

トークン・リング LAN における パケット伝送制御方式と QUEUEING 特性

照 屋 健

沖縄大学マルチメディア教育研究センター

リングトポロジーの種類は大きく分けてトークン・リング型とスロット・リング型に分類される。本稿では、トークン・リング型のネットワークに焦点を当て、送信バッファの振る舞いについて、コンピュータ・シミュレーションより得られたデータに基づき解析を行う。その際、パケット伝送制御方式として、制限方式、ゲート方式および全処理方式（EX方式）を導入する。伝送路のトラフィック密度に応じて動作する制御スイッチの考え方がネットワークにおけるトラフィック輻輳を解決する手段となり得ることについても論述する。

Queueing Characteristics of Packet Transmission Control Method in a Token Ring Network

Ken TERUYA

Multimedia Education and Research Center, Okinawa University

There are broadly two categories of ring topology, namely the token ring network and slotted ring network. In this manuscript, we focus our attention on the behavior of the transmission buffer of the token ring network and reports the results of the analysis which has been carried out based upon the data obtained by computer simulation. We have introduced three types of packet transmission control method such as the confined, the gated and the exhaustive type, respectively. We will suggest that the idea of on-off switch, converted alternatively depending on the traffic density ρ of the transmission line, will be effective tactics to solve the traffic congestion in the network.

1 はじめに

LANは地理的に比較的狭い領域（最大で数千メートル）をカバーするような、高速でエラーの少ないデータネットワークである。LANのトポロジーは大別してスター型、バス型、リング型、ツリー型、メッシュ型に分類される。バス型の代表的な例としてはCSMA/CD方式を採用しているイーサネットがよく知られたLANであり、今日最も多く広く使用されているLANの一つと云えよう。他方、リング型ではトークン・リングLANやFDDI（Fiber Distributed Data Interface）があり、よく使用されているLANテクノロジーである。またこれまでに、スロット・リングLANの研究もなされている。トークン・リングLANでは、トークンの使用権（補足時間）と各ステーションのバッファレジスタの振る舞いやネットワーク中のトラヒックや適切なステーション数の算定などが問題となる。一般にリングネットワークのトラヒックに関する理論解析は多くの場合、QUEUEING理論に基づくが、これらの解析はTANDEM QUEUEの場合の問題と類似しており、また多重待ち行列問題を扱うこととなり、その解析は容易でない場合が多い。理論解析が困難な場合に、その特性を明らかにする有効な手段の一つとして計算機シミュレーションがある。本稿では、トークン・リングLANにおけるパケット伝送の際のトラヒック輻輳と各ステーションのバッファレジスタ内のパケット待ち行列長がパケットの到着分布やトークンの使用権等のパラメータに如何に依存して変化するかを計算機シミュレーションを行い、その結果に基づき考察を行う。

2 モデルおよび諸条件

図1にトークン・リングネットワークのモデルを示す。

- a) 各ステーションからのパケットの伝送は一方向でありトークンの巡回方向もそれに従う。
- b) リング上の一つ前の上流のステーションからフリー・トークンが渡され、これを捕捉した場合にのみパケット送出が可能となる。従って、各ステーションにおいては、ビジー・トークンが廻って来たときにはパケット送出は出来ないものとする。
- c) 各ステーションへのパケット到着は、ポアソン分布に従うものとする。ステーションにおけるパケット処理時間は処理方式によって異なり、 $M/D/1$ 方式の場合は一定の処理時間間隔とし、 $M/M/1$ 方式の場合は指数分布に従うランダム処理を行うものとする。
- d) 一つのステーションがパケットを伝送したとき他のステーションは、そのパケットが自ステーション宛であるかに関わらずそのメッセージを受信し、隣のステーションに再伝送する。そのときの再伝送遅延時間 T_d は、すべてのステーションで等しいものとする。
- e) あるステーションがパケットを受け取ったとき、そのパケットが自ステーション宛であった場合、受け取ったことを送信側のステーションに知らせるため、ACK フラグをオンにして伝送する。これを受け取った送信側のステーションは、下流のステーションに対してパケット伝送の権利を渡すため、トークンをフリー・トークンとしてリリースする。

