

リアルタイムデータ転送に適した誤り制御方式 T-NAK の実験的検討 Implementation of An Error Mechanism T-NAK for Real Time Data Transfer

M-14

丸山 英起[†]
Hideki Maruyama山口 雅信[†]
Masanobu Yamaguchi伊東 克能[†]
Katsuyoshi Ito

1. はじめに

近年、ネットワークインフラの高速化や広帯域化が進み、インターネット上でやり取りされる情報には WWW や電子メールなどのテキスト情報に加え、映像や音声などのマルチメディア情報もその占める割合が増えてきた。マルチメディアの配信においてエンド-エンドでその品質を保つことは重要であり、ことリアルタイムメディアに関しては映像の品質に加えその実時間性も保つこと、つまり遅延時間を低く押さえることが課題となる。

従来、リアルタイムデータ転送においては実時間性確保のため、再送による誤り制御は有効ではないと考えられてきた。しかし我々は、将来の高速広帯域なネットワークにおいては再送による誤り制御を行っても実時間性が確保でき高品質なリアルタイムデータ転送が行えると考え、 R^3TP (Retransmission-based Reliable Realtime data Transfer Protocol) を提案し、シミュレーションによる検証を行った [1]。また別に、ATM に依存点の多い R^3TP をデータリンク層に依存しない形で実現することも検討していた [2]。本稿では、 R^3TP をデータリンク層に依存しない形で実現した R^3TPv2 (R^3TP version 2) を提案し、その実験結果について報告する。

2. R^3TP

R^3TP は高品質なリアルタイムデータ転送を提供するためのトランスポートレイヤプロトコルである。 R^3TP はリアルタイム情報を ADU (Application Data Unit) の集合として捉え、ATM のブロック転送方式である ABT (ATM Block Transfer) を使用して転送する。個々の ADU に関してリアルタイム性を維持した転送を行うことで、リアルタイム性を構成するメディアストリームのリアルタイム性の保証を実現する。

また、誤り制御としては再送を採用している。再送を使用することで、リアルタイム通信に信頼性を持たせて品質を向上するとともに、プロトコル機構を比較的単純に保ちつつ、同時に不必要なデータ送出を抑えることでネットワーク資源の浪費を回避する。 R^3TP は、ABT で使用されている RM セルの情報を使い高速なパケットロス検出機能を実現する。

3. R^3TPv2

R^3TP は高速なパケットロス検出機能を実現する代わりに、ATM に対する多くの依存点を持っている。インターネット上でデータ転送を行う場合、IP 層以下で様々なプロトコルを通過する可能性があり、トランスポート層プロトコルがデータリンク層プロトコルに依存することは、広域 IP ネットワークでは致命的な問題となる。そ

[†] 東洋大学大学院工学研究科

ここで我々は、 R^3TP をデータリンク層以下に依存しない形で改訂を行った R^3TPv2 を提案する。

R^3TPv2 は R^3TP のコンセプトを継承し、ADU の概念と再送を前提とした誤り制御機能を持つ。 R^3TPv2 では、 R^3TP が ABT の RM セルの機能を用いて実現しているパケットロス検出の代わりに、先に提案した T-NAK (NAK by Timer) [2] を使用し、高品質で信頼性のあるリアルタイムデータ転送を実現する。

3.1 T-NAK

T-NAK とは、従来の NAK 方式に受信側におけるタイム制御を付加することによって、連続したパケットロスや NAK パケットのロスなどに対応できるよう、改良を加えたものである。T-NAK の動作を図 1 に示す。

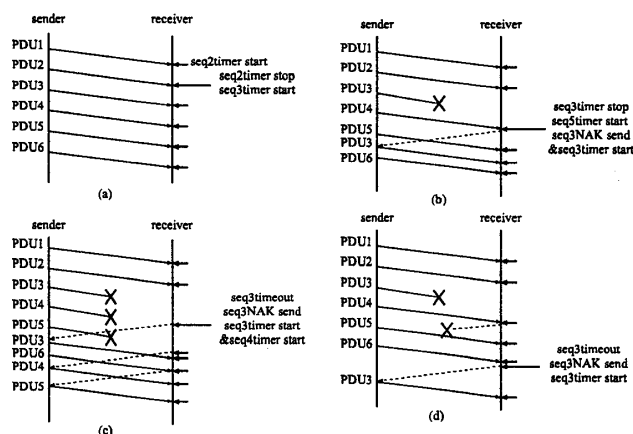


図 1: NAK by Timer の動作

T-NAK では、受信側でパケットを受け取ると次に来る予定のパケットのためにタイマが設定され、計算によって予想されたパケット到達時刻を一定時間越えると先んじて NAK が送信される。これにより連続したパケットロスにも、すばやい対応を行う。

また NAK 送信時にもタイマを設定し、NAK が送信されたことによって再送されるであろうパケットの到達時刻も計算し、それを一定時間越えると NAK が再び送信される。これにより、NAK パケットのロスにも確実な誤り回復のための対応が可能となる。

タイムアウトまでの時間の計算は、通常のパケットに対しては ADU の到着間隔と PDU の到着間隔を計測し、それらに係数を掛けた値をタイムアウトまでの時間としている。また、再送のパケットに対するタイマは、RTT を計測しそれらを元に値を決定する。ADU 到着間隔、PDU 到着間隔及び RTT はバースト的な増減を防ぐために EWMA [3] を用いて平均化を行っている。

