

4F-11 再送を伴う高信頼マルチキャストの送信レートと性能

山内長承[†]・佐野哲央[†]・城下輝治[†]・高橋修[‡]

[†]東京都立大学工学部(日本IBM東京基礎研究所より出向)、[‡]NTT情報通信研究所

1 高信頼マルチキャストと再送

最近 IP マルチキャストを用いた高信頼同報システムの研究が各所で行なわれている [4, 3, 5, 6]。これらの大半は、パケットの損失を回復するため、再送機構 (ARQ, Automatic Recovery Quotient) を用いている。

一方、パケットの損失を最小に押えるため送出側での流量制御が必要である。パケット損失の原因はリンク上のビット誤りの他、リンクを通過できる流量や受信端末が処理できる流入量 (いずれも容量と呼ぶことにする) より送信側が送出する流量が多い時、ルータや受信端末で溢れを起こしてパケットを失う。同報型通信では、受信端末や経路が複数あり、受け入れられる容量はそれらに依存するにもかかわらず、送出側ではすべての端末・経路に共通の流量で送出せざるを得ない。

今までは、受信端末や経路の容量が分布している場合、流量が溢れるために生ずるパケット損失を防ぐため、送出流量は受け入れられる容量分布の中の最低の値に合わせるのがよいと考えてきた。しかし、分布の状況によっては、この最低に合わせる方式は同報全体の転送速度を極端に低い値に押えてしまい、転送時間が非常に長くなることがある。これに対して今までは、受信端末を速い転送のできるグループと遅い転送をするグループに分割して転送したり、極端に遅い端末が例外的にごく少数ある場合には遅い端末のみ 1 対 1 転送するなどの対策を講じてきた。

ここでは送出流量を、分布している受信端の最低容量に合わせる考え方を改め、速めの送出流量に設定し、その結果失われたパケットを再送機構で回復する、という考え方を提案する。その場合に、再送に要する時間を含めた総転送時間の最小値を与える送出流量を求め、その時の損失パケット量を評価する。

更に、上記の枠組において最小転送時間を与える流量を最適とするならば、この値を実現するような送出流量制御機構を同報サーバに搭載し (図 1 の multi-receiver policy 部)、その時々における端末・経路容量分布を推定して最適な送出流量を求めながら流量制御をするシステムが構築できるはずである。

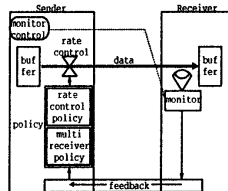


図 1: Flow control system for multicast.

2 計算モデル

再送の機構はいろいろ提案されているが、基本的に受信端末でパケット損失をタイムアウト等で検出し、その情報を送信サーバに通知する。送信サーバは通知結果を見て、受け取っていない端末があるパケットを選んで同報で再送する。再送分もまたパケット損失を起こすが、届いていないパケットは徐々に減少し、何回かの再送の後にはすべての端末がすべてのパケットを受信できる。この単純な再送機構はたとえば NTT-IBM の提案する RMTP [6] で用いている。その他の方式でも、送信サーバから一括して全体に再送する限りは、再送量はほぼ同じと見

Transmission rate for flow control in ARQ-based reliable multicast systems.
Nagatsugu Yamanouchi (yamanouc@comp.metro-u.ac.jp)[†], Tetsuo Sano[†],
Teruji Shiroshita[†], and Osamu Takahashi ((sano, siro, osamu)@isl.ntt.co.jp)[‡]
[†]Tokyo Metropolitan University (IBM Research, Tokyo Research Laboratory),
[‡]Information and Communication System Laboratories, NTT

積ることができる。再送を受信端末の回りで局所的に行なう方式 [3, 5] には適用できない。

総転送時間は、再送分も含めた送信データの総量を、送信速度 (送出流量) で割ったものになる。以下、パケット損失率を媒介にして、再送分も含めた送信データの総量を計算するモデルを求める。

その他の時間の要因の主なものとしては、受信端末から送信サーバへ損失パケットの ID を通知するための再送制御時間や受信端末でパケットの喪失を判定するために必要なタイムアウト時間があげられる。再送制御時間は、たとえば NTT-IBM RMTP では応答爆発を軽減するため受信端末が応答を送出するタイミングを分散させる (バックオフ) が、それによって再送制御時間が増加する。しかしそれはデータ転送時間に比較して無視できるほど短い。またタイムアウト時間も転送時間に比べると無視できる。

