

# 次世代メディア伝送規格 MMT の AL-FEC 技術 AL-FEC Codes for Next Generation MPEG Media Transport

仲地 孝之<sup>†</sup>  
Takayuki Nakachi

## 1. まえがき

ISO/IEC MPEG では、ヘテロジニアス環境（さまざまな伝送路や端末）に対応するメディア伝送規格として、MMT (MPEG Media Transport) の標準化を進めている。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もサポートしている。本稿では、NTT が提案した LDGM 符号を中心に、MMT の誤り訂正符号について紹介する。

## 2. MMT の概要

MMT は、MPEG の新しい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) メディアのカプセル化、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、音声・映像・ファイル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、多種多様な機能を提供する。また、誤り訂正符号によりパケットロスに対する伝送の信頼性を向上させている。

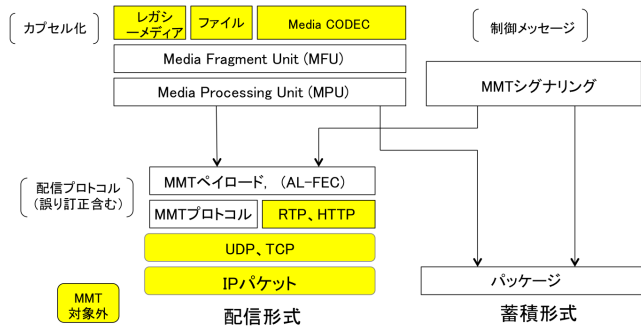


図 1: MMT の基本構成

## 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 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、

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	LDGM
6	SMPTE 2022-1(Pro-MPEG)

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。MMT 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 LDGM 符号の概要

MMT LDGM 符号は XOR ベースの 2 元線形符号であり、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。

$$C = \{ \mathbf{w} \in \mathbb{F}_2^n : H\mathbf{w}^t = 0 \} \quad (1)$$

ここで、添え字  $n$  はブロック中のシンボル総数であり、 $\mathbf{w}$  は  $k$  個のソースシンボル  $s$  と  $m$  個のパリティシンボル  $r$  から次式で構成される。

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{s} & \mathbf{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 & \dots & s_{k-1} & r_0 & \dots & r_{m-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

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。

$$H = \begin{bmatrix} G_{m,k} & T_{m,m} \end{bmatrix} \quad (3)$$

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】

LDGM 符号の符号化処理は、式 (2) 式 (3) を式 (1) に代入することで次式で行われる。

$$\begin{aligned} 0 &= \begin{bmatrix} H_{m,n} \end{bmatrix} \mathbf{w}^t \\ &= \begin{bmatrix} G_{m,k} \end{bmatrix} \mathbf{s}^t + \begin{bmatrix} T_m \end{bmatrix} \mathbf{r}^t \\ \therefore \mathbf{r}^t &= \begin{bmatrix} T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G \end{bmatrix} \mathbf{s}^t \end{aligned} \quad (4)$$

上式より、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】

LDGM 符号の復号処理は、式 (4) を満たすことで行わ

<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

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が復号性能が高い特徴がある。

### 3.2.MMT LDGM 符号の特徴

MMT LDGM 符号は、IETF の LDPC 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) 行列の生成

少ない演算で効率的に誤りを訂正する MPA に準最適化された行列を使用している。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すことができるイレギュラー行列を用いることができる。

また、疎行列  $G$  は 2 つの任意の列重み  $N1, N2$  を使用でき、2 つの列重みの比率もパラメータ  $R$  を用いて  $r/255$  として任意に変更できる。疎行列の生成には Progressive-Edge-Growth (PEG) アルゴリズムを用いる。しかし、PEG アルゴリズムでは行列作成の演算コストが問題になる場合がある。そのため、探索範囲  $L$  を指定して高速化をはかっている。また、パンクチャー処理によるレート可変に対応しており、1 つの行列の様々なレートへの適用が可能となっている。

#### (2) サブパケット化

一般に、1 シンボルは消失する単位 (e.g. IP パケット) に設定されるが、ブロック中のシンボル総数が少ない場合 ( $n < 1000$ ) は符号化効率が悪くなることから MMT LDGM 符号ではパケットを複数シンボルに分割するサブパケット化の方法がとられる。分割数  $D$  は 256 分割まで任意に設定することができる。

