

インターネットコンテンツ配信における前方誤り訂正技術

Advanced FEC Processing Technology for IPTV Video Streaming

会津 宏幸 権藤 俊一 辻 雅史

■ AIZU Hiroyuki ■ GONDO Shunichi ■ TSUJI Masashi

近年、高画質な映像コンテンツをIP (Internet Protocol) ネットワークを介してテレビ (TV)、パソコン (PC)、モバイル端末などに提供するIPTVサービスの開発が盛んである。しかし、伝送品質の完全な保証が難しく、IPパケット損失により映像や音声の乱れが懸念されるため、IPパケット損失によるデータ欠損を補う前方誤り訂正 (FEC) 技術が欠かせない。コストを抑えて様々な機器に適用するため、FECをソフトウェア (SW) 処理によって実現する要求がある。

東芝は、この要求に応じて、ビデオ処理などほかのリアルタイム処理への影響を抑える非連続FEC処理技術と、リソース使用量を減らすためにIPパケット到着順序の入れ替わりに対応させたFEC処理技術を開発した。

In order to provide high-quality streaming video images over the Internet Protocol television (IPTV) network, a forward error correction (FEC) technology is required to compensate for IP packet losses that occur due to inevitable IP network problems. It is necessary to develop software-based FEC processing technology for cost reduction and expandability to various types of equipment.

To maintain the packet recovery rate without additional hardware, Toshiba has developed an intermittent FEC processing technology that reduces side effects on other real-time processing operations such as image processing, and improved the FEC process to realize adaptation to incoming out-of-sequence packets.

1 まえがき

近年、ブロードバンドインフラの普及により、高画質な映像コンテンツをIPネットワークを介して配信するIPTVサービスの技術開発が全世界で盛んに行われている。IPTVサービスは、TV、PC、携帯機器といった様々な端末に対して提供可能なサービスであり、機器の付加価値を増すものである。しかし、IPネットワークでは伝送品質の完全な保証が難しく、IPパケット損失が発生する。IPTVサービスには損失したIPパケットを再送する機構がないため、IPパケット損失による映像や音声の乱れが懸念される。そのため、IPパケット損失によるデータ欠損を補う役割を担うFEC処理が欠かせない。

高速なFEC処理を実現するにはハードウェア (HW) の追加が望まれる。しかし、HWの追加はコストアップの要因になるため、SW処理によるFEC技術が必要とされている。このとき、処理能力に限りのある組込み機器では、SWによるFEC処理の追加によって、ほかのリアルタイム処理が受ける影響を最小限に抑えることが要求される。

そこで東芝は、非連続にFEC演算処理をすることでほかのリアルタイム処理への影響を軽微にする、SWによる非連続FEC処理技術を開発した。更に、インターネットのパケット順序の入れ替わりに対応するRTP (Real-time Transport Protocol) 処理と、FEC処理を一体化する技術を開発した。これによって、RTP処理とFEC処理の受信バッファメモリを共用化

し、データコピーを不要にすることで処理の負荷を低減できる。

ここでは、これらの技術の概要と評価結果について述べる。

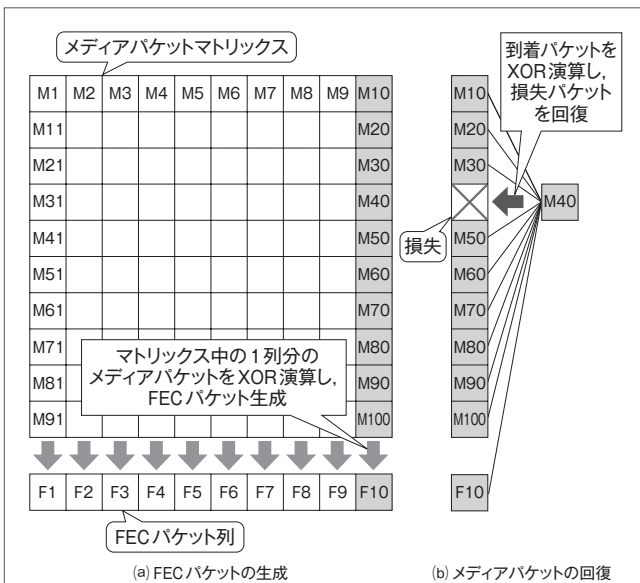
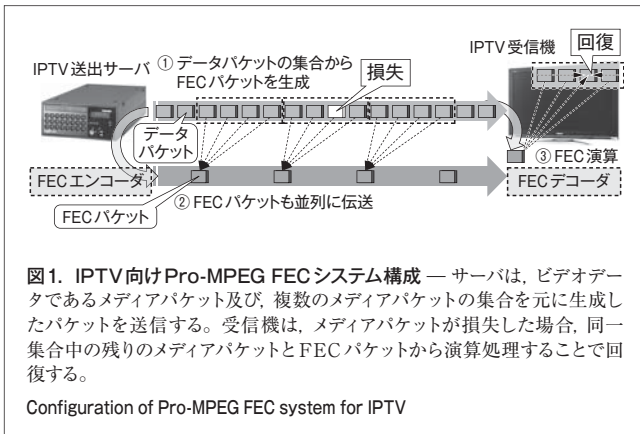
2 IPTVにおける誤り訂正

