

リングプライオリティ型自己トークンLAN

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

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取り除き、伝送媒体のより効果的な空間の再利用を行うことによりスループットを従来方式の約2倍に改善するリングプライオリティ型自己トークンプロトコルについて述べる。一般に空間の再利用を行うとチャンネルアクセスに対する不公正さやスタベーションが発生する。本プロトコルは、各ステーションに適当な数の自己トークンを割り当てて効果的に空間の再利用を図り、高いスループットを保ちながらリングアクセスに対する公正さを実現し、しかもスタベーションを回避できることを示す。また、本プロトコルを拡張し、ステーションにある数のトークンを割り当てることにより公正さとスループットの双方を満足させる2方式について述べ、シミュレーションによりその性能評価を行う。

Self-Token LAN Protocol with Ring Priority

Akio KOYAMA[†], Kuninobu TANNO[†] and Syoichi 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 address the self-token protocol without station priority, but with ring priority. The new protocol is designed to do efficient spatial reuse of transmission media by removing packets at the destination stations, and then get higher throughput about twice than the old protocol. In general, the spatial reuse derives unfair channel access and starvation at stations. This protocol assigns a suitable number of private tokens, called the self-tokens, to each station to maintain fair channel access and to prevent starvation while high throughput is kept. However, it is difficult to determine always the suitable number of self-tokens under any traffic conditions. Then we enhance this protocol and show two methods to satisfy throughput and fairness characteristics by assigning a certain number of self-tokens instead of the suitable number of self-tokens. Finally, we simulate and evaluate the protocol.

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。

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してきた⁽¹⁾。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により高スループットとチャネルアクセスに対する公正さを実現する。

本文では、従来の自己トークンプロトコルを改良し、スループットを改善するための方法について述べる。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では、インサージョンバッファの大きさを有限にするため、転送バケットは、送信ステーションで取り除いていた。改良したリングプライオリティ型自己トークンプロトコルでは、スループットを改善するために転送バケットを受信ステーションで取り除く方式を採用する(リングプライオリティ型の場合受信ステーションでバケットを取り除いてもインサージョンバッファ長は有限にできる)。このことにより、より効果的な空間の再利用を実現し、リングのスループットを飛躍的に高めることが可能となる。一般に空間の再利用を行うとチャネルアクセスに対する不公正さやスタベーションが発生する。本プロトコルでは、自己トークンを適当な数だけ各ステーションに割り当てることにより高いスループットを保つと同時にリングアクセスに対する公正さを持ち、スタベーションを回避できることを示す。また、本プロトコルを拡張し、ステーションにある数のトークンを割り当てることにより公正さとスループットの双方を満足させることのできる2方式について示し、シミュレーションによりその性能評価なども行う。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、送信されたバ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バケットがあれば、そのバ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⁽²⁾。また、送信中に到着したリピートバ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、送信バケット1個分の長さのものを用意すればよいので最大バケット長となる。また、送信を待つバケットのための送信バッファ(同期用と非同期用)、受信バ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バケットがある場合。
- (3) 通過中のバ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、送信バッファにバケットがある)。
- (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、

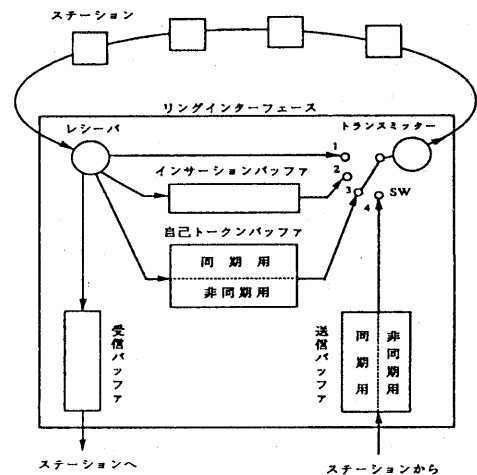


図1 ステーションの構成

(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ポ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読する。もし、自ステーション宛のパケットであれば、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、パ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パ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. 性能評価

