

ギガビット LAN のための適応型帯域割り当て方式

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

コンピュータの高速化・マルチメディア化に伴ってそれらを結ぶLANにおいても高速通信とマルチメディア通信に対応できる超高速マルチメディアLANの開発が緊急の課題となっている。

本文では、双方向2重リング型のトポロジーを持つギガビットLANに対して、公平でしかもトラフィックの状況に応じて適応的に帯域割り当てを行うことによりリングの利用効率を改善する帯域割り当て方式を提案する。さらに本方式をマルチメディア通信に対応させる方法についても述べる。

シミュレーションによる性能評価の結果、本方式はMeta Ring方式より優れたスループット対平均伝達時間特性を持ち、マルチメディア通信にも対応できることを示す。

Adaptive Bandwidth Allocation Method for Gigabit LAN

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

* Faculty of Engineering, Yamagata University

** Faculty of Engineering, Nihon University

Progressing of computers and electronic devices toward higher speed and more convenient multimedia functions requires advent of high speed multimedia LAN, so called the Giga-bit LAN, to connect among them.

In this paper, we propose an adaptive bandwidth allocation method which promises high bandwidth utilization rate and enough fairness for dual ring LAN topology. The communication protocol using this method realizes not only a Giga-bit LAN but can support multimedia communication. Performance evaluation via simulations shows that this protocol has better throughput vs. transfer delay characteristics than the Meta Ring.

1. はじめに

従来、ローカルエリアネットワーク (LAN) は制限された範囲内での分散処理システムの構築のため私設のネットワークとして個々に導入されたが、最近では各種高速情報処理装置間の情報交換、ハイパーメディア情報の出現によるマルチメディア通信あるいはインターネットの基本的な構成要素 (ドメイン) として最先端情報処理システムを構築する際の必須の技術となってきた。それらの要求に応

えるため、高速通信とマルチメディア通信に対応でき、しかもLAN間接続の容易な新しい超高速マルチメディアLANの開発が緊急の課題となっている^{(1) (2)}。

今まで筆者らは、自己トークンプロトコル^{(3) (4)}という高速マルチメディアLANプロトコルの研究を行ってきた。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の長所を合わせ持ったプロトコルで、公平性とスルー

ブット特性の優れたプロトコルであることを示した。しかし自己トークンプロトコルは、現在高速LANのために提案されている多くのプロトコル⁽⁵⁾・⁽⁶⁾と同様、トラヒックの変動や不均一なトラヒックに対して適切な帯域幅を割り当てないとスループット特性が低下する。それを防ぐには、各ステーションのトラヒックを予測し最適な帯域幅を割り当てれば良いが、それは非常に困難なことである⁽⁷⁾・⁽⁸⁾。

本文では、双方向2重リング型のトポロジーを持つギガビットLANに対して、公平でしかもトラヒックの状況に応じて適応的に帯域割り当てを行うことによりリングの利用効率を改善する帯域割り当て方式を提案する。さらに本方式をマルチメディア通信に対応させる方法についても述べる。

シミュレーションによる性能評価の結果、本方式はMeta Ring方式より優れたスループット対平均伝達時間特性を持ち、マルチメディア通信にも対応できることを示す。

2. 適応型帯域割り当て方式の基本動作

2.1 概要

本方式は、図1に示すように双方向2重リングのトポロジーを持つLANを対象とする。図1においてリングインターフェースは反時計回りのリングに対して示しているが、時計回りのリングに対しても同様のリングインターフェースが存在する。リング上を流れるデータは、従来のLANのように可変長パケットとして伝送するパケットモードとB-ISDNとの整合性を考慮しATMセルとして伝送するセルモードの2通りある。ただし、両モードは同時には利用できないものとする。リングへのアクセスは、基本的にバッファインサージョン方式に基づいて行われる。すなわち送信ステーションは、インサージョンバッファが空いている時リングへパケットまたはセルを送出できる。パケットは双方向2重リングのうち受信ステーションまでの距離が最短となるリングを利用する。したがって、受信ステーションまでの最大距離は、リング上のステーション数をNとすると $N/2$ となる。また、送出されたパケットまたはセルは、受信ステーションによってリングから取り除かれる。これにより空間の再利用が実現され飛躍的にスループットを増加させることが可能となる。