IPTVは、通信事業者が運用管理するマネージドネットワーク上のサービスである。マネージドネットワークは、一般的なIP通信網と異なり、通信帯域の保証などによって高品質な通信を可能としているが、マネージドネットワークでもパケット損失を完全になくすことは困難である。

パケット損失は、ビデオ配信サービスで劣化の要因になる。この対策として、国内技術仕様では誤り訂正方式Pro-MPEG FEC⁽¹⁾が導入された。これにより、パケット損失発生時に損失パケットを再送することなく、受信機上の処理で損失パケットを回復できる。実際の動作を次に述べる (図1)。

- (1) 送出時、複数のデータパケット (元符号) で、FEC符号化ブロックを構成
- (2) 符号化ブロックごとにFECパケット (冗長符号) を生成し、別ストリームとして送出
- (3) パケット損失時、受信側単独の演算で損失パケットを回復 (補償訂正)

Pro-MPEG FECでのFECデータの生成及び回復方法の概略を図2に示す。複数のメディアパケットを順に $n \times n$ ($n > 1$) のマトリックス状に並べて、メディアパケットマトリックスを形



成する。列ごとにメディア順にメディアパケットを排他的論理和 (XOR) 演算しFECパケットを生成する (図2(a))。メディアパケットにパケット損失が発生した場合、受信できたメディアパケットとFECパケットに対して逆演算を施すことで、損失したメディアパケットを回復できる (図2(b))。

図2のメディアパケットマトリックスの例のように、Pro-MPEG FECにおいて、メディアパケットマトリックスの集合数は通常 $10 \times 10 = 100$ 個、各メディアパケットのビデオデータ長は1,344バイトである。ビデオストリームでは10 Mビット/s以上を扱うこともあり、TV受信機でのSWによるFEC演算は負荷の高い処理になる。したがって、SWによるFECデコーダは、処理負荷の影響を最小限に抑えて実現する必要がある。

既存のビデオ処理に対して、SWとしてFEC処理を追加することによって、次の二つの課題が生ずる。一つ目はリアルタ

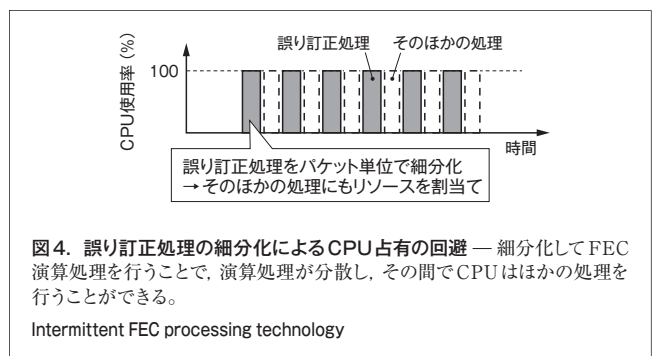
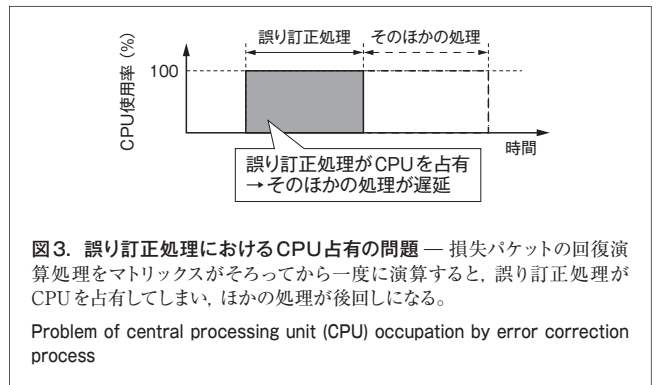
ム処理への影響、二つ目はFEC処理用バッファ追加によるメモリ使用量の増加である。それぞれの課題を解決するために当社が開発した技術を、3章と4章で述べる。

