IP 伝送に適した多重化方式が存在しない中、既存方式を
 組み合わせる実装と普及が進んだ経緯から、多重機能は TS、

表 1 TS と MMT における主要項目の比較
 Table 1 Comparison of TS with MMT.

	TS	MMT
パケットのサイズ	ATM (Asynchronous Transfer Mode)伝送路をターゲットに設計された188バイトの固定長パケット。	IP伝送路のデータリンク層のMTU (Maximum Transfer Unit)に応じて分割される可変長パケット。
メディア符号データの扱い	ピクチャ、スライスなどのアクセスユニットの符号データをPES (Packetized Elementary Stream)としてカプセル化した後、TSパケットに分割して多重化。	映像のGOP (Group of Picture)などランダムアクセスポイントを区切りとするアクセスユニットの集合をMPU (Media Processing Unit)、1個のアクセスユニットをMFU (Media Fragment Unit)とし、MFUを伝送路のMTUに応じて分割してMMTP (MMT Protocol)パケットに格納。
制御情報 (シグナリング)	多重化されたプログラムを識別するPAT (Program Association Table)、プログラムを構成するコンポーネントを伝送するTSパケットIDを記述するPMT (Program Map Table)などからなるPSI (Program Specific Information)。	TSのプログラム、コンポーネントに相当する用語としてMMTではパッケージ、アセットを使用。パッケージを構成するアセット情報を記述するMPT (MMT Package Table)などの制御情報テーブルをPA (Package Access)メッセージのMMTPパケットとして伝送。アセットのロケーションを記述するgeneral_location_infoにはMMTパケットIDの他、異なるIPフローやURL (Uniform Resource Locator)を記述可能。
時間同期	符号化器と復号器が27 MHzのSTC (System Time Clock)を持ち、そのサンプル値をPCR (Program Clock Reference)として伝送することで復号器が符号化器に同期。	符号化器、復号器それぞれがUTC (Coordinated Universal Time)に同期。
メディアプレゼンテーション	アクセスユニットのプレゼンテーションタイムスタンプをSTCのサンプル値で与え、PESヘッダに記述して符号データとともに伝送。	MPU先頭のアクセスユニットのプレゼンテーションタイムスタンプをUTC時刻形式で与え、MPT内のMPUタイムスタンプ記述子に記述し、PAメッセージで伝送。

伝送機能は RTP が担う形で役割が明確に分かれている。1 個の RTP パケット内に複数のコンポーネントや制御情報が混在しているため、伝送機能からは TS 信号内における GOP やアクセスユニットの切れ目位置を認識できない。

TS over IP は伝送とコンテンツを分離したいアプリケーションにおいては有効なソリューションであるが、次世代放送サービスで求められるハイブリッド伝送などの実現においては機能的な限界がある。MMT を用いた次世代放送サービスにおいて今後レガシーメディアとなる TS を活用するためには、TS over IP に代わる新たな伝送方式の実現が課題となる。

2.2 HTTP ストリーミングにおける TS の利用

近年、HTTP を用いた映像コンテンツのストリーミング配信が注目されている。Apple 社の HLS (HTTP Live Streaming) や Microsoft 社の Smooth Streaming などのベンダー規格が先行し、それらの技術を持ち寄る形で MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)[9] が策定された。これらの方式では、数秒単位に分割したストリームファイルであるセグメントを Web サーバ上に置き、受信機はプレイリストに記述された URL を参照してこれら連続的に取得し再生する。HLS ではストリーム形式として TS を採用しており、DASH でも TS を対象とするプロファイルを規定している。セグメント化された TS は、初期化情報として必要な TS 制御情報とランダムアクセスポイントのアクセスユニットを先頭にもつため、任意のセグメントからの再生開始が可能である。配信システムで利用する符号化器は、これらの規則に従ったストリームファイルを出力する様に実装されている必要がある。

2.3 MMT によるハイブリッド伝送

MMT の最大の特徴は、映像、音声、字幕、データなどの多様なアセットを複数の伝送路を用いて伝送するハイブリッド伝送にある。ハイブリッド伝送の機能要素として、以下の 5 点を挙げる。