再送分も含めた送信データ総量を求めるには、

- 端末・経路の容量分布モデル
- 送出速度と容量からパケット損失率を求める損失モデル
- パケット損失率から再送回数と再送パケット数を求める再送モデルが必要となる。

容量分布モデルは現実のネットワークに適用できる分布が望ましいが、ここでは代表として一様分布と、正規分布について求めることとする。

損失モデルは定常状態を考え、送出流量 x と容量 y との差分 $x - y$ が溢れによって失われ、損失率は $(x - y)/x$ とする。実際は他の TCP トラフィック等がある場合、TCP トラフィックの変動によりルータのキューが伸びて溢れることによる余分な損失が発生することがあり、定常モデルより値は多少大きくなる。その余分な損失は他のトラフィックのモデル化が難しいので、ここでは定常モデルで求めたパケット損失率 e に対する一次項の追加 $(1 + \alpha)$ として定式化し、それによる結果への影響を分析して検討することにする。

再送モデルは、受信端末側が再送要求を出し、その要求の和集合に含まれるパケットを再送する機構とし、再送パケットの量を求める。この再送量は再送の時点や順序にかかわりがないので、再送の細かい方式には依存しない。再送量の計算モデルは城下 [1] のものを拡張する。このモデルは、経路によらずパケット損失率を一定とした時に、再送サイクル毎に全端末での損失パケットを推定し、再送量を求めるもので、漸化式

$$S_k = e \times S_{k-1},$$

$$M_k = \{1 - (1 - e)^{S_{k-1}/M_{k-1}}\} M_{k-1},$$

$$N_k = \{1 - (1 - e)^{S_{k-1}/N_{k-1}}\} N_{k-1}$$

で与えられる。ここで S_k は第 $(k-1)$ サイクル (前サイクル) の送信の結果、受信端末から要求されたすべての再送パケットの数 (重複分を数える)、 M_k は第 k 再送サイクルにおける同報再送パケット数 (重複を数えない)、 N_k は再送を要求した受信端末数、 e はパケット損失率を示す。パケット損失率が受信端末によって分布しているので、 M_k は受信

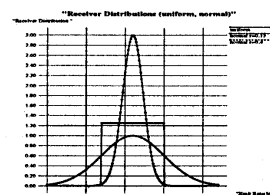


図 2: Uniform and normal receiver capacity distributions.

端末毎の値の和となり、積分値として計算できる。

このモデルでは、上記の損失モデルと組み合わせると、パケット遅延がタイムアウト判定上限を超えたために起こる損失が含まれていないことになり、損失パケット数に追加の補正が必要になる。NTT-IBM RMTTP では転送対象のデータパケットをすべて送出してからその転送すべてに対する未着パケットを検出するので、始めの方に送られたパケットはタイムアウト上限が長くなる。また、転送対象のパケットを一定数送った後に検出する（検出中も次のパケットが送られているが）方式では、全般にタイムアウト上限が短くなる。このように、この再送パケット数の追加補正は方式に依存しモデル化が難しいので、損失モデルで行なったと同様、再送パケット数 M_k の一次項の追加 $(1 + \beta)$ として定式化し、それによる結果への影響を分析することとする。

3 計算結果

端末・経路容量分布として、図2に示す3つの分布、区間 [1.2Mbps, 2.0Mbps] の一様分布、平均値 $\mu=1.6$ Mbps, 分散 $\sigma=0.4$ Mbps の正規分布、 $\mu=1.6$ Mbps, $\sigma=0.13$ Mbps の正規分布の場合について、送出流量を変化させた時の総転送時間を求める。

まず端末・経路容量が一様分布の場合の例を図3に示す。x軸は送出流量の設定値、y軸は総転送時間（上部の曲線）、再送サイクル回数（階段状の線）、再送パケット量（下側の曲線）をグラフにしている。1.22Mbps 付近で総転送時間が最小となっており、その時の再送パケット数は0.8%である。

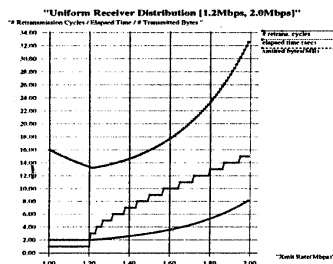


図3: Retransmission performance for uniformly distributed receivers.