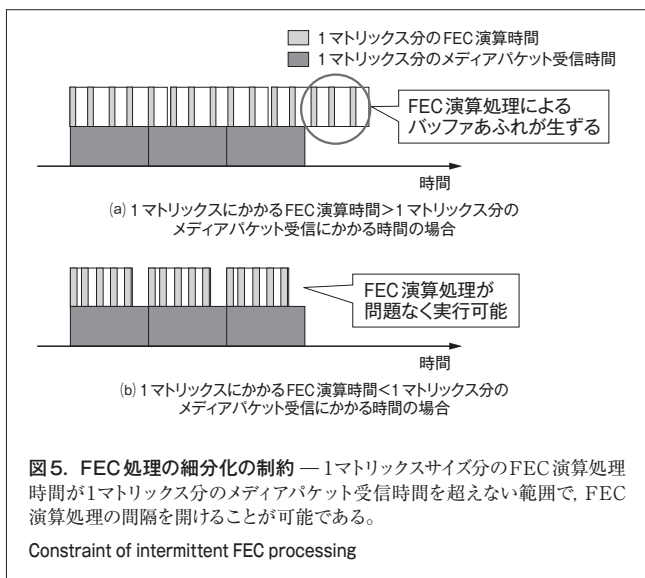
3 既存製品への影響を軽減にするFEC演算処理

3.1 非連続なFEC演算処理

IPネットワークでは、パケットが連続的に損失することが知られている。図2において、横1列分に当たる数のパケットが連続して損失すると、マトリックスすべてにパケット回復演算が必要になる。このとき、マトリックス中の損失したパケットの回復処理を一度に実行すると、多量のパケットを連続してFEC演算することになる。その間CPUを占有してしまうため、ほかのリアルタイム処理を阻害してしまう (図3)。そこで当社は、FEC演算処理単位を分割し、非連続にFEC演算処理することによってCPUの占有を回避することで、ほかのリアルタイム処理を長時間阻害しない誤り訂正演算手法を実現した (図4)。

一方で、FEC演算処理を分割し、その間にほかの処理を実行するとFEC演算に遅延が生ずる。このとき、FEC演算処理用にメディアパケットがバッファに蓄積されるが、この遅延が大きすぎるとバッファがあふれ、パケット損失を引き起こすおそれがある。Pro-MPEG FECの場合、図5のように1マトリックスサイズ分のFEC演算処理時間が1マトリックスサイズ分のメディアパケット受信時間を超えなければバッファからの





あふれが生じない。そのため、この条件を満たす範囲であれば、FEC演算処理を細分化できる。

今回、FEC演算処理の細分化にあたり、FEC演算処理の最小単位であるパケット単位で細分化し、非連続にFEC演算処理を実行する構成とした。これにより、FEC演算処理が非連続となり、長期間のCPU占有を回避できる。

3.2 評価

1演算単位（マトリクスの縦1列）の演算中にほかの処理が実行可能であることを確認するとともに、今回開発した手法による回復への影響を確認する。

8, 12, 16, 20, 及び25 Mビット/sの各ビットレートのストリームに対し、0.1%の連続した損失及び不規則な損失を発生させてFEC回復を行う。ただし、FEC演算マトリクスは10×10とし、連続した損失は演算回復可能な最悪値である10パケット連続の損失を発生させた。なお、利用した受信機の仕様を表1に示す。

