

輻輳を考慮した可変ウィンドウ方式の信頼性的考察

岐阜市立女子短期大学 国際文化学科 ◦木村充位 Kimura Mitsutaka
01014373 愛知学泉大学 経営学部 今泉充啓 Imaizumi Mitsuhiko
01701123 愛知工業大学 経営情報科学部 安井一民 Yasui Kazumi

1 まえがき

近年、インターネット通信の高信頼化を実現するため、さまざまなプロトコルが提案されている [1]。最近では、データ転送時に発生するパケット損失が問題となっている。すなわち、ネットワーク系に輻輳が発生した場合、各ルータに停滞しているパケットは破棄され、パケット損失が発生して通信効率が損なわれる問題などが提起されている [2]。

データ通信における一般的な高信頼化の方法として、可変ウィンドウ方式がある。これは、輻輳が発生したときに、ウィンドウサイズを半分に減少して送信し、輻輳が解除された場合には徐々に増加させる方法である [3]。

ここでは、可変ウィンドウ方式を適用したデータ通信における信頼性的問題を考察する。すなわち、WWWサーバはウィンドウサイズに相当するパケット数を順次クライアントへ送信し、誤ったパケットは再送する。また、再送が R 回失敗したならば、輻輳が発生しているものとみなし、ウィンドウサイズからその半分に当たるパケット数を再送すると仮定した信頼性モデルを設定する。そのとき、送信成功となるまでの平均時間を解析的に導出し、さらに、スループットを最大にする最適方策を議論する。

2 モデルの設定と解析

複数のクライアントとWWWサーバで構成される通信システムを考える。ここでは、あるクライアント（受信側）から送信要求を受信した時点からウィンドウサイズに相当するパケット数が送信成功となるまでの動作に着目してモデル化を行う。

(1) サーバはクライアントからデータ要求を受信した時点でコネクション確立処理を開始する。データ要求にはウィンドウサイズ（送信パケット数 w_1 ）に関する情報を含む。サーバはコネクション確立要求を受信した後、ウィンドウサイズに相当するデータ（送信パケット数 w_1 ）を送信する。サーバがコネクション確立処理に要する時間分布を $A(t)$ （平均 a ）とする。

(2) クライアントはすべてのパケット（ w_1 個）が正常に受信できていれば ACK（acknowledgment：肯定応答）を返し、欠落パケットまたは誤りパケットがある場合は不足しているパケットまたは誤りパケットを NAK（negative ACK：否定応答）を用いてサーバへ通知する。サーバが最後のパケットを送信し、確認応答パケットを受信するまでの経過時間

分布を $D(t)$ （平均 d ）とおく。一つのパケットを損失する確率を p_1 と仮定する。

(3) サーバが一つのパケットを編成し送出するのに要する経過時間分布を $B(t)$ （平均 b ）とおく。 w_1 個のパケットに対し、ACKを受信したならば送信成功。

(4) サーバはクライアントからの返信パケット（ACKまたはNAK）を確認し、NAK対象のパケットがある場合はそのパケットを再送する。

(5) w_1 個の再送が R 回失敗したならば、ネットワーク系に輻輳が発生しているものとみなし、送信を一定時間中断する。この場合、初期状態のウィンドウサイズからその半分に当たるパケット数 $w_2 (< w_1)$ にして再送する。送信パケットの再編集に要する時間分布を $P(t)$ （平均 p ）とおく。なお、このとき一つのパケットを損失する確率は $p_2 (< p_1)$ に低減されるものとする。

(6) w_2 個の再送が R 回失敗したならば、送信を中断して伝送系をチェックし、一定時間後初期状態からやり直す。このやり直すまでの経過時間分布を $C(t)$ （平均 c ）とおく。

(7) 1回目の w_2 個のパケットに対し、ACKを受信したら2回目のパケット（ w_2 個）を送信する。すべてのパケット（ w_1 個）に対し、ACKを受信したら送信成功。

以上の仮定のもとでシステムの状態を次のように定義する。

状態 0：クライアントとのコネクション確立処理開始。

状態 1： w_1 個のパケットを連続的に送信開始。

状態 R_1 ： w_1 個の再送が R 回失敗し、一時中断。

状態 R_2 ：再送パケットを w_2 個にして送信開始。

状態 R_2 ：1回目の再送パケット w_2 個の送信成功、2回目の再送パケット w_2 個の送信開始。

状態 R_3 ： w_2 個の再送が R 回失敗し、一時中断。

状態 S： w_1 個のパケット送信成功。

各状態は、状態 S を吸収状態とするマルコフ再生過程 [4] を形成し、各状態間の推移は図 1 のように表される。送信成功までの平均時間 $f_{0,S}$ は次のように求めることができる。