自己トークンプロトコルの性能評価をシミュレーションを用いて行う。性能評価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パ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受信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パケットの合計ビット数である。

また、リングの諸条件を次のように仮定する。

- (1) 送信するパケット長は、指数分布とする。
- (2) 送信するパケットの到着は、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) リングには等間隔に32台のステーションが接続されている。
- (5) リングの全長は10kmとする。
- (6) 転送速度は1Gbpsとする。

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:パケット長), Tc:自己トークン数。

3.1 スループット平均伝達時間の特性

図2は、データ長を500バイトとした時のFDDI、従来のステーションプライオリティ型自己トークン(ST-sp)、リングプライオリティ型自己トークン(ST-rp)及びバッファインサージョンプロトコル(BI)のスループット平均伝達時間の特性である。自己トークンプロトコル及びバッファインサージョンプロトコルに関しては、それぞれのプロトコルを忠実にシミュレートした。一方、FDDIには、同期/非同期送信の二つの送信モードがある。同期送信モードはターゲット・トークン・ローテーション・タイム(TTRT)に関係なくトークンを受け取るたびにパケットの送信を保証したものである(3)、性能評価の際は非同期送信モードを扱うだけで十分であると考えられている(4)。本論文でも非同期送信モードのみを取り扱う。図示のように、本プロトコルはFDDIや従来型の自己トークンプロトコルより優れた特性を示している。ただ、バッファインサージョンプロトコルよりは少しだけ特性が劣っている。これは、本プロトコルがバッファインサージョンプロトコルに対して公正さを持たせるために自己トークンによって送信を制御しているためである。また本プロトコルは、各ステーションに割り当てる自己トークンの数を1, 2, 4, 6個と増やすことによって特性が良くなっていることがわかる。ただ、4個と6個では、特性がほとんど同じになる。これは自己トークンがパケットを送出するのに使用されずに、ステーション内の自己トークンバッファに留まっている割合が増加するためである。したがって、各ステーションに割り当てる自己トークンの数には自ずと上限があり、この場合4個あるいは

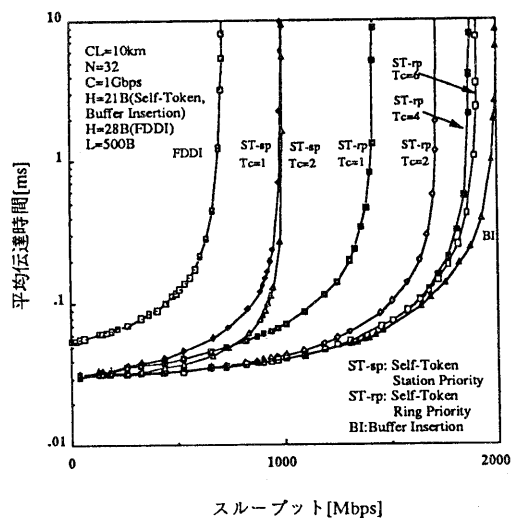


図2 プロトコルの比較

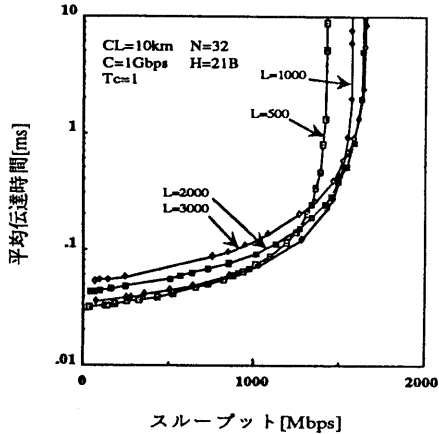


図3 パケット長をパラメータとしたときのスループット-平均伝達時間の特性

6個程度割り当てれば良いと思われる。

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-平均伝達時間の特性である。自己トークン数は1個である。データ長を500, 1000, 2000, 3000バイトと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。ただし、2000バイトと3000バイトでは、最大スループットがほぼ同じ値になっている。また、データ長を長くすると送信時間が長くなりその分平均伝達時間も長くなる。したがって、パケット長に関する上限があり、この例では2000バイト位が上限であると思われる。

