

## 低遅延映像通信に向けた FEC 中継方式に関する一検討

A study on FEC relaying method for low delay video transmission

大西 隆之  
Takayuki Onishi池田 充郎  
Mitsuo Ikeda長沼 次郎  
Jiro Naganuma八島 由幸  
Yoshiyuki Yashima

## 1 はじめに

IP 網を用いたマルチキャスト映像伝送や低遅延映像通信アプリケーションにおいては、サーバ能力や伝送遅延の制約から ARQ ( Automatic Repeat Request ) の適用が困難なことから、パケット損失対策として FEC ( Forward Error Correction ) が使用される場合が多い。通常 FEC はエンドエンド端末でのみ処理されるが、ネットワーク上の中継ノードにおいても FEC 復号を行い損失パケットを回復することで、伝送路全体の損失率をさらに抑制する効果が期待される。本稿では中継ノードでの FEC 復号を組み合わせた低遅延パケット伝送方式とその特性について考察する。

## 2 FEC 中継方式

本稿で想定する FEC 中継方式を図 1 に示す。本方式で使用する FEC は、リードソロモン ( RS ) 符号に代表される  $(n, k)$  ブロック誤り訂正符号とする。送信端末は  $k$  個の情報パケットを FEC エンコーダによって  $(n, k)$  符号化し、 $n$  パケットからなるユニットを構成して送信する [1]。中継ノードは到着したパケットを次ノードへ転送すると同時にバッファへ蓄積し、1 ユニットの到着が完了した時点で未着となったパケットを FEC 復号器で回復して次ノードへ転送する。以降はパケットの伝送順序が順不同となるため、シーケンス番号によって順序を整列しつつ FEC 復号を行う。

ある中継ノードにおいて回復不能な個数のパケットが損失した場合、以降の中継ノードや受信端末において誤り回復機能が失われる。これを防ぐため、図 2 に示すように回復可能な範囲を超えた損失パケットをダミーデータで置換したうえで、FEC 復号器によって改めて符号を再構成する方式も考えられる。この場合、生存しているパケットの損失保護を継続することができる。

## 3 シミュレーション

## 3.1 伝送遅延

本方式の特性について考察するための計算機シミュレーションを行った。伝送レートは 20Mbps CBR、パケットペイロードサイズは 1316 バイト、FEC 符号は RS ( 255, 247 )、1 リンクあたり伝送遅延は 10ms、1 ユニットの RS 演算に要する時間は 3ms と仮定している。

図 3 は、FEC 中継ノード数と端末間伝送遅延の関係を示すグラフである  $(n, k)$  の値が大きな FEC を使用する場合、とりわけ低ビットレートにおいては 1 ユニットのパケットを蓄積するためのバッファリング時間が支配的となるため、FEC コーデックをタンデムに接続すると遅延増加が顕著となる。これに対し、本方式では生存

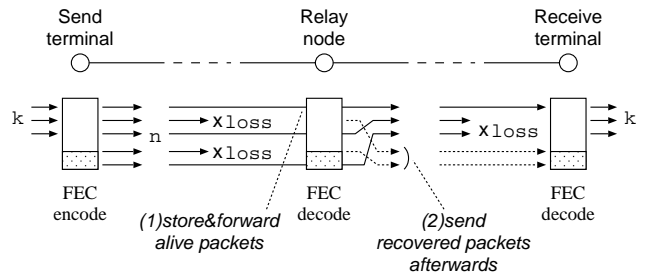


図 1: FEC 中継方式

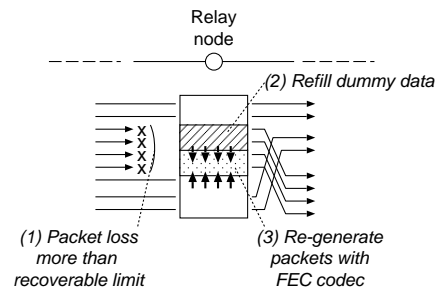


図 2: FEC 再構成方法

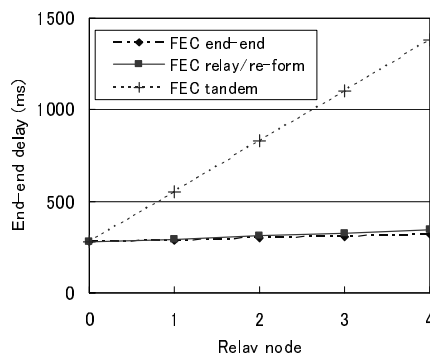


図 3: 伝送遅延の比較

して到着したパケットを FEC 演算より前に転送するため、中継ノードにおける遅延増加が抑えられ、エンドエンド端末のみで FEC 演算を行う場合と比較してわずかな遅延増加にとどまっている。

## 3.2 パケット損失率

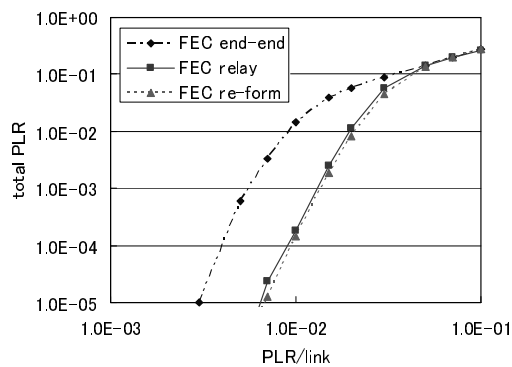
FEC 中継によるパケット損失回復性能を評価するため、ランダム損失および 2 重マルコフ過程に基づくパケット損失特性を持つ伝送路を仮定してシミュレーションを行った。FEC 符号は RS ( 255, 247 )、中継ノード数は 2 ( 伝送路リンク数 3 ) とした。

