

リングプライオリティ型自己トークン プロトコルの性能解析

小山 明夫* 丹野 州宣* 野口 正一**

*山形大学工学部 **日本大学工学部

koyama@etn.yz.yamagata-u.ac.jp

自己トークンプロトコルは、マルチプルトークン方式とバッファインサージョン方式を併用することによりバンド幅の効率的な利用とリングアクセスに対する公正さを合わせ持ったリング型LAN/MAN用プロトコルである。自己トークンプロトコルは、FDDIプロトコルよりスループット平均伝達時間特性が優れていることが既にシミュレーションによって明らかにされている。

本文では、従来のステーションプライオリティ型自己トークンプロトコルを改良し、転送パケットを受信ステーションで除去することによりリングの利用効率をさらに高めた、リングプライオリティ型自己トークンプロトコルの性能解析について述べる。解析の手法としては、W.BuxとM.Schlatterにより示されたバッファインサージョンプロトコルの解析法を拡張した待ち行列による近似解析を示す。また、この解析の有効性を検証するためシミュレーションの値と比較した結果、非常に誤差の少ない近似法であることを示す。

Performance Analysis of Ring Priority Self-Token Protocol

Akio KOYAMA*, Kuninobu TANNO* and Syouichi NOGUCHI**

* Faculty of Engineering, Yamagata University

** Faculty of Engineering, Nihon University

The self-token protocol with station priority, which we have been studied, realizes high bandwidth utility and fair channel access by combining the multiple-token method and the register insertion method together.

In this paper, we describe performance analysis of a ring priority self-token protocol instead of the station priority self-token protocol which we have studied for several years. The new protocol obtains larger throughput than the old protocol because the former can remove packets at destination station, but the latter can not. The approximate analysis is made by extending the queueing model developed for the register insertion protocol by W. Bux and M. Schlatter. The analytical results show that the ring priority method have larger throughput about 1.5 times than the station priority method. Comparisons of analysis with simulation give few differences between analytical and simulation values.

1. はじめに

近年、ワークステーションやパソコンなどの高速化・高性能化・マルチメディア化に伴って、それらを相互に接続するローカル・エリア・ネットワーク(LAN)の高速化が求められている。このような高速マルチメディアLANに要求されることは、最小限の遅延で大量のデータを転送することである。この要求を満たすLANを実現するには、伝送媒体のデータ転送速度の向上だけでなく効率的なチャネルアクセスプロトコルの開発が重要となる⁽¹⁾。

このような要求に応えるため、筆者らは、低遅延で高スループットが期待できる「自己トークンプロトコル」と呼ばれる新しい高速リングLANプロトコルの研究開発を行ってきた⁽²⁾。自己トークンプロトコルは、マルチプルトークン方式とバッファインサージョン方式を併用することによりバンド幅の効率的な利用と公平なチャネルアクセスを実現する。

本文では、従来のステーションプライオリティ型自己トークンプロトコルを改良し、転送パケットを受信ステーションで除去することによりリングの利用効率をさらに高めた、リングプライオリティ型自己トークンプロトコル⁽³⁾の性能解析について述べる。解析の手法としては、文献(4)に示されたバッファインサージョンプロトコルの解析法を拡張した待ち行列による近似解析を示す。また、この解析の有効性を検証するためシミュレーションの値と比較した結果、非常に誤差の少ない近似法であることを示す。以下リングプライオリティ型自己トークンプロトコルを単に自己トークンプロトコルと記述する。

2. 自己トークンプロトコルの基本動作

自己トークンプロトコルでは、マルチプル・トークン方式をサポートするために、各ステーションに「自己トークン」と呼ばれる固有のトークンを1個ないしは複数個割当てる。ここで、ステーションが保持している自己トークンの状態をフリー、送信されたパケットの先頭に付けられた自己トークンの状態をビジーと呼ぶことにする。各ステーションは、自己トークンがフリーでインサージョンバッファが空いていれば、送信を開始できる。ただし、ステーションを通過中のパケットがあれば、そのパケットが通過してから送信を始める。すなわち、リングプライオリティ方式となる⁽⁴⁾。また、送信中に到着したリピートパケットを一時的に蓄えるインサージョンバッファを用意する。インサージョンバッファの長さは、送信パケット1個分の長さのものを用意すればよいので最大パケット長となる。また、送信を待つパケットのための送信バッファ(同期用と非同

