

マルチキャスト配信におけるリダイレクト型 FEC 装置の実装

佐々木 力 田上 敦士 長谷川 輝之 阿野 茂浩

(株) KDDI 研究所

1. はじめに

IP マルチキャストを用いたコンテンツ配信の高信頼化手法として、FEC (Forward Error Correction) が広く利用されている。FEC の符号化処理を配信元で行う場合、低品質な受信者に合わせて冗長化率を設定する必要があるため、高品質な通信環境の受信者へは過剰トラフィックが流れる。これに対して、低信頼区間に別途 FEC 装置を導入し、配信元での冗長化率を抑制する手法が考えられる。これまでに我々は FEC 装置を配信経路上のルータへ付加的に接続し、対象とするマルチキャストのみを抽出し高信頼化するリダイレクト型 FEC 装置を提案した[1]。本稿では、本装置の実装と評価について述べる。

2. 提案手法

図 1 (b) に提案手法であるリダイレクト型装置の全体構成を示す。高信頼化対象区間の両端の回線上に設置するインライン型(図 1 (a))と異なり、リダイレクト型では区間両端のルータに FEC 装置を付加し、対象マルチキャストのみをエンコーダとデコーダ経由で転送させる。それ以外(例: 端末 AB 間の通信)の packets を中継転送する必要はないため、処理負荷を軽減することができる。また、FEC 装置に障害が発生しても、他の通信に影響が及ばない。このように、リダイレクト型はインライン型に比べてスループットや可用性の点で優れている。

以下に、リダイレクト型の具体的な手順を示す。

リダイレクト型の手順:

- ① デコーダは接続ルータ X へ適切なコストに基づく経路情報を広告し、ルータ X の保持するソース S への経路をデコーダに向ける。
- ② エンコーダは高信頼化対象マルチキャスト G に join [2] し、受信データを符号化して符号化データを生成する。
- ③ エンコーダは当該符号化データを別のマル

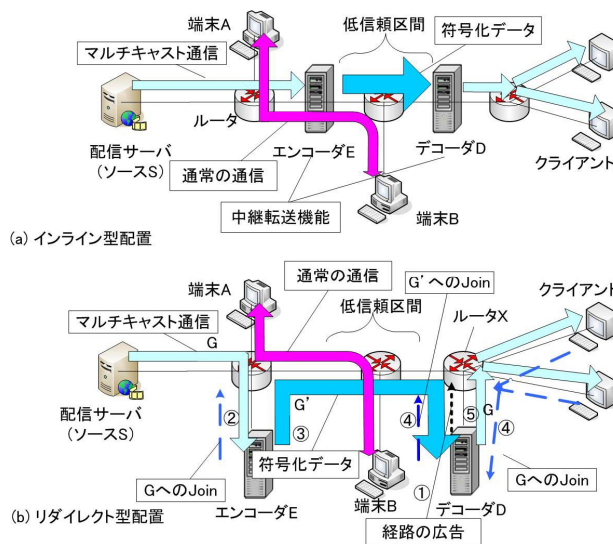


図 1 FEC 装置の設置形態

チキャストアドレス G' で送信する。

- ④ デコーダはルータ X から G への join を受信すると G' に join し、受信データを復号する。
- ⑤ デコーダは復号したデータを元のマルチキャストアドレス G で送信する。

手順 1 により、低信頼区間へ符号化前のマルチキャスト G が転送されるのを防ぐ。またルータ X で RPF (Reverse Path Forwarding) インタフェースをデコーダ側に向けることで、RPF チェック [2] によるマルチキャストパケットの破棄を防止している。

3. 実装と評価

以下、FEC 装置の実装と装置の設置に伴い発生する遅延量の評価結果について述べる。

3.1. 実装

図 2 にエンコーダとデコーダにおける FEC の処理を示す。FEC に使用する誤り訂正符号は、図 3 の $(mn+n, mn)$ 垂直パリティチェック符号とする。本符号では、入力データを $m \times n$ 行列に対応させ、符号化データとして入力データ自身と列方向に m 個の入力データを XOR 演算したパリティデータを出力する。さらに、エンコーダの FEC ヘッド付与部で符号化データにシーケンス番号や XOR 情報を含む FEC ヘッドを付与し、即座に送信する。転送中にパケットロスが発生し

Implementation of Redirection Type FEC System in Multicast Distribution

Chikara Sasaki, Atsushi Tagami, Teruyuki Hasegawa, Shigehiro Ano
KDDI R&D Laboratories Inc.