3 パケットの処理方式

パケットの処理に関して、3の処理方式を導入する。これらの方式については次の通りである。

1) 制限方式

各ステーションの送信バッファ中に存在しているパケットの待ち行列の長さに関わらず一度で処理するパケット数を一定の数に制限して処理を行う方式。

2) ゲート方式

一つのステーションがパケットの伝送を終えてフリー・トークンをリリースしてから次にリング上の1つ手前の上流のからフリー・トークンを渡されるまでにそのステーションに到着したパケットを一度の伝送処理ですべてを処理する方式である。

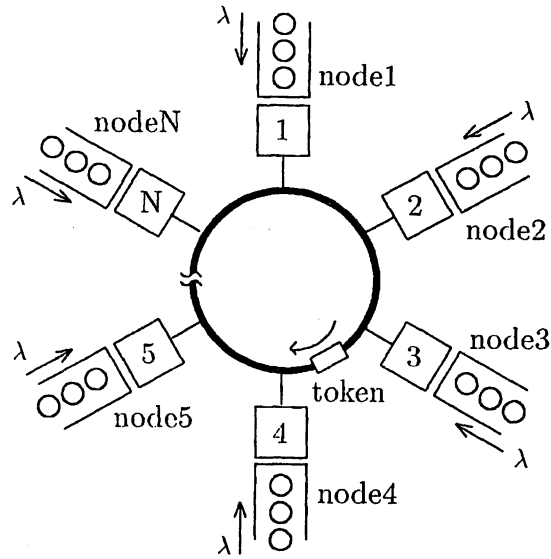


図 1 トークン・リングネットワークのモデル

3) 全処理方式 (EX 方式)

バッファに存在するパケットを一度のサービスですべてのパケットを処理することはゲート方式と同じだが、ゲート方式と異なる点は、パケット処理の最中に新たに到着したパケットに対しても処理を行うことである。従って、次のステーションにフリー・トークンを渡すのは、そのステーションのバッファが空の状態になったときであり、その間、連続してトークンを補足し続けることになる。

4 記号と諸定義

a) T_w : 平均応答時間

平均応答時間は、パケットがバッファに入ってから処理をうけるまでの待ち時間と処理を受けている処理時間の和で定義する。

$$T_{wi} = T_{mi} + T_{si}$$

ここで、 T_{wi} : 応答時間、 T_{mi} : 待ち時間、 T_{si} : パケット処理時間を示す。

平均応答時間は次式で示される。

$$T_w = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{mi} + T_{si})}{N_p}$$

ここで、 N_p は処理したパケットの総数を示す。

b) L_p : 平均パケット待ち行列長

L_p は単位時間当たりの各ステーションのバッファに存在するパケットの個数を示すものであるが、本シミュレーションでは、指数分布による乱数を発生させてパケットの到着分布を決めるので、各パケットがバッファ中に存在する時間は一定しない。そのため、単にバッファに入ってきたパケットの数を時間で除することでは平均値は求められないので、図2を参考に計算する。図2は各々の時間間隔において存在したパケットの個数を示す。図の矩形部分の面積は、総時間 T_{np} における総パケット数を示す。この矩形部分の面積を求め総時間数 T_{np} で除す