#### (3) 階層型 (Layer Aware) 構造

SVC などの階層符号化データを効率的に保護する Layer-Aware 構造をサポートしている。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、エラー回復特性が劣ることが知られている。階層型 LDGM 符号では、高いエラー回復特性を保持したまま、階層機能を実現できる。

### 3.3. 高効率低負荷な MMT LDGM 実装と評価 [3]

MMT では、誤り訂正符号の実装方法は規定していない。NTT では、高効率かつ低負荷な AL-FEC ソフトウェアライブラリ FireFort を開発した。以下に述べる各手法を適用の上、x86 系及び ARM 系 CPU の SIMD 拡張命令を用いることで、符号化特性向上と高速処理を実現した。

1. サブパケット化による符号特性の向上
2. 繰り返し MLD 法による符号特性向上と高速化 [4]
3. 選択的 PEG アルゴリズムの適用と高速化

FireFort ライブラリにて実装した MMT LDGM 符号 (FireFort-LDGM 符号) の性能を評価した。3GPP 技術報告書 TR26.947 に記載の測定方法に従い、第三者機関による性能測定を実施した。Android OS 上で 1.2GHz ARM CPU を 1 コア用い、3 通りのエラーモデルと 3 通りの符号ブロック長による計 9 通りのテストケースでの復号スループットを測定した。図 2 に測定結果を示す。また、図 3 はテストケース LS33 と同等の符号長

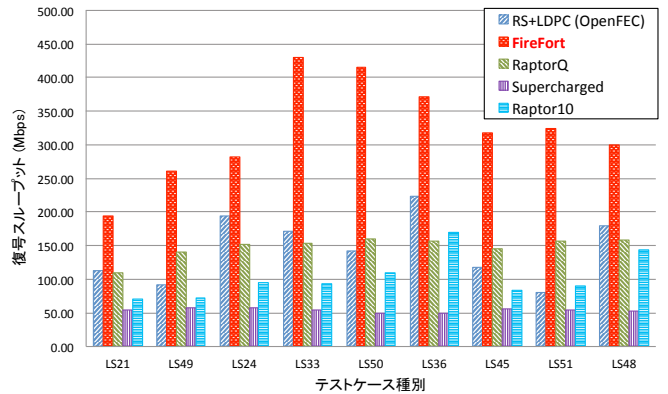


図 2: FireFort-LDGM 符号の復号演算量

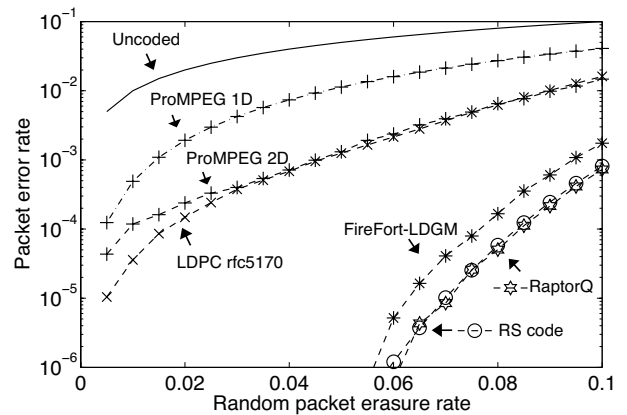


図 3: FireFort-LDGM 符号のエラー回復特性

( $n, k$ )=(100, 81) におけるエラー回復特性の比較であり、横軸がパケット消失確率、縦軸が復号後のパケット消失確率を示す。以上より、FireFort-LDGM 符号が RS 符号、RaptorQ に近い符号特性を保ちつつ、従来技術に対して 2 倍以上の復号速度を達成することが確認できた。

## 4. まとめ

本稿では、MPEG の次世代メディア伝送規格 MMT の誤り訂正技術について紹介した。特に MMT LDGM 符号について、強い誤り訂正能力を保持しつつ、従来技術に対して 2 倍以上の復号速度を達成していることを述べた。今後、4K/8K などの超高品質映像の伝送やスマートフォンなど携帯端末への適用が期待される。

## 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] 白井 他, "FireFort: LDGM 符号に基づく高効率低負荷な AL-FEC ライブラリ", 2014 信学ソ大, 2014 年 9 月.
- [4] 外村 他, "4K/8K 映像配信に適した MMT 誤り訂正符号の提案," FIT 2013, No.M-033, 2013 年 9 月