でも同列内の 1 個以内のロスであれば、デコーダでパリティデータと $m - 1$ 個の入力データの XOR 演算によりロスを復元できる。また n 個のバーストロスが復号可能である。デコーダの送信待機部では復号パケットの送信順序を保証するために、パケットロス発生時にロスパケットの復元が完了するまでロスパケット以降の送信を待機させる。ただし、復元できない場合を考慮し、最大待機時間は $m \times n$ 個の入力パケットの受信に相当する時間とした。

経路広告はデコーダに代わり代替ルータで行う。デコーダの接続ルータ X でソース S 宛の経路をデコーダ方向に変更しているため、ルータ X を経由して S に至るユニキャスト通信もデコーダに転送される。したがって、デコーダとエンコーダ間にユニキャストの IP in IP トンネルを設定し、 S への到達性を確保する。

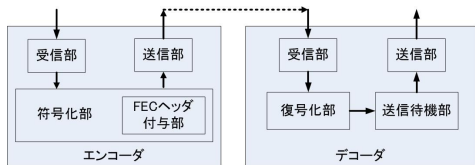


図2 FEC処理の流れ

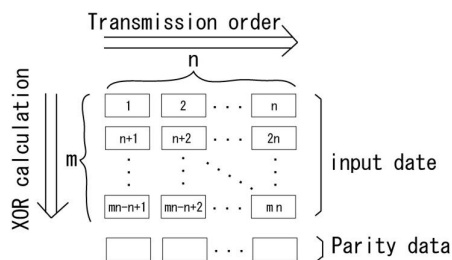


図3 $(mn+n, mn)$ 垂直パリティチェック符号

3.2. 検証環境

検証環境を図4に示す。マルチキャストソースとして IXIA 社のパケットジェネレータを使用し、1400Byte のパケットを 10Mbps で等間隔に送信する。低信頼区間を dummynet によって模擬し、確率 p でランダムロスを発生させる。また経路制御プロトコルとして OSPF を動作させ、各リンクコストを 10 とした。[1]に従って、代替ルータ

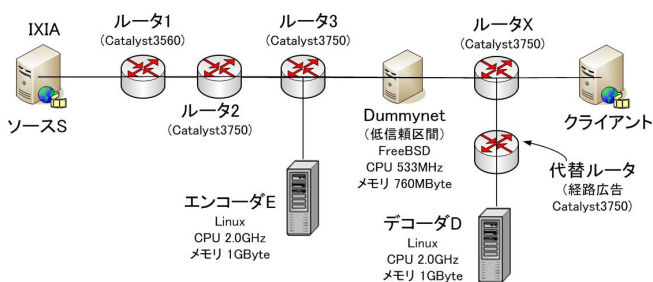


図4 検証環境

から広告するコストを 25 とする。本環境において、対象マルチキャストがエンコーダ、デコーダ経由で転送され、低信頼区間のパケットロスが改善されることを確認した。

3.3. 遅延増加量の評価

FEC 装置の設置により転送遅延や処理遅延が発生する。そこで、本節では図4のクライアントにソースと同一筐体の IXIA を使用して送信時刻と受信時刻の差から遅延を測定する。合わせて、FEC 装置を設置しない場合の初期遅延を測定し、装置設置による遅延増加量を評価する。ロス率 $p = 0.01, 0.05$ に対し、10万パケット送信時の最大・平均の遅延増加量を表1に示す。なお、FEC 装置なしの場合の最大遅延は約 25ms、平均遅延は 1ms 未満であった。

遅延の大部分は、デコーダにおける到達順序保証のための送信待機時間である。パケットロス率 p が増加すれば、復号頻度および転送待機時間が増加するため、平均の遅延時間も増加する。また、最大待機時間は、ソース S のパケット送信速度を t (パケット/秒) とすれば、 mn / t 秒となる。例えば、 $m = 5, n = 100, t = 893$ (10Mbps 時) の場合、デコーダでの最大待機時間は約 560ms となる。以上より、 m, n に大きなパラメータを使用すると遅延が大きくなるため、誤り訂正能力とのトレードオフを考慮して符号化パラメータ m, n を決定しなければならない。

表1 FEC装置による遅延増加量 (ms)

	$p = 0.01$		$p = 0.05$	
	Max	Average	Max	Average
$m=5, n=100$	655	292	685	575
$m=10, n=100$	1242	826	1278	1222
$m=5, n=1000$	7011	6134	6960	6792
$m=10, n=1000$	13174	12114	13420	12796

4. おわりに

本稿では、低信頼区間のマルチキャスト高信頼化手法であるリダイレクト型 FEC 装置を実装し、動作検証ならびに装置設置に伴う遅延増加量を評価した。日頃ご指導頂く (株) KDDI 研究所秋葉所長に感謝する。

参考文献

- [1] 佐々木他, “マルチキャスト配信におけるリダイレクト型 FEC 装置の検討,” 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B-6-20, Sep. 2006.
- [2] “Cisco IOS Multicast command Reference, Release 12.2 T,” Cisco Systems, 2005.