(1) アセット単位での伝送路割り当て

MMT パケット ID によってアセットや制御情報のフローを分離でき、MMT 多重装置で MMT パケット ID に基づいたルーティングが行われる。

(2) シームレスな伝送路切り替え

伝送路の状態に応じた動的な伝送路切り替えの要求に対し、ランダムアクセスポイントの位置を考慮したシームレスな伝送路切り替えを実現できる。あるアセットの伝送路を放送から通信に切り替えるという送信側の操作に加え、同種のアセットについて放送伝送される高階層アセットから通信伝送される低階層アセットへ切り替えるという受信側の操作がある。

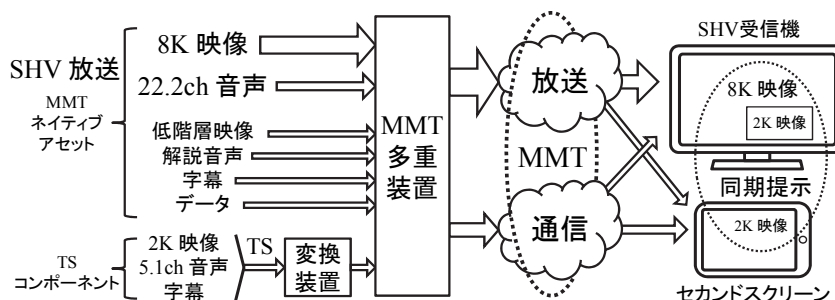


図 3 TS over MMT を用いた放送サービス例
 Figure 3 Example of broadcasting service using TS over MMT.

(3) UTC 時刻に同期したメディアプレゼンテーション

UTC 形式で統一されたプレゼンテーションタイムスタンプが付与されることで、異なる MMT 多重装置から送出されたアセット間や、異なる受信機間においても正確に同期したメディアプレゼンテーションが可能である。

(4) アセットの表示レイアウト指定 (ARIB で検討中)

レイアウト設定テーブルと MPU 提示領域指定記述子の伝送により、メインディスプレイとセカンドディスプレイ上におけるアセットの提示位置を指定することができる。

(5) アセットの重要度に応じた誤り訂正

MMT に規定される AL-FEC フレームワークでは、アセットの重要度や割り当てられた伝送路の性質に応じて、適用する FEC アルゴリズムやそのパラメータを設定することができる。

3. TS over MMT の提案

図 3 に示す様に、8K 映像、22.2ch 音声などの MMT ネイティブなアセットに加え、付加サービスとして TS 形式で多重されて供給される TS コンポーネントを MMT に多重して伝送する。MMT 標準規格では、TS などレガシーメディアの伝送方法について規定されていないため、図 3 中の「変換装置」に実装する TS パケットのカプセル化とシグナリングを新たに規定する必要がある。TS over MMT によって多重される TS コンポーネントについてもハイブリッド伝送を始めとした MMT の特徴を活用可能とするため、MMT 多重装置でのルーティングや誤り訂正の適用において MMT ネイティブアセットと区別なく扱う事ができるような TS パケットのカプセル化とシグナリングを採用する。

以下では、TS over MMT における TS コンポーネントの復号方法、TS 標準規格とのパフォーマンスの考え方について述べた後、提案方式である TS パケットのカプセル化とシグナリングについて説明する。

3.1 TS コンポーネントの復号方法

今後市販される SHV 受信機には、現行 2K 放送との互換機能として 2K 解像度対応の復号器が実装されると考えられる。また、セカンドディスプレイとして用いるタブレット端末やスマートフォンなどのモバイル向けチップセットには、ハードウェアアクセラレーション機能として 2K 解

像度対応の復号器が実装されているものが多い。これらの復号器は、TS 分離機能と映像・音声の復号器をワンパッケージに集積化し、TS 信号入力を前提とした LSI として実装されることが多く、処理性能とインタフェースの観点においてレガシーメディアの復号に適していると考えられる。