同期用)、受信パケットを格納するための受信バッファ、自己トークンを保持するための自己トークンバッファ(同期用と非同同期用)、これらのバッファの切替を行うスイッチも用意する。すると、ステーションの構成は、図1のようなになる。図示のステーションの動作をスイッチの切替条件で説明すると、次のようになる。

- (1) インサージョンバッファが空きでかつ送信状態が整っていない場合(自己トークンが全てビジーか送信バッファが空き)。
- (2) インサージョンバッファにパケットがある場合。
- (3) 通過中のパケットがなくさらにインサージョンバッファが空きで送信状態が整っている場合(自己トークンが少なくとも1つあり、送信バッファにパケットがある)。
- (4) (3)で自己トークンが送られたのに続いて、送信バッファからデータの送信が行われ、(3)と(4)の操作で新しいパケットが作られる。ここで、少なくとも1つのフリーの自己トークンがあるか、あるいは全ての自己トークンがビジーかは、自己トークンバッファが空きか否かを調べることによって判定される。

各ステーションは、リングの上位に位置するステーションからリピートされてきたパケットが自分宛のものか、あるいは自ステーションが送信した自己トークンであるかレシーバで解釈する。もし、自

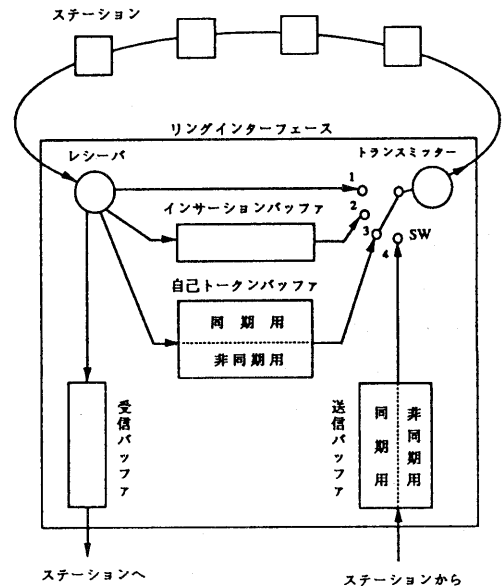


図1 ステーションの構成

ステーション宛のケットであれば、データ部分を受信バッファに格納しリングから取り除く。但し、ケットの中の自己トークンの部分だけは送信ステーションに戻してやる。受信ステーションでケットを取り除くことは、バンド幅を再利用することになり、リングのスループットを飛躍的に増加させる。また、自ステーションが送信した自己トークンであれば、それをビジートークンからフリートークンに変えて自己トークンバッファに格納する。そのために、各ステーションにおいては、自己トークンのアドレス解読のため15バイトの遅延が生じることになる。

3. 性能解析

自己トークンプロトコルの性能解析を行うが、本プロトコルのようにマルチプル・トークンとバッファインサージョン方式を併用したプロトコルの厳密な解析は一般に困難である。本文では文献(4)に示されたバッファインサージョンプロトコルの解析法を拡張した待ち行列による近似解析を示す。また、解析結果の有効性を検証するため、シミュレーションの結果と比較する。性能の尺度としては一般的に使用されているスループットと平均伝達時間の関係を用いる。ここで、平均伝達時間(応答時間)とは、送信ステーションでのケット発生から待ち時間を経て、送信され、受信ステーションでのコピーが終るまでの時間の平均である。スループットとは、1秒間にリング上を流れたケットの合計ビット数である。