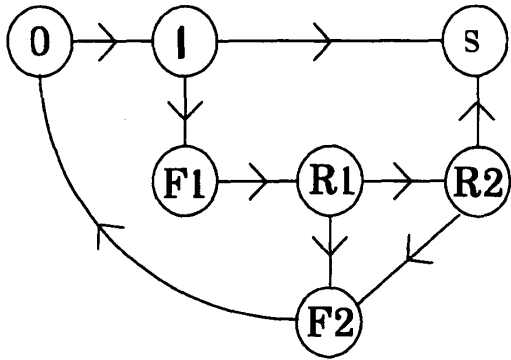


図 1 状態推移図.

$$t_{0,S} = \frac{\alpha + b \left[\begin{array}{c} n_2 \sum_{i=0}^{k-1} p_1^i \\ + [1 - Y_1^{2n_2}][1 + Y_2^{n_2}] \\ \times \sum_{i=0}^{k-1} p_2^i \end{array} \right] + d \left[\begin{array}{c} k - \sum_{i=1}^{k-1} (1 - p_1^i)^{n_2} \\ + [1 - Y_1^{2n_2}][1 + Y_2^{n_2}] \\ \times [k - \sum_{i=1}^{k-1} (1 - p_2^i)^{n_2}] \end{array} \right] + w[1 - Y_1^{n_2}] + \mu[1 - Y_1^{n_2}][1 - Y_2^{2n_2}]}{1 - [1 - Y_1^{n_2}][1 - Y_2^{2n_2}]} \quad (1)$$

ここで、一般に $Y_j \equiv 1 - p_j^k$ とおく。

3 最適方策

ここでは初期状態のウィンドウサイズに相当する全パケットが、送信成功となるまでのスループットを最大にする最適方策を考察する。すなわち、ネットワーク系に輻輳が発生した場合のウィンドウサイズ n_2 に関して、便宜的に $n_1 \equiv 2n_2$ としてスループット $E(n_2)$ を次のように定義する。

$$E(n_2) \equiv \frac{2n_2}{t_{0,S}(n_2)} \quad (2)$$

ここで、

$$t_{0,S}(n_2) \equiv X(n_2) - \mu, \quad (3)$$

$$X(n_2) \equiv \frac{\alpha + b n_2 \left[\begin{array}{c} 2 \sum_{i=0}^{k-1} p_1^i \\ + [1 - Y_1^{2n_2}][1 + Y_2^{n_2}] \\ \times \sum_{i=0}^{k-1} p_2^i \end{array} \right] + d \left[\begin{array}{c} k - \sum_{i=1}^{k-1} (1 - p_1^i)^{2n_2} \\ + [1 - Y_1^{2n_2}][1 + Y_2^{n_2}] \\ \times [k - \sum_{i=1}^{k-1} (1 - p_2^i)^{n_2}] \end{array} \right] + w[1 - Y_1^{2n_2}] + \mu}{1 - [1 - Y_1^{2n_2}][1 - Y_2^{2n_2}]} \quad (4)$$

このとき、 $A(n_2) \equiv 1/E(n_2)$ とおき、 $A(n_2)$ を最小にする最適なウィンドウサイズ n_2^* を求める。

不等式 $A(n_2 + 1) - A(n_2) \geq 0$ とおくと、

$$n_2 X(n_2 + 1) - (n_2 + 1) X(n_2) + \mu \geq 0, \quad (5)$$

を得る。式 (5) の左辺を $L(n_2)$ とおくと、次式を得る。

$$L(n_2 + 1) - L(n_2) = (n_2 + 1) D(n_2). \quad (6)$$

ここで、

$$D(n_2) \equiv [X(n_2 + 2) - X(n_2 + 1)] - [X(n_2 + 1) - X(n_2)]. \quad (7)$$

従って、 $X(n_2)$ が凸関数かつ $D(1) > 0$ ならば、 $L(n_2)$ は $L(1)$ から ∞ までの n_2 の単調増加関数となる。

以上より、次のような結論を得ることができる。

- (i) もし、 $D(1) > 0$ かつ $L(1) < 0$ ならば、式 (6) を満たす有限で唯一の n_2^* が存在する。
- (ii) もし、 $D(1) > 0$ かつ $L(1) \geq 0$ ならば、 $n_2^* = 1$ である。

参考文献

- [1] H. T. Kung and A. Chapman, "Credit-based flow control for ATM networks: Credit update protocol, adaptive credit allocation, and statistical multiplexing," ACM SIGCOMM Computer Communications Review, vol. 24, pp. 101-114, October 1994.
- [2] 田沢力, 山内長承 "Forward Error Correction による損失パケット回復の性能評価", インターネットコンファレンス, 2001.
- [3] 情報処理学会, "新版情報処理ハンドブック", オーム社, 東京都, 1995.
- [4] S. Ozaki, "Applied Stochastic Systems Modeling", Springer-Verlag, Berlin, 1992.