図 4 に、TS over MMT に対応する SHV 受信機に実装されるメディアプロセッサのブロック図の一例を示す。MMT 分離部の後段に、8K HEVC (High Efficiency Video Coding) 復号器 LSI, 22.2ch AAC (Advanced Audio Codec) 復号器 LSI, 2K 現行放送互換機能である TS 入力復号器 LSI が並列に配置される。MMT 分離部は、8K HECV 復号器 LSI への NAL (Network Abstraction Layer) ストリーム出力, 22.2ch AAC 復号器 LSI への LATM (Low Overhead MPEG-4 Audio Transport) ストリーム出力に並ぶ出力として、TS 入力復号器 LSI へのシリアル信号出力を有する。TS 入力復号器 LSI は、TS 分離部と 2K 映像 (MPEG-2 Video, H.264) 復号器, 5.1ch AAC 復号器を集積化した LSI である。

3.2 TS 標準規格とのコンフォーマンスの考え方

TS 標準規格では、仮想デコーダモデルによるバッファ管理や PCR の送出周期, 許容ジッタなどが細かく規定されている。しかし、これらは標準化当時において現実的だったハードウェアプロセス, メモリなどのリソースコスト, ATM の様な均一な伝送路環境を基に規定されており、必ずしも現状に即していない。現在の TS 入力復号器の実装では、IP 伝送路上で実際に発生し得る遅延やジッタに対する堅牢性を確保するため、標準規格範囲外の信号であっても問題なく処理できるものが多い。

TS over MMT では、MMTP パケットに対する TS パケットのカプセル化方式を規定するが、受信機が受信した TS パケットをどのようにシリアル信号として再生し TS 入力

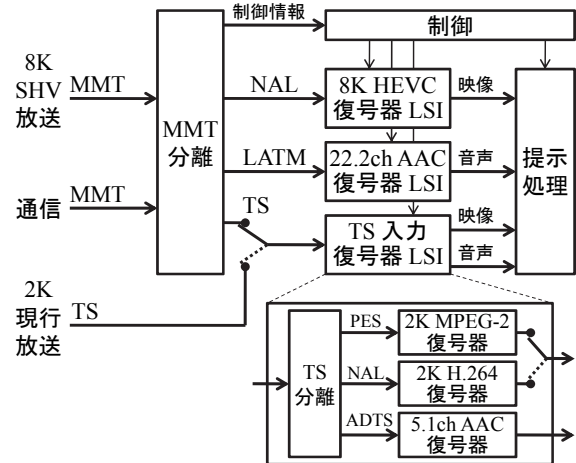


図 4 TS over MMT 対応 SHV 放送受信機におけるメディアプロセッサのブロック図の一例

Figure 4 Possible internal architecture of media processor on SHV broadcasting receiver supporting TS over MMT.

復号器へ入力させるかについては、個々の受信機の実装要件として委ねることを基本とする。特に、受信機内に実装された MMT 分離部と TS 入力復号器間の内部配線においては、対象となる TS 入力復号器のコンフォーマンス要求に応じて、必ずしも標準規格準拠ではない“TS ライク”なシリアル信号として再生し入力すれば良いと考えられる。

一方、受信機から DVB-ASI などの外部インタフェースにシリアル信号を出力し、不特定の復号器と接続する可能性がある場合には、標準準拠の TS 信号へ復元する必要があると考えられる。サービスとしてこのような外部信号出力を許可し、コンフォーマンスを担保する必要がある場合のため、標準規格に準拠した TS 信号としての再生を容易にするモードの選択を可能とする。