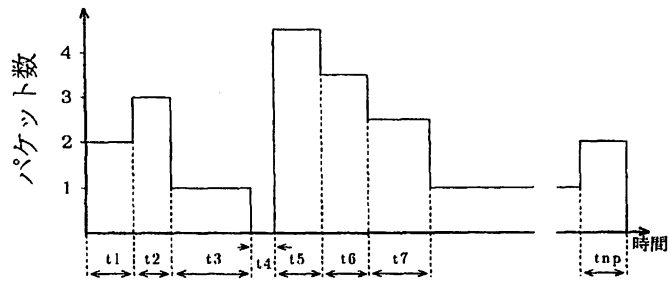


図 2 パケット待ち行列のタイムチャート

ることで平均パケット待ち行列長が求められる。以下に、その式を示す。

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i \times t_i)}{T_{np}}$$

ここで、 L_p :平均パケット待ち行列長、 P_i : t_i に存在するパケット数、 T_{np} :総時間を示す。

c) T_{maxw} : 最大応答時間

各ステーションでのパケットの待ち時間と伝送処理時間の和の最大値を示す。

d) L_{maxp} : 最大パケット待ち行列長

各ステーションでのある時間におけるパケット待ち行列長の最大値を示す。

e) T_d : 再伝送遅延時間

各ステーションが上流のあるステーションからパケットを受け取って、そのパケットを次のステーションに渡すまでの遅延時間を示す。

f) ρ : トラヒック密度

平均パケット処理時間と平均パケット到着時間間隔の比とし、次式で示す。

$$\rho = \lambda \times T_s$$

ここで、 T_s : 平均パケット処理時間、 $1/\lambda$:平均パケット到着時間間隔を示す。

5 データと考察

5.1 トラヒック ρ に対しての各種パラメータ

5.1.1 平均応答時間 T_w

制限方式とゲート方式を比べた場合、M/D/1 モデルと M/M/1 モデルの 2 つの系について以下に示す。図 3 と図 4 から 2 つの方式を判断すると、トラヒック ρ が小さいときは、両方式について差は殆どないが、トラヒック ρ が大きくなるにつれて制限方式の値が急速に大きくなる。これは、本シミュレーションの条件下では、制限方式よりは、ゲート方式がシステムの混雑度が少ない方式と云えよう。

次にゲート方式と全処理方式を比較した場合、トラヒック ρ が小さいときには、ゲート方式より全処理方式が混雑は少ない。しかし、トラヒック ρ が大きくなり、ある時点以上ではゲート方式より全処理方式の場合が混雑してくる。全処理方式はゲート方式に比べて一度に処理するパケット数が多いため、トラヒック ρ が大きいところでは、トークンを捕捉しているステーション以外のステーションで、パケットの処理を受けるまでの待ち時間が長くなり、それに伴って応答時間も長くなり、その結果として全体の平均応答時間が長くなるものと考えら

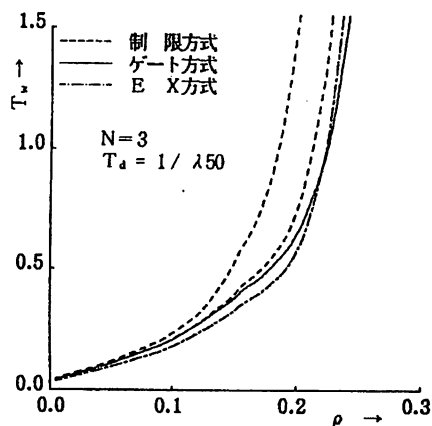


図 3 ρ 対 T_w (M/D/1)

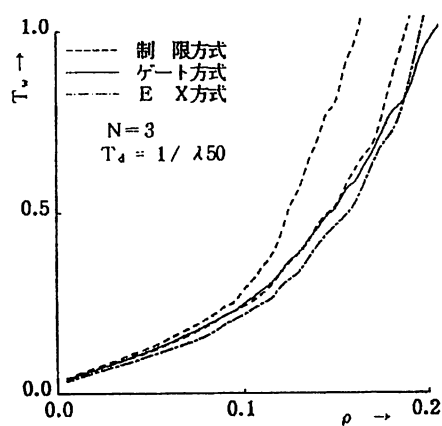


図 4 ρ 対 T_w (M/M/1)

れる。システムとしてはトラヒック ρ が小さいときには、全処理方式が混雑が少なくなり、トラヒック ρ が大きいときはゲート方式が全処理方式より混雑が少なくなることが分かる。

5.1.2 平均パケット待ち行列長 L_p

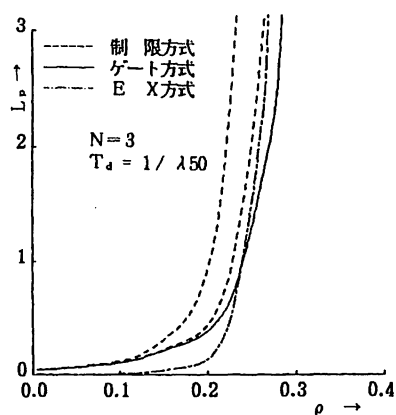


図 5 ρ 対 L_p (M/D/1)