3.1 近似解析

リングの諸条件を次のように仮定する。

- (1) 送信するケット長は、指数分布とする、
- (2) 送信するケットの到着は、ポアソン分布とする、
- (3) 送信ステーションに対して、受信ステーションはリング上に一様に分布する、
- (4) トークン数は1個とする。
- (5) 送信ケットのデータ部は、受信ステーションで取り除くこととする。
- (6) リングの全長は10kmとする。
- (7) 転送速度は1Gbpsとする。
- (8) 全てのステーションでこれらのパラメータが全て等しい均等システムである。

次の諸量がモデルに与えられるパラメータである。 C :リングの伝送速度、 N :ステーション数、 H :ヘッダとトレイラ長、 L :データ長($H+L$:ケット長)、 T_c :自己トークン数。自己トークンプロトコルにおけるステーションの近似解析モデルを図2

に示す(図1参照)。同図において、ステーションに到着したケットは、送信バッファ1での自己トークン待ち時間 W_{t1} 、送信バッファ2での送信待ち時間 W_t 、ケットの送信時間 $E[T]$ (式(1)参照)を経過の後リング上に送信される。なお、このモデルでは、リングプライオリティを仮定しているので、送信バッファとインサージョンバッファにケットが存在している場合、インサージョンバッファの方が優先される。図2に対して、さらに次の諸量を導入する。

- データの長さの平均 \bar{L} と2乗平均 \bar{L}^2 、
- λ_t :各ステーションへのケット到着率、
- λ_r :インサージョンバッファへのケット到着率、
- τ :ケットがケーブルを1周するのに要する伝搬遅延時間(ケーブル長[km] $\times 5 \mu s$)、
- h :送受信アドレスを解読するのに要する時間。

前述のように、ここではバッファインサージョンプロトコルを解析する待ち行列モデルを利用するので、先ずそれについて述べる。

3.1.1 バッファインサージョンプロトコル

図2において自己トークンの待ち時間と自己トークン獲得窓口を除くとリングプライオリティのバッファインサージョンプロトコルの待ち行列モデルとなる。ただし、送信バッファ2での待ち時間を W_t 、中継ステーションのインサージョンバッファでのリピート遅延を W_r で表わす。図2において、ケットの送信時間の平均 $E[T]$ と2乗平均 $E[T^2]$ はそれぞれ、

$$E[T] = (H + \bar{L}) / C \quad (1)$$

$$E[T^2] = (H^2 + 2H\bar{L} + \bar{L}^2) / C^2 \quad (2)$$

であり、送信バッファ2での送信待ち時間 W_t 、中

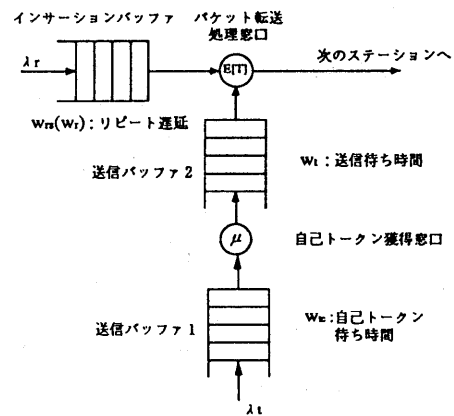


図2 解析モデル

継ステーションのインサージョンバッファでのリピート待ち時間 W_r は、それぞれ式 (3), 式 (4) のように与えられる (4)。

$$W_r = \frac{(\rho_r + \rho_i)E[T^2]}{2(1 - \rho_r - \rho_i)(1 - \rho_i)E[T]} \quad (3)$$

$$W_r = \frac{\rho_i E[T^2]}{2(1 - \rho_i)E[T]} \quad (4)$$

ただし、 $\rho_i = \lambda_i E[T]$, $\rho_r = \lambda_r E[T]$ である。また、インサージョンバッファへのパケット到着率は、パケットのデータ部が受信ステーションで取り除かれることより、

$$\lambda_r = \left(\frac{N}{2} - 1\right)\lambda_i \quad (5)$$

与えられる。

3. 1. 2 自己トークンプロトコル

(a) リピート遅延 (W_{rs}) の算出

ここでは、 W_{rs} の近似式を導出する。いま、ステーションへのパケット到着率 λ_t が小さい場合を考える。バッファインサージョンプロトコルの場合、到着パケットは、送信バッファ 2 でほとんど待つことなしにリングに送出される。一方、自己トークンプロトコルでも到着パケットは、直ちに自己トークンを確保できるので、送信バッファ 1 でも送信バッファ 2 でもほとんど待つことなしにリングに送出される。したがって、インサージョンバッファでのリピート遅延 W_{rs} と W_r はほぼ等しいと考えられる。

