

# MMTのAL-FEC符号化技術と通放連携サービスへの応用

## MMT AL-FEC Codes and Its Applications to Hybrid Broadband/Broadcast Services

仲地 孝之<sup>†</sup>  
Takayuki Nakachi

### 1. まえがき

ヘテロジニアス環境（様々な伝送路や端末）に対応するメディア伝送規格として、ISO/IEC MPEGのMMT (MPEG Media Transport) 標準化が完了した。MMTは、現行のMPEG-2 TSにはない様々な機能を有するとともに、AL-FEC (Application Layer Forward Error Correction) 方式の誤り訂正符号をサポートする。本稿ではNTTが提案したFF-LDGM符号を中心に、MMTのAL-FEC符号化技術と通放連携サービスへの応用について紹介する。

### 2.MMTの概要

MMTは、ISO/IEC MPEGのメディア符号化および伝送技術から成るMPEG-Hの伝送部分の規格を定める。MPEG-H Part1 [1]では、図1に示すように、MMTの1)カプセル化、2)配信プロトコル、3)制御メッセージを規定している。パケット長は可変であり、IP伝送と親和性が高く、映像・音・データなどの多重化も単一または複数に自由に設定できる。UTC (Coordinated Universal Time) ベースのタイムスタンプやMMTシグナリングによる制御メッセージにより、ハイブリッド配信など多種多様な機能を提供する。また、誤り訂正符号により伝送の信頼性を向上させている。

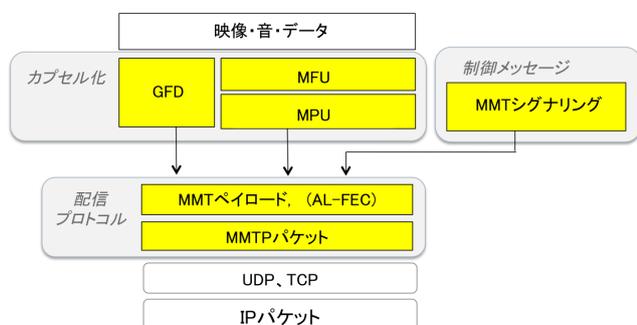


図1: MMTの基本構成

### 3.MMTの誤り訂正符号

MMTの誤り訂正符号は、MPEG-H Part1で基本フレームワークを定め、MPEG-H Part10 [2]でアルゴリズムを規定している。MPEG-H Part10では、さまざまな品質の伝送路でのパケットロスに対応するために、リードソロモン (RS) 符号や、従来方式の性能をNTTが大幅に改良したFF-LDGM (Low Density Generator Matrix) 符号など、表1に示す6つの誤り訂正符号を規定している。エラー回復特性、演算量の観点から一長一短があり、その特徴に応じて、ユーザは選択して利用する。

表1: MMT (MPEG-H Part10) が規定する誤り訂正符号

Code Point	誤り訂正符号
1	RS Code
2	S-LDPC
3	RaptorQ
4	RaptorQ LA
5	FF-LDGM
6	SMPTE 2022-1(Pro-MPEG)

FF-LDGM符号は、非常に軽い処理で低ビットレートから高ビットレートまで幅広く対応し、特に4K・8K品質の映像伝送で高いエラー回復特性を示す特徴がある。

#### 3.1.MMT FF-LDGM符号の概要

FF-LDGM符号はXORベースの2元および多元体に対応する線形符号であり、その符号Cはパリティ検査行列Hのnull spaceとして次式で定義される。多元体では、GF(256)上の原始多項式 $1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8$ を用いる。

$$C = \{w \in \mathbb{F}_q^n : Hw^t = 0\} \quad (1)$$

ここで、添え字nはブロック中のシンボル総数であり、wはk個のソースシンボルとm個のパリティシンボルから構成されるベクトル $w = [s | r]$ である。また、パリティ検査行列Hは階段行列Tと疎行列Gから次式で構成される。

$$H = [G_{m,k} | T_{m,m}] \quad (2)$$

ここで、添え字m, kはそれぞれ行数と列数であり、パリティシンボル数、ソースシンボル数に対応する。

#### 【符号化処理】

FF-LDGM符号の符号化処理は式(2)を式(1)に代入することで次式で行われる。

$$0 = [H_{m,n}] w^t = [G_{m,k}] s^t + [T_m] r^t \quad (3)$$

$$\therefore r^t = [T_m^{-1}] [G_{m,k}] s^t \quad (4)$$

上式より、FF-LDGM符号の符号化処理は疎行列とアキュムレータから構成することができ、一般的なLDPC符号等よりも演算量が少ない特徴がある。

#### 【復号処理】

FF-LDGM符号の復号処理は、式(3)を満たすことで行われる。MMTでは、復号のアルゴリズムは規定していないが、一般に線形方程式を満たす復号方法はメッセージパッシングアルゴリズム(MPA)とMLDとなるガウスの消去法(GE)による方法がある。MPAは演算コストが小さいが復号性能は高くなく、GEは演算コストが大きい復号性能が高い特徴がある。

<sup>†</sup>日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと研究所  
NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation

