バックプレッシャーを用いた LAN のバックオフ時間推定

非会員 藤本 暁* 非会員 小山 長規* 正員 勝山 豊*

A Backoff Time Estimation in the LAN with the Back Pressure Control

Satoru Fujimoto*, Non-member, Osanori Koyama*, Non-member, Yutaka Katsuyama*, Member

A novel method for the backoff time estimation was investigated theoretically and experimentally and was clarified under an condition of simultaneous data transfer by multi clients in the LAN with the back pressure control.

キーワード : LAN 評価, バックオフ時間, LAN の限界特性, バックプレッシャー

Keywords : LAN Evaluation, Backoff Time, Limiting Performance of LAN, Back Pressure

1. はじめに

近年多様なデータが LAN (Local Area Network) 上で利用されるようになってきた。通常、複数の端末をクライアント(CL)としてサーバに接続し、サーバのデータが利用される。このような LAN 上でトラフィックが増加するとき、著者らは複数の CL が同時にデータ転送を開始する限界条件下の転送時間によって LAN の性能が簡明にあらわせることを明らかにした⁽¹⁾。

一方、LAN の高性能技術が一般化してきている。この中でスイッチングハブが広く使われているが、複数 CL からの要求が重なった場合、パケットをバッファに保存し、ハブと CL の間でフロー制御が行われる。フロー制御の 1 つとして、Back Pressure (BP)を用いる方式が使われている⁽²⁾。著者らの行った限界特性評価は、CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple-Access with Collision Detection)を前提にしていたが、BP でフロー制御が行われる場合、待機するバックオフ時間が遅延を大きくする。本論文では、BP を用いた LAN の限界特性を明らかにするため、平均バックオフ時間の推定を行った結果を報告する。

2. バックプレッシャーLAN におけるバックオフ時間推定と転送時間の定式化

1 つのスイッチングハブに複数の CL が接続され、サーバとデータの送受を行う LAN を対象とする。各 CL がサーバへ同時にデータを転送したとき、サーバへのパスはひとつであるから、輻輳が生じる。衝突を避けるため、BP によるハブはパケットを一旦バッファに保存する。ハブは各 CL にジャム信号を送信し、パケット送信を停止させる。本研究では、汎用性の観点から、10Base-T、100Base-T の LAN を対象とする。

図 1 は、時間軸上でのパケットの流れを表す。全 CL が同

時に転送を開始するとき、ハブは以下のモデルに従い衝突を避けると仮定する。すなわち、ハブは各 CL から 1 パケットずつ受信してバッファに保存し、同時に各 CL にジャム信号を送出してバックオフ時間だけ送信を停止させる。この間にバッファのパケットはサーバに 1 つずつ送信される。CL 側ではバックオフ時間が終了すればパケットを再送信するが、ハブでバッファ内のパケット送信が終了していなければ再度ジャム信号が送出され、CL からの信号を停止させる。終了していれば、次のパケットを各 CL から 1 つずつ受信する。以下 CL からの転送がなくなるまでこれが繰り返されると仮定する。図 1 では、 z は 1 つのパケットがバッファからサーバのポートへ送出される時間を表し、 T は 1 つのパケット u が転送される時間を表す。パケットが待機するバックオフ時間を $G(n, k_0)s$ とし、後で定式化する。このモデルでは、各 CL から 1 つずつパケットを受信し、合計 n 個のパケットの転送を完了するまでの時間は $T + z + G(n, k_0)s$ で表わされ、 $G(n, k_0)s$ は $(n-1)$ 個のパケットを処理するのに要する時間 $(n-1)(T+z)$ より長ければよい。全データを送信し終えるには、この処理を繰り返すことになる。 n 台のすべての CL が同容量のファイル F を転送するとき、その転送時間 $t(F, n)$ は次式で表される。

$$t(F, n) = \frac{F}{u_d} [T + z + G(n, k_0)s] \quad (1)$$

ここで、 u_d は単位パケット容量 (=1460byte) を表す。BP によるバックオフ時間 t_B は次式によって定められる⁽²⁾。

$$t_B = rs \quad (2)$$

図 1 BP LAN におけるサーバへのパケットフロー

Fig. 1. Packet Flow to a Server in BP LAN.

* 大阪府立大学大学院 工学研究科 電気・情報系専攻
〒599-8531 大阪府堺市学園町 1-1
Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University,
1-1 Gakuen-cho, Sakai-shi, Osaka 599-8531

ここで s は 512 ビットの送信にかかるスロット時間であり、10Mbps では $51.2 \mu s$ 、100Mbps では $5.12 \mu s$ である。 r はランダム変数であり、次式で表される^(2,3)。

$$0 \leq r < 2^{k'} \quad (3.1)$$

$$k' = \min(k, 5) \quad (3.2)$$

k はジャム信号の送出回数を表す。

同時転送時のバックオフ時間は CL 台数により変化するが、全てのパケット送信が終了するまで何回かジャム信号が送出される。1 回のジャム信号送出毎のバックオフ時間は、式(3)で制限されるランダム変数により式(2)で決まるが、パケットは多数回送出されると考えられ、 r を平均値として扱う。 k 回目のジャム信号を送出するとき、ランダム変数 r の平均値は、式(3.1)から

$$\bar{r}_k = \sum_{j=0}^{2^k-1} j / 2^k = \frac{1}{2}(2^k - 1) \quad (k \leq 5) \quad (4.1)$$

$$\bar{r}_k = \sum_{j=0}^{2^5-1} j / 2^5 = \frac{1}{2}(2^5 - 1) \quad (k \geq 6) \quad (4.2)$$