結果を図 4 に示す。横軸は 1 伝送路あたりのパケット損失率、縦軸は受信端末で観測されるパケット損失率である。ランダム損失を仮定した ( a ) では、1 伝送路あたり損失率が  $10^{-2}$  近辺における効果が顕著であり、エ

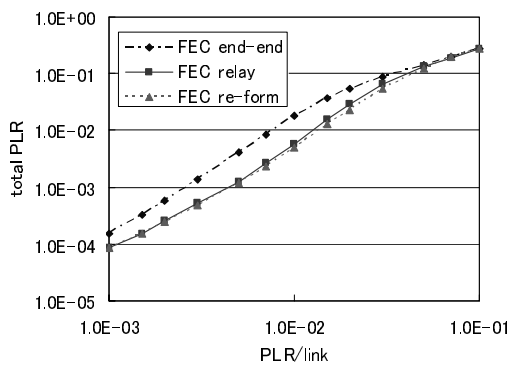
エンド端末のみで FEC 演算を行う場合と比較して  $10^2$  程度の損失率低減効果が確認できる。中継Nodeにおける FEC 符号の再構成は、損失率をさらに  $1/2$  程度に低減する効果がある。

これに対し、平均バースト損失長を 2 として 2 重マルコフ過程に基づく損失を仮定した (b) では、FEC 中継による損失率改善効果は限定的となり、エンド端末のみでの FEC 演算と比較して損失率を最大でも  $1/4$  程度に低減するに過ぎない。平均バースト損失長を 4 とした (c) ではさらに効果が薄まる。

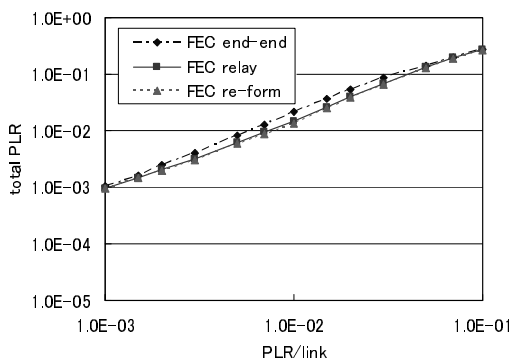
このことから、損失のバースト性が高い伝送路において本方式を適用するためには、インタリーブ等によって損失のランダム性を確保することが必要と考えられる。



(a) ランダム



(b) 2重マルコフ過程 (平均バースト 2)



(c) 2重マルコフ過程 (平均バースト 4)

図 4: パケット損失率 (RS(255,247), 中継ノード数 2)

図 5 は、4 ユニットのインタリーブ伝送を仮定して同条件でのシミュレーションを行った結果である。2 重マルコフ過程に基づく損失特性を持った伝送路においてもインタリーブによって FEC 中継の効果が高まり (b) で最大  $10^2$  (c) で最大  $10^1$  程度の損失率低減効果を示していることが確認できる。

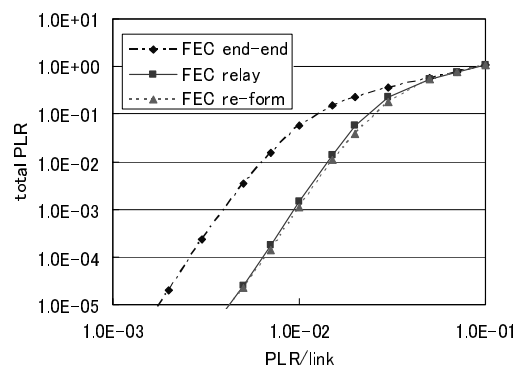
#### 4 おわりに

中継Nodeでの FEC 復号を組み合わせた低遅延パケット伝送方式を提示し、その遅延特性およびパケット損失回復特性について考察を行った。本稿に示したシミュレーションでは各リンクの損失率を同一としたが、例えばアクセス網とインターネットバックボーンなど、帯域幅や損失特性の異なる伝送路の境界に FEC 中継Nodeを配置することにより、必要に応じて冗長度の変更を行いつつ低遅延の伝送を行うことが可能になると期待される。

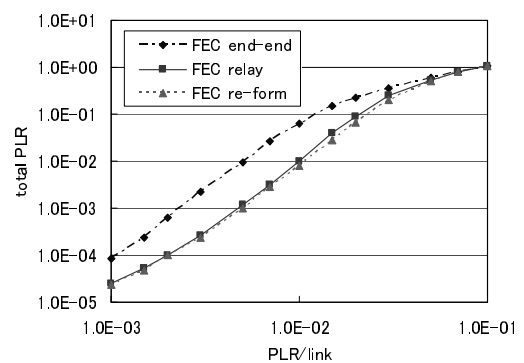
本検討は通信・放送機構の研究委託「通信ネットワーク利用放送技術に関する研究開発」の一環として実施したものである。

#### 参考文献

- [1] 大塚他：“FEC を用いた MPEG2 over IP システムの開発と評価”，情処研究報告，分散システム/インターネット運用技術，No.024-008，pp.43-48，2001.



(b) 2重マルコフ過程 (平均バースト 2)



(c) 2重マルコフ過程 (平均バースト 4)

図 5: パケット損失率 (RS(255,247), 中継ノード数 2, 4面インタリーブ)