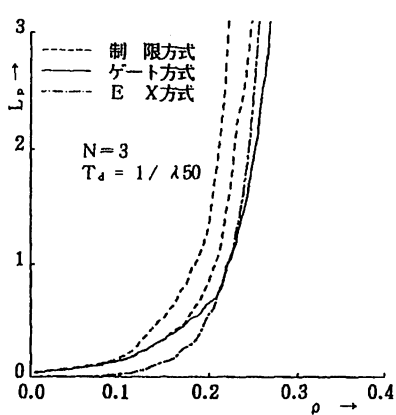


図 6 ρ 対 L_p (M/M/1)

図 5 と図 6 において、ゲート方式と制限方式では、平均応答時間の場合と同様に M/M/1 と M/D/1 の両系において制限方式の曲線がより早く立ち上がっている。このことから、制限方式よりゲート方式がシステムとしては、全てのトラヒック ρ の範囲で混雑が少ないシステムと云える。次に、ゲート方式と全処理方式の場合を比較すると、トラヒック ρ が小さい時にはゲート方式より全処理方式がシステムの混雑が少ない。しかし、トラヒック ρ が大きくなり、ある時点を越すとゲート方式より全処理方式がシステム混雑の度合いが大きくなる。グラフによれば平均待ち行列長は平均応答時間より両方式の差が大きい。平均応答時間では、その差は時間的な問題だけにとどまったが、平均待ち行列長の場合は、各ステーションにおけるバッファ・サイズが問題となり、ハードウェアの設計問題にも関わってくるものと考えられる。全処理方式方式ではトラヒック ρ の小さいところでは、平均パケット待ち行列長は、ほとんどゼロに近く、各ステーションのバッファ・サイズを小さく押さえることが出来て、システムの有効な活用が可能となる。これらの事情を勘案するとトラヒック ρ の値に対してのゲート方

式と全処理方式との切り替えを行うシステム設計が好ましい解決法の一つとなる。

5.1.3 最大応答時間 T_{maxw}

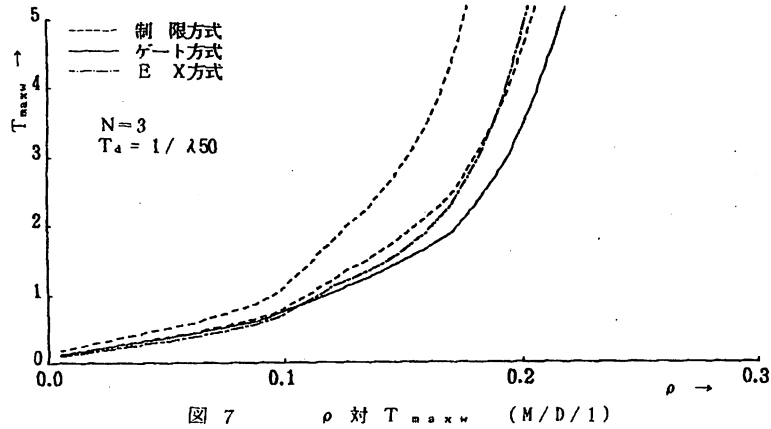


図7においてゲート方式と制限方式の T_{maxw} を比較すると、 $M/M/1$ および $M/D/1$ の両系において、制限方式のそれが ρ に対して大きくなっていることが分かる。平均応答時間、平均パケット待ち行列長と同様に最大応答時間でもゲート方式が制限方式よりすべてのトラヒック ρ においてシステムの混雑が少ない方式であることが示された。