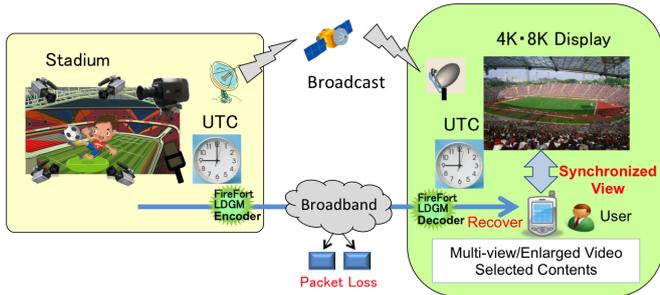


図 2: 通放連携サービスへの応用

### 3.2.MMT FF-LDGM 符号の特徴

IETF LDPC-Staircase 符号など従来の LDGM 符号に対して、以下の優れた特徴を有する。

#### (1) MPA に準最適化された行列

少ない演算で効率的に誤りを訂正する MPA に準最適化された疎行列を使用する。また、MPA および最尤復号 (MLD) の双方で優れた復号性能を引き出せるイレギュラー行列を用いることができる。疎行列は2つの任意の列重み  $N1, N2$  を使用できる。さらに、パンクチャー処理によるレート可変に対応している。

#### (2) 下位互換のサブパケット化とインタリーブ

一般にシンボル総数が少ない場合 ( $n < 1000$ ) は、誤り訂正能力が劣化する。FF-LDGM 符号はパケットをサブパケットへ分割することでシンボル数を増やし、誤り訂正能力を改善している。また、インタリーブを併用しバーストエラーへの耐性を向上させている。インタリーブはパリティ部のみに適用し、誤り訂正機能を持たない端末でもソース部は復号でき下位互換性を持たせている。

#### (3) 多元体拡張

IETF LDPC-Staircase 符号や2元 FF-LDGM 符号はエラーフロアが発生する問題や、短いブロック長に適用した場合に誤り訂正能力が低下する問題が指摘されている。多元体への拡張では、パリティ検査行列中の非ゼロ要素を多元体に拡張することでエラーフロアの発生回避や短い符号長での性能改善を達成している。

#### (4) 階層型 (Layer Aware) 構造

FF-LDGM 符号は、SHVC などの階層符号化データを効率的に保護する Layer-Aware 構造をサポートする。一般的に、階層符号化データに、誤り訂正符号を直接適用すると誤り訂正能力が低下する。FF-LDGM 符号は、高い誤り訂正能力を保持したまま、部分復号を可能とする。

FF-LDGM 符号の誤り訂正能力と演算量に関する性能評価については、文献 [3] を参照されたい。

## 4. 通放連携サービスへの応用

MMT の多機能性を利用したハイブリッド配信のユースケースとして、通放連携サービスについて紹介する。

### 4.1. 概要

図 2 に MPEG-H Part1 ならびに Part10 を利用した通放連携サービスへの応用例を示す。4K・8K 高精細コンテンツは放送で、個別ユーザの要求に応じたコンテンツは通信で伝送する。受信側では、異なる経路で伝送されてきた複数のコンテンツを UTC ベースのタイムスタンプ

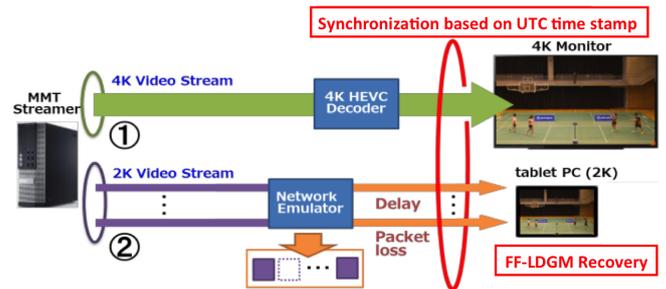


図 3: MMT を用いた 4K・2K 映像伝送システム

に基づき同期再生する。通信側で発生したロスパケットは、誤り訂正符号を用いてリアルタイム復号される。

### 4.2.4K・2K 映像伝送システムの実装と性能評価

通放連携サービスを念頭にして、図 3 に示す 4K・2K 映像伝送システムを構築した。表 2 には、性能評価で用いた主な諸元を示した。

4K 映像ストリームは、パケットロスが無い状態で 4K HEVC デコーダで受信され、4K モニタに出力される。2K 映像ストリームは複数のアセットとしてマルチキャストされ、NW エミュレータで伝送遅延とパケットロスが挿入された状態で、タブレット PC で受信する。受信側ではアセットの切り替えが可能となっている。4K・2K 映像の各アセットには映像の再生時刻である PTS (Presentation Time Stamp) が刻印され、指定した時刻に映像が再生されるようにした。性能評価の結果、4K 映像と FF-LDGM によるパケットロス回復で安定した 2K 映像との同期再生を確認した。アセットの切り替えには約 3 秒を要し、FF-LDGM 処理が無い場合は約 1 秒で完了した。

表 2: システム性能評価で用いた主な諸元

項目	パラメータなど
映像 CODEC	HEVC (High Efficiency Video Coding)
ビットレート	30Mbps(4K 映像)、8-12Mbps(2K 映像)
NW エミュレータ	遅延 300msec、パケットロス 1%-数%
アセット数	2 アセット (4K 映像×1・音声×1) 18 アセット (2K 映像×9・音声×9)
FF-LDGM	ソース/リペアシンボル数=1000/100

## 5. まとめ

本稿では FF-LDGM 符号を中心に、MMT の AL-FEC 符号化技術と通放連携サービスへの応用について紹介した。今後、MMT の普及により通放連携サービスの高度化が容易になると同時に、高信頼 IP 伝送により 4K・8K 映像のビジネス利用の拡大が期待される。

## 参考文献

- [1] ISO/IEC 23008-1, Information technology - High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - Part 1: MPEG media transport (MMT).
- [2] ISO/IEC DIS 23008-10, Information technology - High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - Part 10: MPEG media transport forward error correction codes (MMT FEC Codes).
- [3] 仲地他, "MMT FireFort-LDGM 符号と 8K スーパーハイビジョン伝送実験による性能評価", 第 30 回 信号処理シンポジウム, 2015 年 11 月.