3.2 公正さの評価

ここでは、特別なトラフィック条件のもとで公正さを評価する⁽⁵⁾。すなわち、全てのステーションは同じデータ到着率を持つが、No. 16のステーションだけは、他のステーションによって決して宛先に選ばれないものとする。

まず、バッファインサージョンプロトコルについて考える。バッファインサージョンプロトコルにおいて各ステーションは、インサージョンバッファが空いたときのみパケットを送信できるが、飽和時には、受信ステーションとなってリングからパケットを取り除かないとインサージョンバッファは空かない。このシナリオでは、No. 16のステーションは、宛先のステーションに選ばれないので飽和時にリングへのアクセスができない状態（スタベーション）になる。図4に飽和時のバッファインサージョンプロトコルのスループット特性を示す。この図でNo. 16のステーションのスループットは、ほぼ0となりスタベーションの状態に陥る。

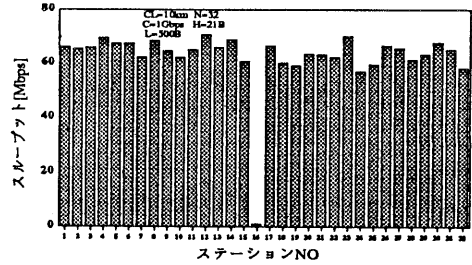
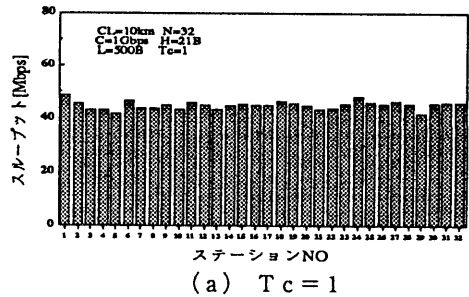
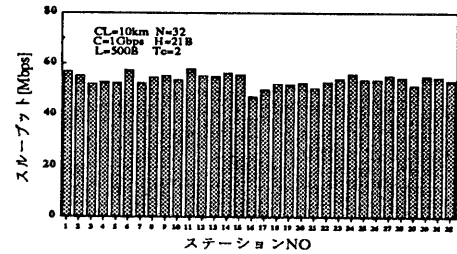


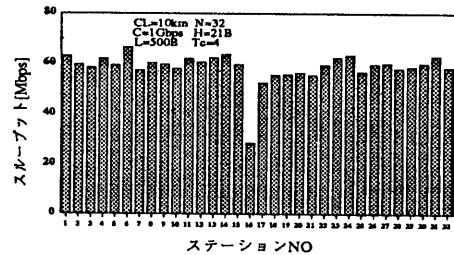
図4 バッファインサージョンプロトコルのスループット特性



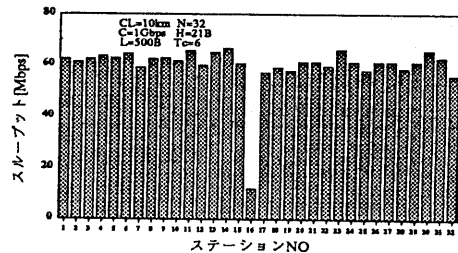
(a) $T_c = 1$



(b) $T_c = 2$



(c) $T_c = 4$



(d) $T_c = 6$

図5 自己トークンプロトコルのスループット特性

このスタベーションの問題は、自己トークンプロトコルにおいて割り当てる自己トークンの数を制御することによって改善される。図5(a)はこのシナリオのもとで各ステーションに1個の自己トークンを割り当てた場合の飽和時の自己トークンプロトコルのスループット特性である。この図でNo.16のステーションのスループットは、他のステーションのスループットと同じくらいになり、公正さが保たれていることがわかる。また、全体のスループットは図2より1426 Mbpsでバッファインサージョンプロトコルのスループット1999 Mbpsより28.7%減少している。