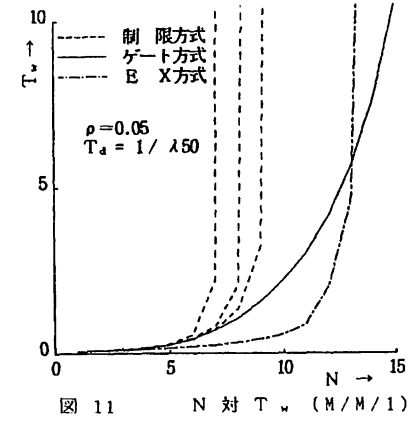
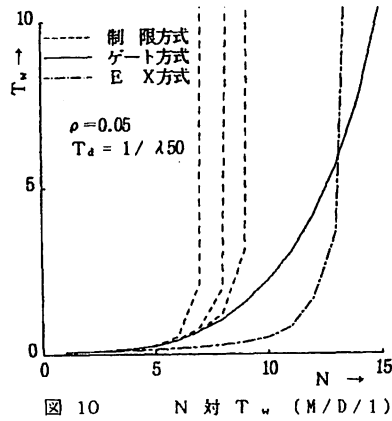
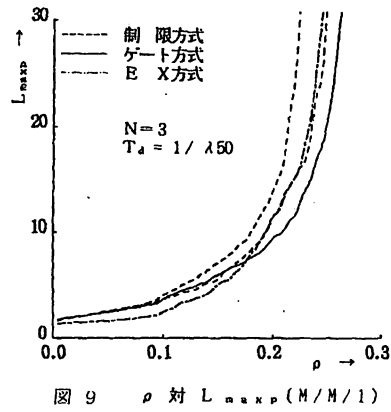
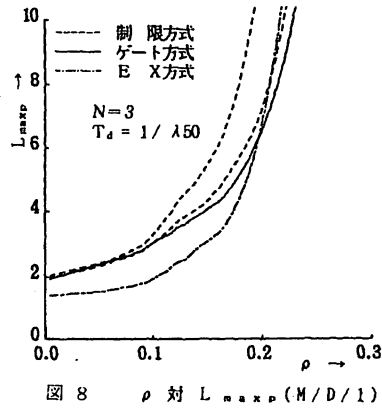
全処理方式とゲート方式の T_{maxw} の場合、両方式間にはそれほど大きな差はないものの、全処理方式がゲート方式に比べて ρ の小さい範囲では混雑が少なく、 ρ が大きくなるにつれて全体的に混雑の度合いが増してくるが、全処理方式は ρ がある時点を越すとゲート方式より混雑がひどくなる。

最大応答時間が大きいと云うことは、音声や画像信号の様な連続的に情報を送る必要がある場合には、適さないシステムと云える。そのようなデータを取り扱う場合には、トラヒック ρ が小さくなるようなシステムを工夫し、全処理方式を用いることが良いと考えられる。

5.1.4 最大パケット待ち行列長 L_{maxp}

図8と図9に示されるように、この場合も L_{maxp} の値は制限方式がゲート方式より急速に値が大きくなっている。ゲート方式は制限方式より一度に処理するパケット数が多いため、最大応答時間や最大パケット待ち行列長は、両方式間でトラヒック ρ が大きくなるにつれて L_{maxp} の値が逆転することが予想されたが、このことは起こらなかった。最大応答時間や最大パケット待ち行列長は、両方式ともトラヒック ρ が大きくなるにつれてゲート方式の値が制限方式の値に等しいかまたは小さいかのいずれかの程度でありトラヒック ρ の変化に対して大きな変動を示さないことが分かる。

次に全処理方式について考察すると、いままでの傾向と同じく、 ρ が小さいときには、ゲート方式より全処理方式が混雑は少ないが、 ρ が大きくなり、ある時点を越すとその値が逆転する。しかし、 ρ の小さい範囲では、 ρ の変化に対して最大パケット待ち行列長は変動は少なく、ゲート方式よりも小さい値で変化している。最大パケット待ち行列長は、各ステーションのバッファサイズを決定するのに大きく関わってくるので、システムを安価にするためには、トラヒック ρ を小さく保ち、全処理方式を用いることが良いと思量される。