で表される。 k 回目のジャム信号送出後に、それまでの時間を含めた合計の待機時間は、 r の平均値の累積値

$$G(k) = \sum_{j=1}^k \bar{r}_j = (2^k - 1) - \frac{1}{2}k \quad (k \leq 5) \quad (5.1)$$

$$G(k) = \frac{31}{2}k - 111 \quad (k \geq 6) \quad (5.2)$$

から求められる。図 1 に示したパケットフローで、続けてパケットをサーバに転送できる条件は、バックオフ時間 $G(n, k)s$ が次式を満たす最小の k ($=k_0$) に対応し、 k_0 回ジャム信号を送出することで満たされる。

$$G(n, k_0)s > (n-1)(T+z) \quad (6)$$

ここで、 $G(n, k_0)$ は、式(5)に対応する特定の値であり、無単位の数である。 s は上記のスロット時間である。式(6)から k_0 を求めるため、右辺 $(n-1)(T+z)$ と左辺 $t(k) = G(n, k)s$ を 10Base の場合に計算した値を図 2 に示す。 T は単位データ容量 $u_d = 1,460 \text{ byte}$ に TCP や IP のヘッダなどが加わった 1 つのパケット u を転送する時間であり、これに対応する測定値を使った。10Mbps の場合 $T = 1.360 \text{ ms}$ である⁽¹⁾。また、 z も測定値 $z = 0.00136 \text{ ms}$ ⁽¹⁾を使った。求める k_0 は、 $(n-1)(T+z)$ を越え、かつこの値に近い $t(k)$ であるが、一意的に定まらない。このため $(n-1)(T+z)$ を越える $t(k)$ の k の中で最小の k を $k_{\min}$ とし $k_0 = k_{\min} + 1$ となる k_0 を選定し、図 2 中に各 n に対してプロットした。このようにして求めた k_0 と対応する $G(n, k_0)$ の値を表 1 にまとめた。100Base の場合も同様に $T = 0.131 \text{ ms}$ の値を用いて求められ、結果は表 1 と同一になる。

3. 測定値と計算値の比較

同時転送時の転送時間を測定した結果を図 3 に示す。測定には本実験用に開発したツール⁽¹⁾を用い、ファイルサイズ F と CL 台数 n を変えることにより測定した。動作環境として、サーバの OS は Windows2000 Server を、CL には、Windows2000 Professional を用いた。表 1 の値を使い、式(1)から求めた計算値も合わせて示したが、測定値と計算値はよく一致した。この結果から、同時転送時の転送時間は式(1)でよく表せること、BP による平均バックオフ時間の推定に

図 2 ジャム信号送出回数 k の推定

Fig. 2. Estimation of Backoff Number k .

図 3 転送時間の測定値と計算値の比較

Fig. 3. Measured and Calculated Values of the Transfer Time.

表 1 ジャム信号送出回数 k_0 と $G(n, k_0)$ の値

Table 1. Backoff Number k_0 and the Value of $G(n, k_0)$.

n	1	2	3	4	5	6	7	8
k_0	0	6	8	10	11	13	15	16
$G(n, k_0)$	0	44	75	106	121.5	152.5	183.5	199

は表 1 の値を採用することが妥当なことがわかった。また、表 1 から、CL 台数 $n=8$ で $k_0=16$ となることがわかる。バックオフアルゴリズムでは送出回数の最大値を 16 としており、これを越えたとリセットされる。従って式(1)-(6)は n が 8 までの場合に適用できる。

4. まとめ

フロー制御方式に BP を用いた LAN において、CL が同時にサーバにファイルを転送する同時転送時にパケットの流れをモデル化し、BP による平均バックオフ時間の推定方法を示した。BP による LAN の輻輳時のパラメータとしてバックオフ時間は基本的な量であり、その値を推定する手法と結果は、BP を用いた LAN の輻輳時の特性の明確化に有用である。また、8 台までの CL 台数に対し、同時転送時の転送時間を求める式を導出し、本結果による値を使ってバックオフ時間を含む転送時間を計算できるようにし、特性の定量的評価を可能とした。

(平成 15 年 4 月 14 日受付、平成 15 年 7 月 2 日再受付)

文 献

- (1) 藤本 暁, 辻村和江, 林 哲史, 王 建, 勝山 豊:「ファイル転送時間に基づく輻輳時のクライアント/サーバ型 LAN の限界特性」, 信学論(B), **J85-B**, 6, pp.1010-1013 (2002-6)
- (2) Rich Seifert: "The Switch Book", John Wiley & Sons (2000)
- (3) IEEE Standard 802.3x, Specification for 802.3 Full Duplex Operation, 1997 (now published as part of [IEEE98e])