端末・経路容量が正規分布の場合の例を図4 ($\mu=1.6$ Mbps, $\sigma=0.4$ Mbps)、図5 ($\mu=1.6$ Mbps, $\sigma=0.13$ Mbps) に示す。x軸は送出流量、y軸は総転送時間（上部の曲線）、再送サイクル回数（階段状の線）、再送パケット量（下側の曲線）をグラフにしている。図4では1.31Mbps 付近で総転送時間が最小、その時の再送パケット数は6.6%になっており、図5では1.39Mbps 付近で総転送時間が最小、再送パケット数は4.5%である。

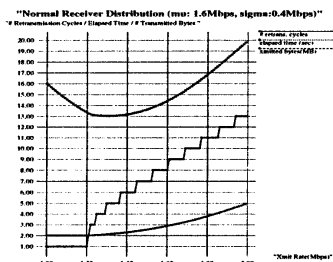


図4: Retransmission performance for normally distributed receivers.

モデルの項で触れた、パケット損失率 e に対する一次の変動項 α と再送数 M_k に対する変動項 β がもたらす総転送時間に対する影響を、図5 ($\sigma=0.13$ Mbps) の場合について求めたものを、図6および図7に示す。いずれも、総転送時間の最小値をもたらす送出流量の値には変化がなく、最小転送時間は α が20%のときに0.2%増、また β が20%のときに1%増と、ほとんど変化がない。送出流量を大きくすると α 、 β の影響が大きくなり、 $x=2.0$ Mbps では α が20%のときに12%増、また β が20%のときに38%増となっている。

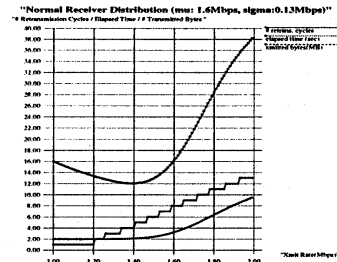


図5: Retransmission performance for normally distributed receivers with smaller standard deviation.

4 まとめ

本論文では、ARQによる再送を含む高信頼同報システムにおける送出流量の設定について検討した。経路や受信端末の容量が分布している場合、パケット損失の無いように送出流量を分布の最低値に合わせると全体の転送時間は長くなる。それよりは多少大きい送出流量を選択することにより、総転送時間の最小値を得ることができる。また、このときに起こる損失による再送量はせいぜい5-7%程度であり、かなりの場合に許容できる程度であると考えられる。また、モデル上の細かい要因による総量の増加について2つの変動要素による影響を観察し、問題にならない範囲に収まると判断できた。今後は、端末・経路容量の分布に関する実測やそのモデル化、フロー制御機構への組み込みの可能性の検討などを行なう予定である。

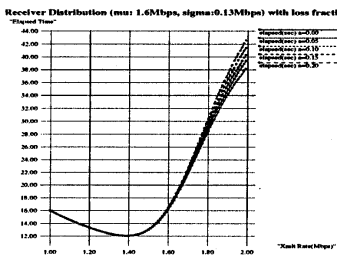


図6: Retransmission performance sensitivity to additional packet loss rate.

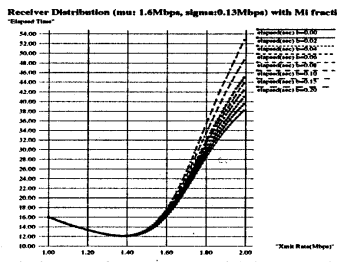


図7: Retransmission performance sensitivity to additional packet retransmissions.

参考文献

- [1] Shiroshita, T., Sano, T., Takahashi, O., Yamashita, M., Yamanouchi, N., and Kushida, T.: Performance evaluation of reliable multicast transport protocol for large-scale delivery. Proc. IFIP PHSN. October 1996.
- [2] Shiroshita, T., Sano, T., Takahashi, O., and Yamanouchi, N.: Reliable Multicast Transport Protocol Version 2. IETF Internet Draft <draft-shiroshita-rmtpp2-spec-00.txt>. September 1997.
- [3] Lin, J. C. and Paul S.: RMTTP: A Reliable Multicast Transport Protocol. Proceedings of IEEE Infocom 96, pp.1414-1424. April 1996.
- [4] Miller, K.: StarBurst Multicast File Transfer Protocol (MFTP) Specification. IETF Draft <draft-miller-mftp-spec-02.txt>.
- [5] Floyd, S., Jacobson, V., Liu, C., McCanne, S. and Zhang, L.: A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing. Proc. ACM SIGCOMM '95, (1995).
- [6] 山内長承、城下輝治、佐野哲央、高橋修: 高信頼同報バルク転送機構. 情報処理学会論文誌, 39-6, pp.2009-2019. June, 1997.