5.2 ステーション数 N に対しての T_w , L_p

5.2.1 平均応答時間 T_w

図 10 と図 11 にステーション数 N に対しての平均応答時間を示す。ゲート方式は、平均応答時間がステーション数 N の二乗に比例する形で増加している。これは、ステーションが一つ増えると、そのステーションでのパケット処理時間と再伝送に要する遅延時間が他のステーションのパケットの待ち時間に加わり、その上また、新たに増えたパケットが各ステーションに到着し、その処理時間も全体のステーションに影響し、結果としてステーション数 N の二乗に比例する形で平均応答時間が増えるものと考えられる。制限方式もステーション数が少ない間は、それに追従する形で増加するが、あるステーション数を越すと、それから離脱する形で急激に増加する。このことは、ステーション数が少ない間は、処理するパケット数がゲート方式とあまり変わらず、同じ調子で変化するが、ステーション数が増え、システムが混雑してくると、パケット処理数が限定される制限方式は、その分のパケットまでは処理が出来ず、そのため待たせるパケット数が増え、それに伴って平均応答時間がゲート方式より急速に増加するものと思われる。

全処理方式は、今までの傾向と同じようにステーション数 N に対して指数関数的に増加する。しかし、ステーション

ション数が少ないときは、他の二つの方式と比較して、その値が小さく、あまり応答時間に影響が少ないことを示している。ただし、このシミュレーションはトラヒック ρ が小さい範囲で動作し、 ρ が大きい範囲では動作しない状況にあった。

5.2.2 平均パケット待ち行列長 L_p

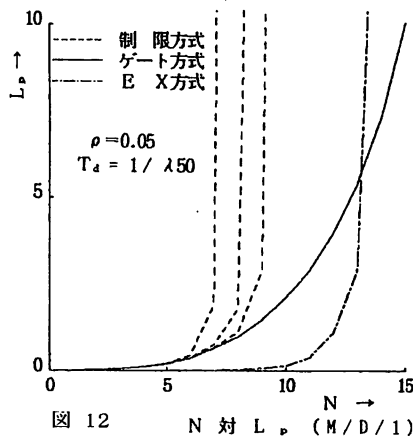


図 12 N 対 L_p (M/D/1)

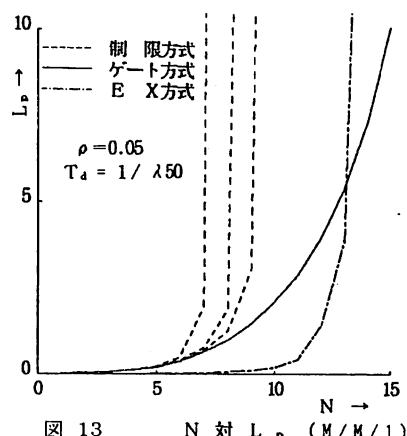


図 13 N 対 L_p (M/M/1)

図 12 と図 13 に平均パケット待ち行列長 L_p を示す。ゲート方式においては、平均パケット待ち行列長も平均応答時間と同様に、ステーション数 N の二乗に比例して増加している。制限方式もゲート方式より急速に値が大きくなり、ステーション数 N の変化に対して急激な変化を示していることが分かる。このシミュレーションは ρ の小さい範囲でしか動作しないが、ステーション数 N を増やすことによって動作しなくなる。ゲート方式も、制限方式より緩やかではあるが、その傾向にある。このことは、コンピュータのメモリー容量などとの関連を含めて今後の検討課題と云えよう。

5.3 再伝送遅延時間 T_d に対しての T_w 、 L_p

5.3.1 平均応答時間 T_w

再伝送遅延時間 T_d と平均応答時間 T_w の関係をそれぞれ図 14 と図 15 に示す。ゲート方式は再伝送遅延時間 T_d に対し比例する形で直線的に増加している。これは再伝送遅延時間が増えると、その間に各ステーションのバッファに到着するパケット数も増えるが、ゲート方式の場合はその分パケットも一度に処理するので、各パケットの待ち時間は、再伝送遅延時間 T_d で遅れた分だけ増え、結果として平均応答時間 T_w は再伝送遅延時間 T_d に対し直線的に増加する。制限方式の場合、再伝送遅延時間 T_d が増えると、その間に各ステーションのバッファに到達するパケットも増えるが、一度に処理するパケット数が限られているため、その増えた分まで処理しきれずゲート方式の直線的傾向に比較して指数関数的に増加していく。このシミュレーションはトラヒック ρ が小さい範囲で行っているため、全処理方式の値は、 ρ の低い初期の段階では、他の 2 つの方式に比べて平均応答時間 T_w は低い値となっている。しかし、再伝送遅延時間 T_d が増え、ある点を越すとゲート方式より高い値を示している。このことは、各ステーションでパケットを再伝送するとき、その遅延時間が増えるとトークンを補足している間にステーションに到着するパケットも増え、全処理方式の場合、そのパケットに対しても処理を行うので、1 つのステーションのトークン捕捉時間が長くなり、他のステーションでのパケットの待ち時間が長くなり、結果として平均応答時間 T_w がゲート方式と比べて値が大きくなっている。