シミュレーション実験の段階では、全てのPDUに対してタイマを設定し、T-NAKの実験を行った。この実験において、タイマのオーダは $100\mu\text{sec}$ であることがわかった。これは、PDUの到着間隔は短く、全てのPDUにタイマを設定しているとタイムアウトの時間が短くなるためである。 $100\mu\text{sec}$ はタイムアウトの処理が困難になるばかりでなく、通常のパケット受信処理にも悪影響を及ぼす。そこで実装実験では、タイムアウトイベント数の低減とタイムアウト時間を柔軟にするために、全てのPDUに設定していたタイマをADUの先頭PDUと最後尾PDU及び再送PDUに対してのみ設定するように変更した。ADUの先頭と最後尾だけに設定することは、PDUレベルで設定していたタイマをADUレベルで設定することに相当する。これにより、タイムアウト処理の悪影響を低減することができる。

4. R^3TPv2 の実装実験

2台のPCを、ATMスイッチを介したATMネットワークと100BASE-Tの両方で接続し、FreeBSD上に R^3TPv2 を実装した。その間で、データレート6Mbpsのリアルタイムデータに模したデータを1/30s毎にADUに分割して転送する実験を行った。

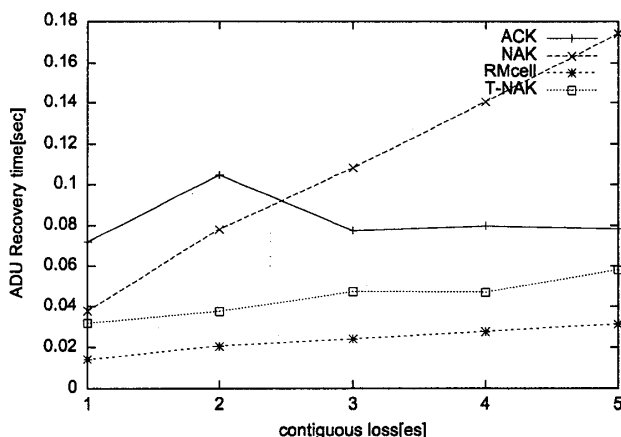


図 2: 連続したパケットロスに対する ADU の回復時間

図 2 は転送中に発生したパケットロスとそれに対応する ADU の回復に要した時間をロスの連続発生数に関してまとめたものである。比較対象として、一般的な ACK や NAK のスキームを用いてロス検出を行うものと、 R^3TP の RM セルスキームで同様の実験を行ったデータを示す。横軸が ADU 単位のパケットロスの連続発生数であり、それぞれの場合で ADU の回復に要する最大時間を抽出してプロットした。

この結果から、ACK スキームではロスが連続して発生した場合でもその影響が比較的小さいが、タイムアウトを待って再送を行うというその ACK の機構そのものにより実時間性を考慮したパケットロス検出は難しい。また、連続パケットロス数が少ない場合には NAK スキームは ACK スキームよりも高速な回復が行われているが、連続パケットロス数が増えると、回復にかかる時間も増加してしまい、パケットロスの連続発生に弱いという性

質を示している。

それに対して、RM セルスキームを使用した回復は他の ACK、NAK に比べて非常に高速に回復が行われている。この回復は ADU の生成間隔である 33 ミリ秒より十分に小さな値であり、この実験中では受信側でのバッファリングに頼らずに実時間性を維持した通信が可能であることを示している。更に、パケットロスの連続発生時でも大きな変化はない。これは ABT の機能を積極的に取り入れた故の結果である [4]。

ATM の依存点から脱却した R^3TPv2 の T-NAK スキームの結果を見ると、RM セルスキームに比べてパケットロス回復に要する時間は大きいものの、ACK スキームや NAK スキームよりも高速な回復時間を示している。また、連続パケットロス発生に対する回復時間の増加率も NAK スキームに比べて低く、連続パケットロス発生に対しても有効であることがわかる。この実験では、パケットロスが 2 つ以上連続で発生した場合は ADU 発生間隔の 33 ミリ秒をオーバーしているが、受信側でのバッファリングを考慮に入れれば、十分に実時間性を保ったリアルタイムメディアの送受信が可能となっている。

R^3TPv2 は IP 層以下のプロトコルに依存していない。パケットロス回復に要する時間は確かに R^3TP よりも大きいですが、ATM への依存点からの脱却を実現したことを考慮に入れれば、この結果は、機能の有効性を十分に示せたと考える。

5. むすび

本稿では、リアルタイムデータ転送プロトコル R^3TP をデータリンク層プロトコルに依存しない形で実現した R^3TPv2 を提案し、その誤り検出方式である T-NAK を実装実験において他の誤り制御方式と比較検証し、その有効性を示した。

今後は、T-NAK のタイムアウト時間算出アルゴリズムについて実験を行い、有効に使えるアルゴリズムや係数の最適な値やその適応条件について検討する。また、伝送路遅延や転送データ量とその動的変化についても考慮に入れた実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 山口雅信, 伊東克能, 高崎喜孝: リアルタイムデータ転送プロトコル R^3TP とその誤り検出方式, 情報処理学会論文誌 第 43 巻 第 2 号, 情報処理学会, pp.381-389(2002).
- [2] 丸山英起, 山口雅信, 伊東克能: IP ネットワークにおけるリアルタイムデータ転送に適した再送方式の検討, 情報処理学会第 63 回全国大会 3D-6(2001).
- [3] 山田雅章: EWMA ストラテジー, <http://perfect.ufjcm.co.jp/pub/report/ufjcm/report/quant/qp/qr9909.pdf>, (1999).
- [4] 山口雅信, 伊東克能, 高崎喜孝: リアルタイム通信プロトコル R^3TP の実装実験, FIT2002(2002), 発表予定.