パケットのフォーマットを図2に、セルのフォーマットを図3に示す。また、以後の説明はパケットモードについて行うが、セルモードに関しても同様のことが言える。

2.2 公平性の制御

公平性の制御は、MetaRing方式⁽⁹⁾やATMR方式⁽⁶⁾で用いられるようなサイクルリセットアルゴリズムを用いる。以下にそのアルゴリズムを示す。

各ステーションは、通信を行うのに先立ってコネク션을確立しウィンドウサイズを決定する。リング上にはリセット信号と呼ばれる制御信号がデータの伝送方向と逆方向に巡回する。データ伝送方向と逆方向にリセット信号を回すのは、スループット特性を良くするためである⁽⁵⁾。各ステーションは、リセット信号がリングを1周する間にウィンドウサイズ分のパケットを送ることができる。リセット信号が回ってきた時ウィンドウサイズ分のパケットを送っていないステーションはリセット信号を保持し、ウィンドウサイズ分送り終えるかまたは送るバ

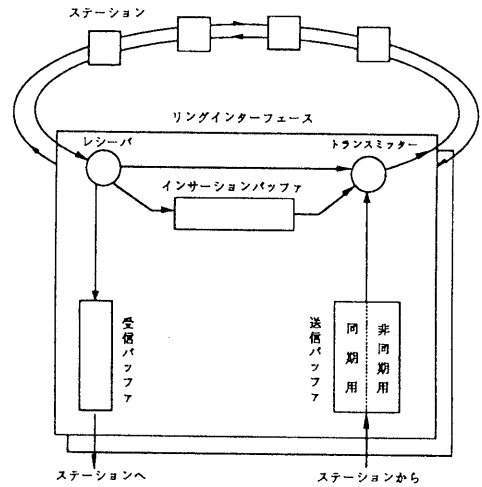


図1 ネットワークの構成

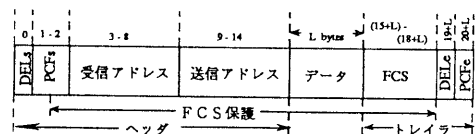
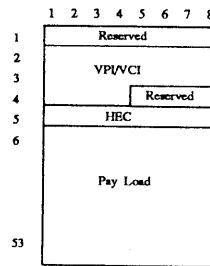


図2 パケットフォーマット



VPI : Virtual Path Identifier
VCI : Virtual Channel Identifier
HEC : Header Error Control

図3 セルフォーマット

ケットがなくなった時にウィンドウカウンタを0にしてリセット信号を次のステーションに回す。ウィンドウカウンタは送ったパケットの数を記憶しているカウンタである。各ステーションはリセット信号が1周する間にウィンドウサイズ分のパケットを送ることが保証されるので、非常に公平性の良い通信が実現できる。

2.3 適応性の制御

リング上のトラヒック状態に応じて適応的にウィンドウサイズを変化させ動的なトラヒックに対応するために以下のような制御を行う。

各ステーションはリセット信号がリングを1周し戻ってきて再びリングへ出ていくまでの時間(R)を計測する。そして、その時間があるしきい値(TH)と比較し小さければリング上のトラヒックが小さいと判断しそのステーション(ステーション*i*)のウィンドウサイズ(WSi)を1つ増やしてやる。ただし、そのステーションが現在割り当てられている以上のウィンドウサイズを増加させない。また、RがTHより大きければ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ウィンドウサイズを1つ減らしてやる。ただし、ウィンドウサイズが最初に割り当てたウィンドウサイズ(IWSi)より小さくならないようにする。このことはリセット信号がリングを1周する間に、最初に割り当てられたウィンドウサイズ分のパケットを送ることが保証されるので公平性を維持することになる。以上のことをまとめると次のようになる。

(1) $R > TH$ の場合

$$WSi = WSi - 1$$

(2) $R \leq TH$ の場合

$$WSi = WSi + 1$$

ただし、 $IWSi \leq WSi$

(通信を行う前は $IWSi = WSi$)

以上のような制御によりリングの帯域幅に余裕がある場合は、動的なトラヒックや不均一なトラヒックに対応できリングの利用効率を高めることが可能となる。

3. マルチメディア通信への対応

異なる要求品質からなるマルチメディアトラヒックを扱うには、それぞれのトラヒックに応じた優先制御を行う必要がある。すなわち、音声、ビデオなどの実時間性を要求される同期データには、必要な帯域幅と実時間性を保証し、残りの帯域幅を文字