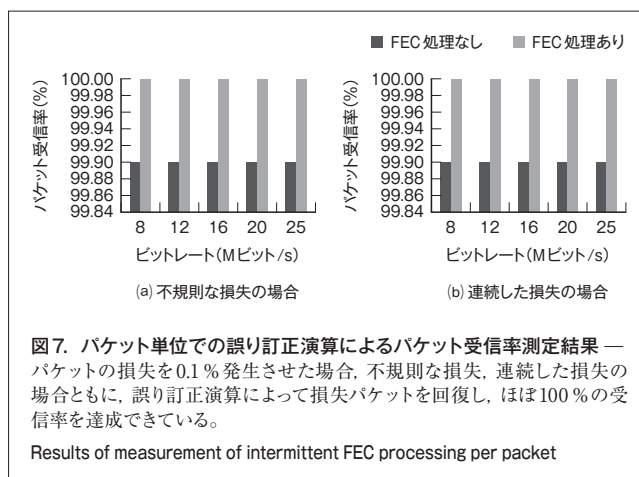
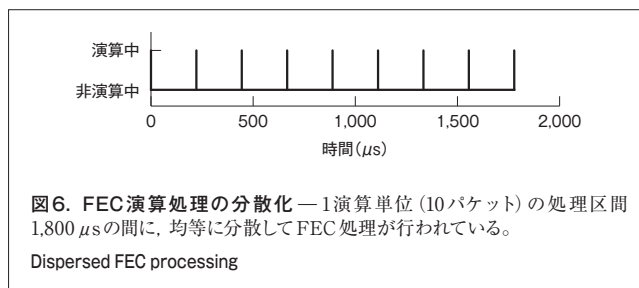
25 Mビット/sのストリーム受信時の1演算単位にかかるFEC演算処理時間を図6に示す。各演算間は十分な非演算時間があることから、ほかのリアルタイム処理が実行可能であ

表1. 評価時の受信装置の仕様
Specifications of receiver

項目	仕様
CPU	Intel [®] (注1) Pentium [®] (注2) 4 CPU 3.00 GHz
メモリ	1 Gバイト
基本SW	Linux ^(注3) (カーネルバージョン2.6.26)

(注1), (注2) Intel, Pentiumは、米国又はその他の国における米国Intel Corporation又は子会社の登録商標又は商標。

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の米国及びその他の国における登録商標。



ることが確認できる。なお、非演算中も含めて1演算単位の演算完了までの時間は約1,800 μsである。25 Mビット/sのストリームの場合、1演算単位分のパケット(10パケット)を受信するには約4,000 μsかかるため、FEC演算によるパケット回復には影響がないと考えられる。

次に、今回開発した手法によって実際にパケット回復に影響がないことを確認した結果を図7に示す。各ビットレートにおいて、不規則な損失、連続した損失、どちらも十分に回復できており、ほぼ100%のパケット受信率を実現できていることがわかる。

以上から、非連続的なFEC演算が可能であることが確認できた。

4 メモリ使用を効率化したFEC受信処理

4.1 RTP及びFEC処理モジュール構成

従来のFEC実装では、図8(a)のように、RTPスタック処理後、FEC処理を行う。これにより、処理の責任分解点が明確になり、効率的なデバッグが可能になるメリットがある。しかし、各々の処理バッファを多段に配置する構成になるため、バッファ間のデータコピーが必要になる。IPTVのように高ビットレートなストリームを受信する場合、このような構成では膨大なメモリコピーが発生する。特に、組み込み機器のようなリソースが限られた機器に実装するには、パケット回復性能を維持しつつ、FEC処理におけるメモリ使用効率の改善が必要になる。

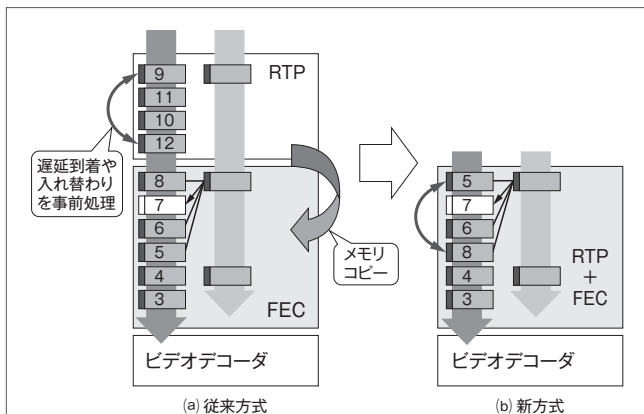


図8. RTP処理機能を追加したFEC受信処理モジュール — 従来, RTPモジュールとFECモジュールで個別にバッファを確保していたが, 新方式ではRTP用バッファを廃止することができる。メモリ使用量を減らし, メモリコピーも不要にできる。