次に各ステーションに割り当てる自己トークンの数を2個にした場合のスループット特性を図5(b)に示す。この図よりNo.16のステーションのスループットは、47.063 Mbpsで全体の平均53.832 Mbpsより12.6%減少している。全体のスループットは図2より1717 Mbpsでバッファインサージョンリングのスループットより14.2%減少している。

図5(c)は、各ステーションに割り当てる自己トークンの数を4個にした場合のスループット特性である。この図よりNo.16のステーションのスループットは、28.234 Mbpsで全体の平均58.611 Mbpsの約半分の51.8%減少している。全体のスループットは図2より1873 Mbpsでバッファインサージョンプロトコルのスループットより6.35%減少している。

さらに各ステーションに割り当てる自己トークンの数を6個にしたものが図5(d)である。この図よりNo.16のステーションのスループットは11.577 Mbpsで全体の平均59.805 Mbpsより80.6%減少している。全体のスループットは図2より約1906 Mbpsでバッファインサージョンリングのスループットより4.7%減少している。

以上より、各ステーションに割り当てる自己トークンの数を少なくすることで公正さは良くなるが全体のスループットは伸びない。また、自己トークン数を増やすことにより公正さは悪化するが全体のスループットは伸びるということがわかる。したがって、各ステーションに割り当てる自己トークン数に関して公正さとスループットはトレードオフの関係にあることがわかる。また、この条件では、自己トークンの数を2個位割り当てることにより公正さとスループットの両方を満足することができる。

3.3 自己トークンプロトコルの拡張

3.2節では、各ステーションに適当な数の自己

トークンを割り当てることにより、スループットと公正さの双方を満足できることを示したが、様々な通信条件の下で適当な自己トークンの数を求めることは非常に困難である。この節では、ある数の自己トークンを与えることにより公正さとスループットの双方を満足させる2つの方法について述べる。

3.3.1 ラウンド方式

本方式では、各ステーションに少し多めに自己トークンを割り当てる。例えば3.2節の例では6個位である。本方式は、各ラウンドごとに保有している自己トークン数分のバケットを送ることができる。ただし、そのラウンドで送るデータがない場合は、その通知を全ステーションにブロードキャストする。各ステーションは通過するバケットを監視し、全ステーションが自己トークン数分の送信を完了したと判断したら次のラウンドに入る。本方式では、各ステーションは1ラウンド中に保有している自己トークン数分のバケットを送ることが保証されるので非常に公正な通信を実現することができる。

3.3.2 タイマー方式

本方式もラウンド方式と同様に各ステーションに少し多めに自己トークンを割り当てる。本方式は、自己トークンがリングを1周する時間を計測することによりリングのトラヒック状態を検知し、自己トークンの数を動的に変更する方式である。具体的に説明すると、各ステーションは自己トークンがリングを1周する時間(T)を計測し、その時間がしきい値(Limit)より大きくなった場合、リング上のトラヒックが大きくなったと判断し、そのステーションの自己トークンの数を1つ減らしてやる。また、1周する時間がしきい値より小さくなった場合はリング上のトラヒックが小さくなったと判断し、自己トークンの数を1つ増やしてやる。以上のことをまとめると以下ようになる。

(1) $T > \text{Limit}$ の場合

$$T_c = T_c - 1$$

(2) $T \leq \text{Limit}$ の場合

$$T_c = T_c + 1$$

但し、 $1 \leq T_c \leq T_{c \max}$

$T_{c \max}$ は、割り当てられた自己トークンの数

3.3.3 比較

図6(a)は、3.2節で述べたシナリオと同じ条件で通信を行った場合のラウンド方式の公正さの特性図である。ただし、自己トークンの数は6個である。この図より各ステーションのスループットは、ほぼ同じ値になっている。したがって、ラウン