次に、 λ_t が増加し、送信バッファがフルロード (バッファインサージョンプロトコルでは送信バッファ 2 に、自己トークンプロトコルでは送信バッファ 1 に少なくとも 1 個以上のパケットが存在する) の状態を考える。バッファインサージョンプロトコルでは、リピート遅延は急激に増加する。なぜならば、送信バッファ 2 内のパケットは連続してリングに送出されるため、インサージョンバッファに到着するパケットがリピートされる確率が高くなるからである。次に、自己トークンプロトコルを考えるが、この場合はフルロードであっても、自己トークンが無ければ送信待ちとなる。この結果、バッファインサージョンプロトコルと比較すると、スループットが S 、回線容量が $2C$ (受信ステーションでパケットを除去するので、その再利用を考えている) のとき、ステーションは確率 $(S/2C)$ で自己トークン待ち状態に、確率 $(1 - S/2C)$ でパケット送信状態にあると解釈できる。なぜならば、パケットがリングを 1 周する時間はおおよそ

$(S/2C)$ に比例すると近似できるからである。このことから、フルロードの場合インサージョンバッファに到着するパケットがリピートされる確率と、されない確率はそれぞれ $(1 - S/2C)$ と $(S/2C)$ となる。

以上より、自己トークンプロトコルのリピート遅延 W_{rs} を式 (4) のバッファインサージョンプロトコルのリピート遅延 W_r を用いて近似すると式 (6) のようになる。

$$W_{rs} = (1 - S/2C)W_r \quad (6)$$

式 (6) は、 W_{rs} を S が 0 に近い値のときは W_r で、 S が大きな値のときは W_r とインサージョンバッファに到着するパケットのリピートされる確率 $(1 - S/2C)$ の積で近似することを意味している。なお、スループット S は、

$$S = \lambda_i N(H + \bar{L}) \quad (7)$$

と与えられる。

自己トークンがリングに送出され、リングを 1 周して元のステーションに戻るまでに要する時間を R とする。 R は送信バッファ 2 での送信待ち時間 W_t 、各ステーションのインサージョンバッファでのリピート遅延およびアドレス解読時間 (この場合は自ステーションも含む)、それに伝搬遅延時間の和となるので、式 (3), (6) を考慮して、

$$R = W_t + (N - 1)W_{rs} + hN + \tau \quad (8)$$

と求められる。

(b) トークン待ち時間 (W_{tc}) の算出

式 (8) より、自己トークン獲得窓口での平均サービス率 μ を考えると、それはトークンが 1 周する時間分の 1 となるから、

$$\mu = \frac{1}{R} \quad (9)$$

与えられる。したがって、ステーションのトラヒック強度 ρ を考えると、式 (8) より、

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda_t}{\mu} \\ &= \lambda_t R \end{aligned} \quad (10)$$

である。 ρ はサービス率 μ の窓口の利用率を表わすと考えられ、 $\rho < 1$ である。送信バッファ 1 の先頭のパケットは自己トークンを獲得するのに平均 $R/2$ 待つので、

$$W_{tc} = \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{R}{2} \quad (11)$$