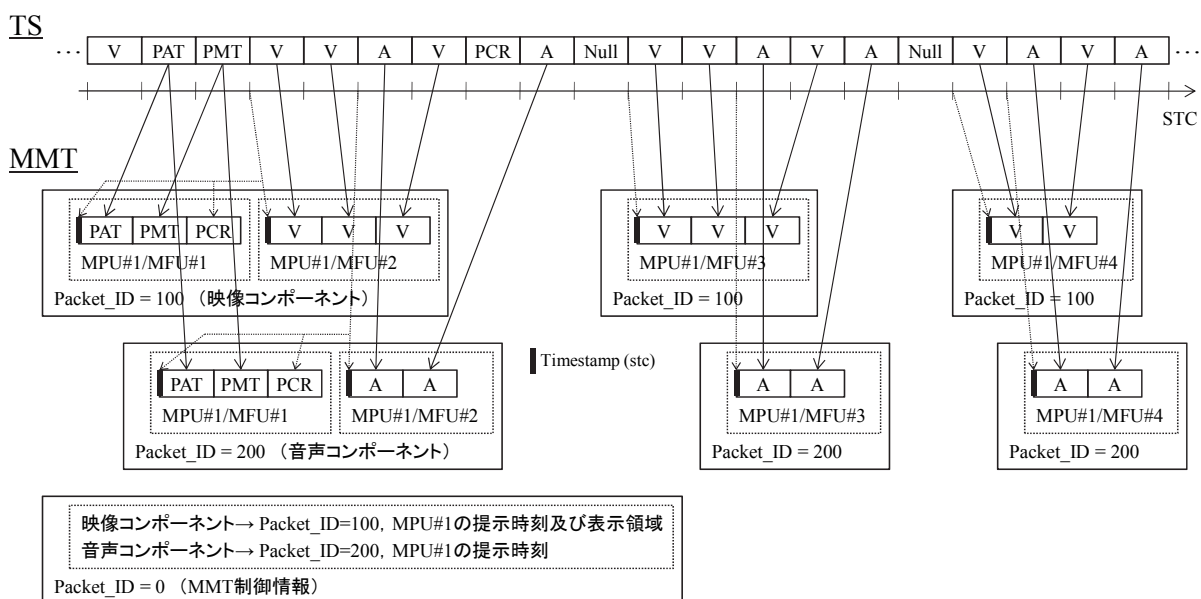


図 5 MMTP パケットに対する TS パケットのカプセル化の例
 Figure 5 Example of encapsulation of TS packets to MMTP packet.

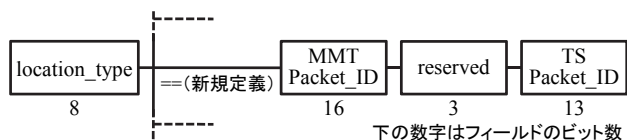


図 6 TS over MMT で伝送される TS コンポーネントの general_location_info 記述

Figure 6 Syntax of general_location_info for TS components multiplexed over MMT.

3.3 TS パケットのカプセル化

MMT で導入された MPU, MFU の概念に従った TS パケットのカプセル化を行う。図 5 に示すように、TS 信号をコンポーネントごとの TS パケット列に分離し、アクセスユニット単位でカプセル化を行う。具体的には、PES を MFU と一対一に対応させ、MMT の定義通りに GOP などランダムアクセスポイントで区切られる MFU の集合を MPU とする。MMTP パケットには、コンポーネントごとに異なる MMT パケット ID を付与する。

なお、音声コンポーネントは 1 個のアクセスユニットを MPU とする事もできるが、オーバーヘッドの増加を考慮し、映像 GOP と同等の周期で MPU を構成する。

受信した TS パケット列をシリアル信号として再生するためのタイミング情報として、TS パケットに STC サンプル値のタイムスタンプを付与する。タイムスタンプの付与規則として以下の 2 つのモードを選択可能とする。

① MFU 先頭の TS パケットのみにタイムスタンプを付与

MFU 先頭以外の TS パケットの送出タイミング情報が失われるため、単純にシリアル信号として再生するとアクセスユニットの符号データがまとめて TS 入力復号器に入力される。TS 入力復号器の実装によっては、入力バッファのオーバーフローを防ぐために TS パケットの送出タイミングを平均化し、分散させる必要がある。

② 全ての TS パケットにタイムスタンプを付与

MFU 先頭以外の個々の TS パケットについても送出タイミング情報が保持され、元の TS 信号と同じタイミングで再生できる。

任意の MPU からの受信を可能にするため、MPU の先頭に初期化情報として必要な PAT, PMT, PCR などの TS 制御情報を与える必要がある。そこで、MPU 先頭にこれらの TS 制御情報の TS パケット列を 1 個の MFU として格納する。初期化情報として格納する PCR については、入力される TS 信号の PCR を参照して STC を再生し、MPU 先頭での STC サンプル値をもとに実際の PCR 格納位置との誤差を補正して生成する。PAT, PMT については、MPU 先頭時点で最新のを複製して格納する。PMT については、対象のコンポーネントを含むプログラムの PMT のみで良い。この他の初期化情報として、暗号化を用いている場合には CAT (Conditional Access Table), ECM (Entitlement Control

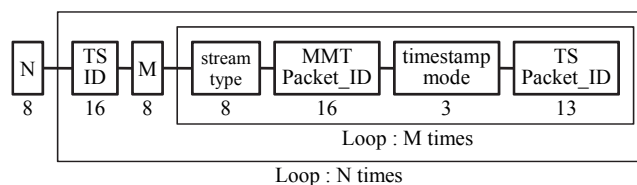


図 7 TS コンポーネントリストテーブル

Figure 7 TS component list table.