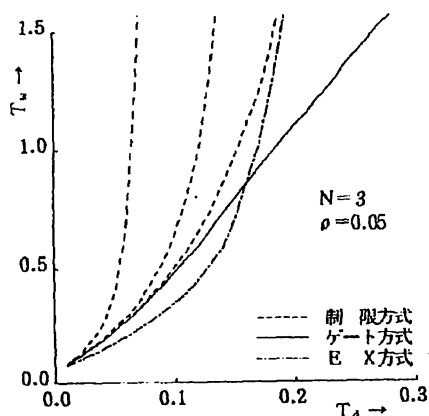


図 14 T_d 対 L_p (M/D/1)

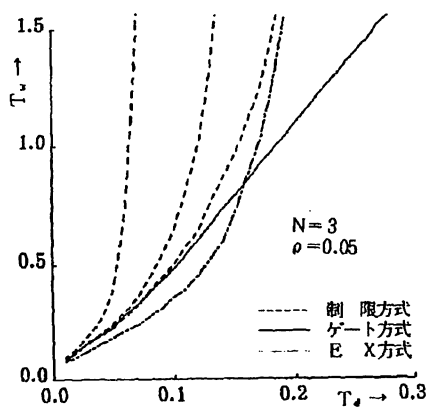


図 15 T_d 対 L_p (M/M/1)

5.3.2 平均パケット待ち行列長 L_p

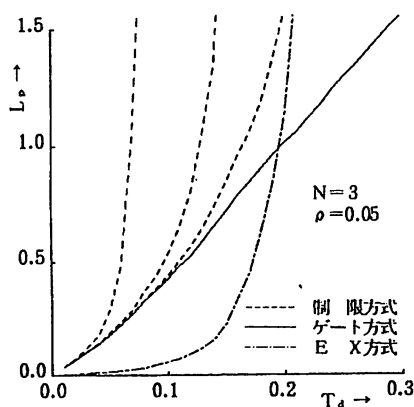


図 16 T_d 対 L_p (M/D/1)

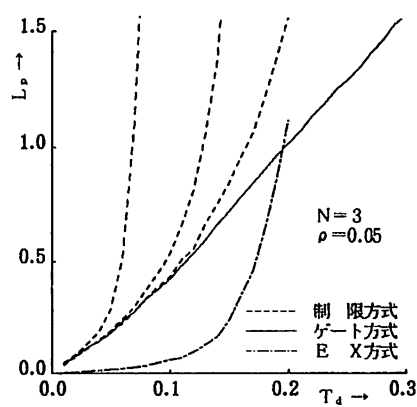


図 17 T_d 対 L_p (M/M/1)

伝送遅延時間 T_d と平均パケット待ち行列長 L_p の関係を図 16 と図 17 に示す。ゲート方式は平均応答時間 T_w と同じ様に、再伝送遅延時間 T_d に対し比例する形で直線的に増加している。これは、前にも述べたように、再伝送遅延時間が増えると、その間に各ステーションのバッファに到着するパケット数も増えるが、ゲート方式は、その分のパケットも一度に処理するので、各ステーションのバッファのパケット数は、再伝送遅延時間 T_d で遅れた分だけ増え、結果として平均パケット待ち行列長 L_p は、再伝送遅延時間 T_d に対し比例して増加する。制限方式の場合も、再伝送遅延時間が増えると、その間に各ステーションのバッファに到着するパケットも増えるが、一度に処理するパケット数が限られているため、再伝送遅延時間 T_d がある程度以上になると、その増えた分まで処理できずゲート方式の直線からはずれ指数関数的に増加していく。全処理方式も平均応答時間 T_w と同じようにトラヒック ρ の小さいときには、前の 2 つの方式より平均パケット待ち行列長 L_p は低い値となっている。しかし、再伝送遅延時間 T_d が増え、ある時点を越すとゲート方式より高い値となる。これも、各ステーションでパケットを再伝送するとき、その遅延時間が増えるとトークンを補足している間にステーションに到着