と近似することができる。すなわち、 $\rho = 0$ のとき

$W_{ic} = 0$ に、 $\rho = 0.5$ のとき $W_{ic} = R/2$ に、 $\rho \rightarrow 1$ のとき $W_{ic} \rightarrow \infty$ となるように近似する。したがって、式(10)を考慮すると、 W_{ic} は

$$W_{ic} = \frac{\lambda_i R^2}{2(1-\lambda_i R)} \quad (12)$$

と近似される。

(c) 平均伝達時間 (W) の算出

式(1)、(3)、(6)、(12)より、結局パケットの平均伝達時間 W は、

$$W = W_{ic} + W_1 + E[T] + (N/2 - 1)W_{Tn} + hN/2 + \tau/2 \quad (13)$$

と得られる。式(13)において第1項は送信バッファ1での自己トークンの平均待ち時間、第2項は送信バッファ2での平均送信待ち時間、第3項は平均送信時間、第4項は受信ステーションに届くまでの平均リピート待ち時間、第5項は受信ステーションに届くまでの送受信アドレス平均解読時間、第6項は受信ステーションに届くまでの平均ケーブル遅延である。

3.2 解析値とシミュレーション値の比較

図3は、パケット長をパラメータとした時のスループット対平均伝達時間の特性である。自己トークン数は1個でステーション数は32台である。データ長が1000バイトではスループットに対する平均伝達時間は約500Mbpsで急激に増加する。

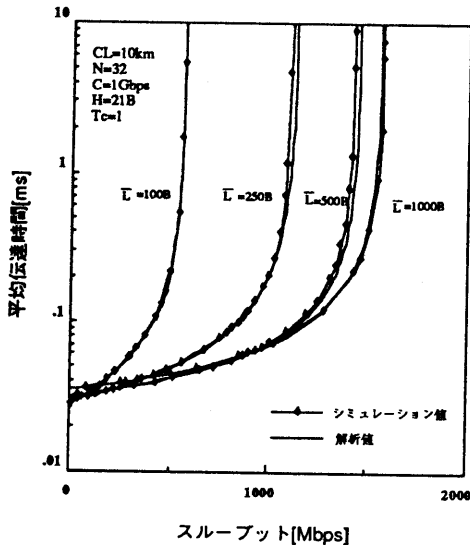


図3 パケット長をパラメータとしたスループット対平均伝達時間特性 (N=32)

すなわちデータ長が1000バイトの場合(パケット長は121バイト)、最大スループットは、約560Mbpsとなる。データ長を250バイトにしてみると、スループットの上限は約1100Mbpsと大きくなっている。データ長を1000バイトにするとさらにスループットが大きくなり、約1560Mbpsとなることがわかる。したがって、データ長を長くすることによってスループットを大きくすることができる。

解析値とシミュレーション値の伝達遅延を比較すると、スループットが最大スループットに近づくにつれて解析値のほうがシミュレーション値より若干小さくなる傾向がある。しかし、その他の場合は、解析値がシミュレーション値を良く近似していることがわかる。

図4は、ステーション数を100台にし、それ以外のパラメータは図3と同じにした時のスループット対平均伝達時間の特性である。データ長が1000バイトのときは、最大スループットは約1340Mbpsで、250バイトでは約1660Mbpsになり、500バイトでは1750Mbpsになる。この場合も図3と同じように最大スループットでは誤差が若干生じるがそれ以外は非常に良く近似されていることがわかる。また、図4の特性は、自己トークンプロトコルが大規模なネットワークにも適合できることを示している。

図5は、以前提案したステーションプライオリ

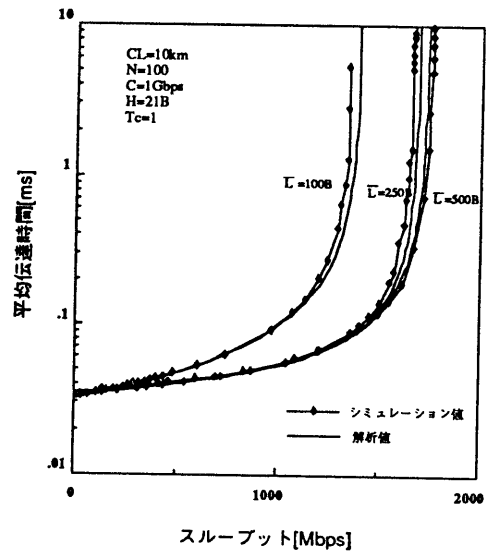


図4 パケット長をパラメータとしたスループット対平均伝達時間特性 (N=100)