Message) など、MPU 先頭からの復号を始めるために必要な制御情報を加える必要がある。

なお、PCR の伝送方法については、以下の 2 つのモードから選択可能とする。

① MPU 先頭の初期化情報として生成した PCR のみを伝送する

一般的な GOP 周期が 0.5 秒程度であるため、PCR 送出周期が TS 標準規格に規定される 0.1 秒以下を満たさない。TS 入力復号器内部の STC を駆動する PLL (Phase Lock Loop) の安定性が高ければ問題はないと考えられるが、実際に 0.1 秒以下の頻度で補正を行わなければ不定値となる実装の場合には、受信機側で補間生成した PCR を挿入して TS 入力復号器に入力する必要がある。

② 入力 TS 内の PCR を全て残し、PES を格納する MFU 内にも PCR を格納して伝送する

PCR を残してもその送出タイミングが失われては意味がないため、全ての TS パケットに STC タイムスタンプを付与するモードを同時に選択する必要がある。

提案方式のカプセル化では、一つひとつの MPU が初期化情報として必要な TS 制御情報を先頭に持ち、ランダムアクセスポイントのアクセスユニットから開始する。これらの条件は HLS や DASH などに用いられるセグメント TS と同じであるが、提案方式のカプセル化は符号化器の実装に依存せず、任意の TS 信号に適用可能である。

3.4 制御情報 (シグナリング)

MMT パッケージのアセットとして TS コンポーネントを参照するため、図 6 に示すように general_location_info にコンポーネントを伝送する MMT パケット ID と TS パケット ID を記述する。このロケーションタイプは新たに規定する必要がある。

また、他のアセットとの同期提示を可能とするため、UTC 時刻での MPU のプレゼンテーションタイムスタンプを生成し、MMT タイムスタンプ記述子を用いて伝送する。加えて、表示領域指定記述子を伝送することで、表示領域の指定が可能となる。これらのシグナリングは、MMT ネットワークアセットの場合と同様である。

さらに、MMT に多重された TS の識別や、TS パケット ID と MMT パケット ID の対応検索を可能とするため、TS 識別子、コンポーネントの TS パケット ID、MMT パケット ID、タイムスタンプの付与モードの対応リストを図 7

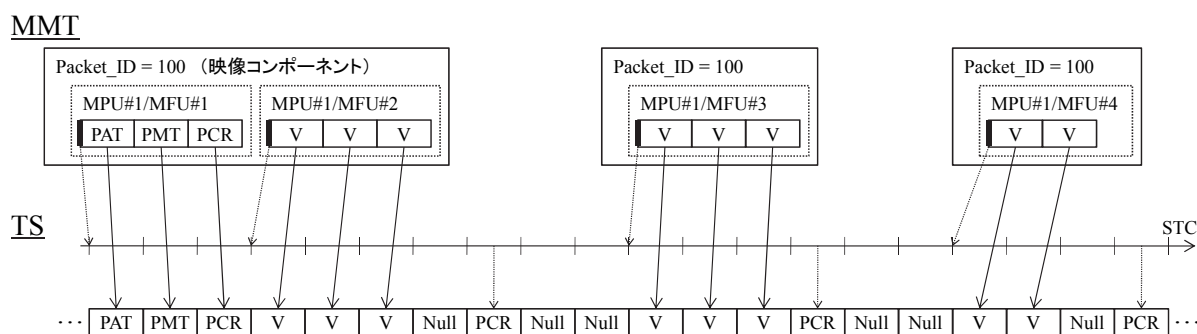


図 8 MMTP パケットから取り出した TS パケットのシリアル化の例
 Figure 8 Example of serialization of TS packets decapsulated from MMTP packet.