ド方式では、公正な通信が実現できるということがわかる。

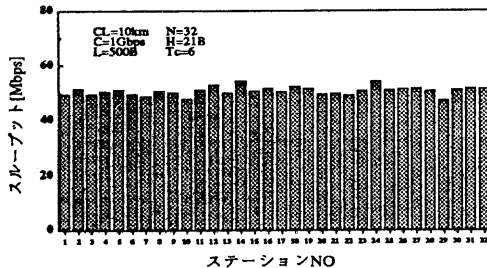
図6(b)は、自己トークンを6個割り当てた場合のタイマー方式の公正さの特性図である。この図より各ステーションのスループットは若干のばらつきはあるがほぼ公正である。

図7は、ラウンド方式とタイマー方式と純粋な自己トークン方式のスループット-平均伝達時間特性である。自己トークンは6個割り当てた場合の例である。ラウンド方式は、他の2方式と比較して平均伝達時間が長くなっている。またスループットの伸びも1番小さい。タイマー方式は、スループットが1500 Mbps位まで純粋な自己トークン方式と同じ特性を示す。ただし、スループットの伸びは純粋な自己トークン方式より小さい。純粋な自己トークン方式は他の2方式よりスループット特性は良いが公正さに関しては図5(d)からもわかるように非常に悪くなっている。

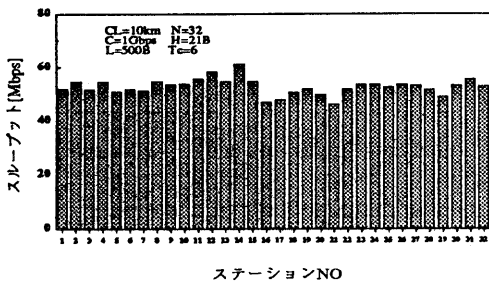
以上のことより公正さとスループット-平均伝達時間特性の双方を考慮するとタイマー方式が最も優れているといえる。

4. 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プロトコルの提案を行った。先ず、自己トークン

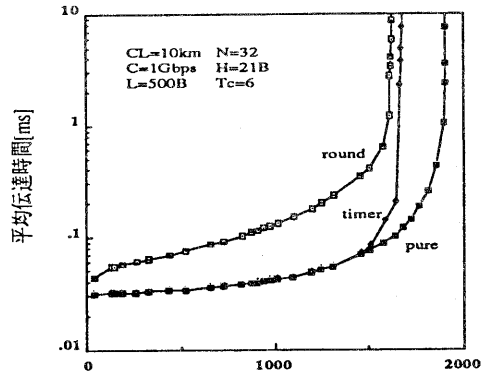


(a) ラウンド方式



(b) タイム方式

図6 各方式のスループット特性



スループット [Mbps]

図7 ラウンド方式、タイム方式、純粋な自己トークン方式のスループット-平均伝達時間特性

プロトコルの基本動作について説明し、リングの空間再利用を実現できることを示した。さらに、シミュレーションにより性能を評価した結果、

- (1) 本プロトコルは、FDDIプロトコルや従来型の自己トークンプロトコルより優れたスループット-平均伝達時間特性を示す。
- (2) 各ステーションに適当な数の自己トークンを割り当てることにより公正さとスループット-平均伝達時間特性の双方を満足することができる。
- (3) 各ステーションにある数の自己トークンを割り当てた場合、タイマー方式が最も優れた特性を示す。

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) 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.
- (2) 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.
- (3) J. F. McCool, "FDDI; Getting to know the inside of the ring," Data Communications, pp.185-192, March, 1988.
- (4) E.M. Spigle, "Performance Analysis the Timed-token Protocol: A Vacation Model," Proc. of Conf. High-Speed Networking, Sep. 1990.
- (5) J.Chen, H.Ahmadi, Y.Ofec, "Performance Study of the MetaRing with Gb/s links", Proc. of LCN, pp.137-147, 1991.