Integrated Real-time Transport Protocol (RTP) and FEC processing module

RTP処理の役割は, ネットワーク経路上のじょう乱によるパケット順序の入れ替わりを戻すことや, パケットの到着遅延をバッファへの蓄積により吸収することにある。一方, FEC処理の役割は失われたパケットを回復させることにあるため, 従来はパケット順序の入れ替わりは考慮しておらず, 事前にRTP処理側でパケット順序の整列処理を行うことを前提としていた。

今回, FEC処理モジュールにRTP同等にパケット順序の入れ替わり対応の処理を追加する方式を開発した。もともとFEC処理モジュールもバッファ処理を行うため, パケット到着遅延への対策も兼ねることができる。従来は, 図8(a)のようにRTPモジュールとFECモジュールがそれぞれバッファを確保していた。新方式では, FECモジュールに図8(b)のようにRTP処理機能を追加した結果, RTP用バッファをなくし, メモリコピー回数を削減してメモリアクセスを効率化できた。

4.2 評価

メモリ使用を効率化した開発手法が, 従来手法と変わらず, 損失したパケットの十分な回復性能を持つことを確認するために, 次のような評価を行った。

15 Mビット/s, 約1 hのストリームに対して0.1%の不規則な損失を発生させ, パケット回復処理を行う。FECにはPro-MPEG FECを用い, FEC 演算マトリックスは10×10とした。

表2. RTP処理機能を追加したFEC受信処理モジュールの評価結果
Results of tests of integrated RTP and FEC processing module

試行数	総受信パケット数	データの欠損	回復パケット数	パケット回復率*1 (%)	パケット回復処理後のデータの欠損率*2 (%)
1回目	5,497,267	5,513	5,512	99.981861	0.000018
2回目	5,497,268	5,510	5,510	100.000000	0.000000
3回目	5,497,268	5,478	5,478	100.000000	0.000000

*1 : (回復パケット数 / データの欠損数) × 100

*2 : ((データの欠損数 - 回復パケット数) / 送受信パケット数) × 100

また, 受信機として, 3.2節の評価に使ったのと同じ仕様のものを用いた。評価結果を表2に示す。

パケット回復処理後のデータの欠損率に注目すると, いずれもITU-T (国際電気通信連合-電気通信標準化部門) 勧告により提唱されているIPTVサービス事業者の運用目標である0.0001%を下回っており, データの欠損は運用規定の許容範囲内に収まっている。この結果から, 開発した手法でメモリ使用の効率化を実現しながら, 十分なパケット回復性能を維持できていることが確認できた。

5 あとがき

ビデオ処理など既存のリアルタイム処理への影響を抑えるための非連続FEC処理技術, 及びリソース使用量を減らすためにIPパケット到着順序の入れ替わりに対応させたFEC処理技術を開発した。これによって専用HWの追加なしに, 損失パケット回復性能を損なうことなくSW処理によるFEC処理を実現した。

SW処理によって実現したことで, TV, PC, モバイル端末といったデジタルプロダクトだけでなく, ビデオ伝送インフラ機器へのすばやい展開が可能になった。

今後も, ビデオ品質を確保するためのネットワーク技術の研究開発を推進する。

文献

- (1) Pro-MPEG Forum. Pro-MPEG Code of Practice #3 release 2 (CoP#3r2). Pro-MPEG Forum, 2004, 17p.



会津 宏幸 AIZU Hiroyuki

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー研究主務。ホームネットワーク及びネットワーク映像伝送の研究・開発に従事。映像情報メディア学会会員。Network System Lab.



権藤 俊一 GONDO Shunichi

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー。コンテンツ配信及びネットワーク映像伝送の研究・開発に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会会員。Network System Lab.



辻 雅史 TSUJI Masashi

ビジュアルプロダクツ社 コアテクノロジーセンター デジタルプロダクツ技術開発部。ホームネットワーク及びネットワーク映像伝送の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。Core Technology Center