表1 最大スループットの比較

| データ長[B] | SP型[Mbps] | RP型[Mbps] | スループットの伸び |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 100 | 558 | 565 | 1.01 |
| 250 | 928 | 1127 | 1.21 |
| 500 | 980 | 1451 | 1.48 |
| 1000 | 992 | 1555 | 1.57 |

ティ型自己トークンプロトコル (SP型) の解析結果とリングプライオリティ型自己トークンプロトコル (RP型) の解析結果のスループット対平均伝達時間の比較である。また、各データ長に対する最大スループットの比較を表1に示す。データ長が1000バイトの時はSP型とRP型ではほぼ同じ様な最大スループットになる。データ長を250バイトにするとRP型の最大スループットは、SP型の最大スループットより1.21倍伸びる。データ長を500バイトにすると1.48倍、1000バイトにすると1.57倍とデータ長が長くなるにつれて最大スループットが伸びることがわかる。これは、SP型がインサージョンバッファの長さを有限にするために転送パケットを送信ステーションで除去する方法を採用しているため、最大スループットが1000Mbps (転送速度が1Gbpsのため) で飽和するのに対して、RP型は転送パケットを受信ステーションで除去する方式を採用している (インサージョンバッ

ファの長さは有限 (最大パケット長) ができる) ので、受信ステーションがリング上に一様に分布する場合最大スループットは2000Mbps (2Gbps) まで伸ばすことができるためである。

5. むすび

リング上の各ステーションに自己トークンと呼ばれる各ステーションに固有のトークンを割り当て、バンド幅の空間再利用を行うことにより、スループットの増加と伝達時間の短縮を目的としたLANプロトコルの性能解析を行った。その結果、

- (1) 本近似解析法の有効性をシミュレーションの結果と比較し検証したら、非常に良く近似されている。
- (2) 本プロトコルは、データ長を長くすることにより全体のスループットを伸ばすことができる。
- (3) 各ステーションにトークンを1個割り当てた場合、リングプライオリティ型はステーションプライオリティ型より、データ長を長くすることによって最大スループットを1.5倍以上に伸ばすことができる。

ということがわかった。

今後は、2重リングにした場合の特性や本プロトコルのATMリングへの適用などについての研究を続けたい。

[参考文献]

- (1) W.Abeysundara and E.Kamal: "High-Speed Local Area Networks and Their Performance: A Survey", ACM Computing Surveys, Vol.23, No.2, pp.221-264, 1991.
- (2) 丹野, 武田, 小山, 野口: "自己トークンプロトコルによる高速リングLAN", 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.3, pp.753-762, 1995.
- (3) 小山, 丹野, 野口: "リングプライオリティ型自己トークンLAN", 情報処理学会研究報告 (95-DPS-70), Vol.95, No.53, pp.123-128, 1995.
- (4) W.Bux and M.Schlatter: "An Approximate Method for the Performance Analysis of Buffer Insertion Rings," IEEE Trans. Commun., vol.COM-31, No.1, pp. 50-55, Jan. 1983.

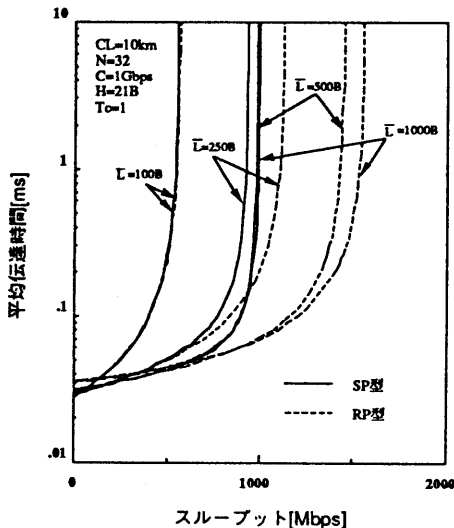


図5 ステーションプライオリティ型とリングプライオリティ型の比較