するパケットも増え、全処理方式の場合、そのパケットに対しても処理を行うので、1つのステーションのトークン捕捉時間が長くなり、他のステーションでのバッファのパケット数が多くなり、結果として平均パケット待ち行列長 L_p がゲート方式の場合よりも値が大きくなるものと考えられる。

6 まとめ

これまでの結果より、各ステーションのパケット処理時間がパケット到着時間間隔より十分短かければ、ネットワーク・システムは、さしたる輻輳状態を招くことなく、良好な状態で機能することが分かった。しかし、パケット処理速度を速くすることは、各ステーションの機器の性能を向上させる必要性につながることで、これは、機器の生産コストが大きくなる恐れがある。接続機器の性能を直ちに上げることを考えるよりは、運用するシステムのトラフィック密度やパケット待ち行列長、応答時間などを知り、そのシステムに見合う性能の装置を用いれば、必要最低限度の費用で良好なシステムを組むことが出来る。まず、そのために各種情報の一つであるパケットの到着時間間隔を知ることである。この情報をもとに、設置するステーションの数に合わせてシミュレーションを行い、各ステーションの接続機器のバッファサイズやネットワークに使用するケーブル（同軸、光ファイバー等）を決定することが出来る。図5、図6、図8、図9、図12、図13、図16および図17より各ステーションにおけるノードのバッファサイズを知ることが出来る。また、平均パケット到着時間間隔と平均パケット処理時間間隔よりトラフィック密度が求められるので、図5、図6、図8および図9のデータを用いて、バッファサイズの上限が分かる。その場合、全処理方式とゲート方式では、トラフィック密度の大小によりグラフの大小関係が逆転するので、各ステーションのバッファ中のパケット待ち行列長に応じて、2つの方式を切り換えれば、待ち行列長を最小限短くすることが出来る。その他に、図16、図17より再伝送遅延時間 T_d が大きくても、両方式間で値の逆転があるので、各ステーションでのパケット再伝送遅延時間の大小に応じて全処理方式が使用できない状態もあり得る。そのときのステーションの増設にあたっては、図10、図11を参考にすると良い。ゲート方式は平均パケット待ち行列長の増加の割合が大きいのので、トラフィック密度が大きいことや再伝送遅延時間 T_d が大きい等の理由でゲート方式を用いる場合は、それを補うだけのバッファの拡張が必要になってくる。システムの応答時間もパケット待ち行列長と各方式で、ほぼ同じ関係を示しているので、平均パケット待ち行列長 L_p を短くする方向でシステムを組めば平均応答時間 T_w も改良される。

本研究の結果より、制限方式、ゲート方式、EX方式の各々の場合における、優位性が示された。制限方式、ゲート方式においても本研究のシミュレーションでは全てゲート方式が優れていたが、事故などでシステムが止まり各ステーションのバッファに、ある程度パケットがたまった状態からシステムを起動すればゲート方式、全処理方式では、上流のステーションと下流のステーションでは、パケット処理の時間的不平等が考えられ、必ずしも全ての面でゲート方式、全処理方式が勝っているとは考えられない。

これまで述べてきた諸条件を勘案して設計すれば、効率の良いトークン・リング LAN システムが構成出来るものと思量される。設計に役立つ多くのデータが得られたことは有意義なことである。

参考文献

- (1) シスコシステムズ株式会社監修、「シスコネットワークワーキングアカデミー受講ガイド1」, ソフトパブリッシング株式会社, 2000年7月
- (2) 島、中川、沢「トークン・バス方式のステーション数についての考察」、情報処理学会論文誌、Vol.25、No.3、1988、pp.414~419
- (3) 田村武志著、「図解 情報通信ネットワークの基礎」、共立出版社、1996年2月