に示す TS コンポーネントリストテーブルに記述し、MMT 制御情報として伝送する。stream_type は TS 標準規格で規定される値を記述する。このテーブルの伝送は、必須ではない。

提案方式のカプセル化とシグナリングを行うことで、MMT 多重装置において TS over MMT によって多重される TS コンポーネントと MMT ネイティブアセットとを区別なく扱う事ができ、ハイブリッド伝送など MMT の特徴を最大限に活用する事が可能となる。

4. TS over MMT 受信

TS over MMT で伝送された TS パケットを TS 入力復号器へ入力するシリアル信号として再生する受信機内部処理について説明する。前述の通り、受信機の内部配線の場合、標準規格に準拠した TS 信号として復元することは必須ではなく、受信機に実装される個別の TS 入力復号器のコンFORMANCE要求に応じた信号となるように TS パケットを再生すればよい。ここでは、その一例を示す。

MMTP パケットから取り出した TS パケットのシリアル化の例を図 8 に示す。図 8 は、図 5 の例で伝送された映像コンポーネントを TS 入力復号器へ入力する場合の TS パケットのシリアル化を表している。また、TS 標準規格の通りに 0.1 秒以下の周期で PCR を入力しなければならない TS 入力復号器と仮定し、実際に伝送された PCR に加え、受信側で補間生成した PCR を挿入している。TS 入力復号器内部の STC が GOP 周期で伝送される PCR のみで安定動作するのであれば、補間 PCR の挿入は不要である。

TS パケットのシリアル化再生処理の実装例を図 9 に示す。MMT パケット ID によって所望のコンポーネントを指定し、必要な MMTP パケットを分離する。続いて、パケットのペイロード部を解析し、取り出した TS パケットを TS パケットバッファの末尾に追加する。伝送された PCR を元に再生される STC を参照し、TS パケットに付与したタイムスタンプに従って TS パケットバッファ内の TS パケットを送出する。点線で示した「PCR 補間」は、図 8 の様に

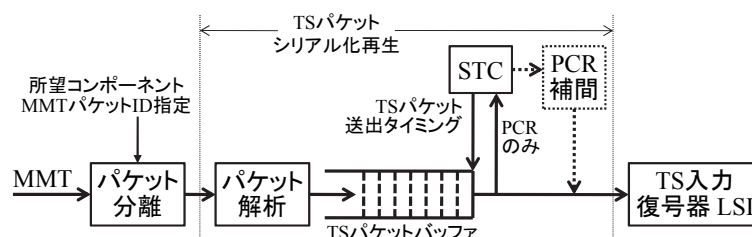


図 9 TS パケットのシリアル化再生処理の実装例
 Figure 9 Example implementation of serialization of TS packets.

STC を参照して補間生成した PCR を送出的場合に必要となる。送出すべき TS パケットがない期間は、TS 入力復号器に対してヌル TS パケットを送出する。

5. まとめ

本稿では、ハイブリッド伝送など MMT の特徴を活用可能な TS 形式コンテンツの多重方式である TS over MMT を提案した。TS 形式コンテンツなどレガシーメディアの活用にも考慮した次世代放送サービスの可能性について、今後も検討を続けていく。

参考文献

- 1) ISO/IEC 13818-1, "Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems" (1995).
- 2) ISO/IEC FDIS 23008-1, "High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments: MPEG media transport" (2013).
- 3) S. Aoki, K. Otsuki, and H. Hamada, "New Media Transport Technologies in Super Hi-Vision Broadcasting Systems", International Broadcasting Convention (2013).
- 4) IETF RFC 2250, "RTP Payload Format for MPEG1 / MPEG2 Video User Performance Requirements".
- 5) SMPTE 2022-2, "Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks" (2007).
- 6) ETSI TS 102 034 v1.4.1, "Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks" (2007).
- 7) IPTV フォーラム STD-0004 1.3 版, "IP 放送仕様" (2012).
- 8) Pro-MPEG Forum, "Pro-MPEG Code of Practice #3 release 2" (2004).
- 9) ISO/IEC 23009-1, "Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH): Media presentation description and segment formats" (2012).