データなどの優先度の低い非同期データに割り当てることなどを考える必要がある。ここでは、ステーション内優先制御とシステム内優先制御の2つに分けて述べる。

また、実際に使用できる帯域幅は有限なので、全てのステーションの要求を受け入れてしまうと帯域幅をオーバーしてしまう可能性がある。この問題を避けるためには、帯域幅の予約機構というものも必要になるがその機構についても述べる。

3.1 ステーション内優先制御

各ステーション内の送信バッファは、同期データを格納する同期用送信バッファと非同期データを格納する非同期用送信バッファからなる(図1参照)。また、同期データのためのウィンドウサイズ(SWSi)と非同期データのためのウィンドウサイズ(AWSi)を割り当てる。各ステーションでは同期データを優先してパケットの送信を行う。

3.2 システム内優先制御

リング上の各ステーションはFDDIで行われているようにネゴシエーションをして、全ステーションの中で1番短い同期間隔を要求したステーションの同期間隔の半分の時間をしきい値(TH)とし、全ステーションに通知する。この仕事は、リング内に設置してある管理ステーションが行う。各ステーションは、リセット信号がリングを1周して戻ってきて再び出ていくまでの時間(R)を計測し、RがTH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(*i*ステーション)の非同期用のウィンドウサイズ(AWSi)を1つ減らす。このことは、リング上の全体のトラヒックを小さくすることになるためリセット信号が戻ってくる時間を短縮することとなる。また、Rがしきい値THより小さくなった場合、リング上のトラヒックが小さくなったと判断し、そのステーションのAWSiを1つ増やす。

ウィンドウサイズの増減を式で表わすと以下のようになる。

(1) $R > TH$ の場合

$$AWSi = AWSi - 1$$

(2) $R \leq TH$ の場合

$$AWSi = AWSi + 1$$

ただし、 $0 \leq AWSi$

この制御により同期データに対して、非常に実時間性のよい通信が実現できる。

また、送信することができる非同期データのデータ量は、ネゴシエーションで決まった同期間隔に

よって変化する。すなわち、同期間隔が短い場合は、非同期用のウィンドウサイズが減少するので送信されるデータ量は減少する。一方、同期間隔が長い場合は、非同期用のウィンドウサイズは増加するので送信されるデータ量は増加することになる。これは、非同期データは同期データによって使われない帯域幅を使用して通信を行うからである。また、各ステーションの同期間隔はアプリケーションが終了すると変化するので、ネゴシエーションは通信中に定期的に行う必要がある。

3.3 帯域幅の予約機構

各ステーションは、同期データの送信に先立ってウィンドウサイズの予約を行う必要がある。これは、リング内の管理ステーションが行う。管理ステーションの仕事としては、各ステーションから要求されたウィンドウサイズに対し、確保できる場合は要求したステーションに対して許可パケットを送る。一方、要求されたウィンドウサイズを確保できなかった場合は、不許可のパケットを送る。不許可のパケットを受け取ったステーションは、帯域幅が空いた時に管理ステーションから改めて許可パケットが送られるのを待つ。不許可パケットを受け取ったステーションで同期データの送信を取り止める場合には管理ステーションに対して中止パケットを送る。

4. 性能評価

本方式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またはセルのデータ領域（ヘッダ領域は除く）に含まれる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し、セル長は固定長（53バイト）とする。
- (2) 送信するデータの到着は、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) 伝送速度は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、

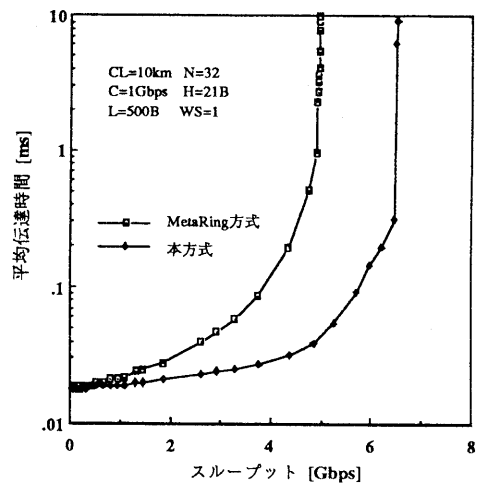
L：平均データ長またはペイロード長

(H+L：パケット長またはセル長)。

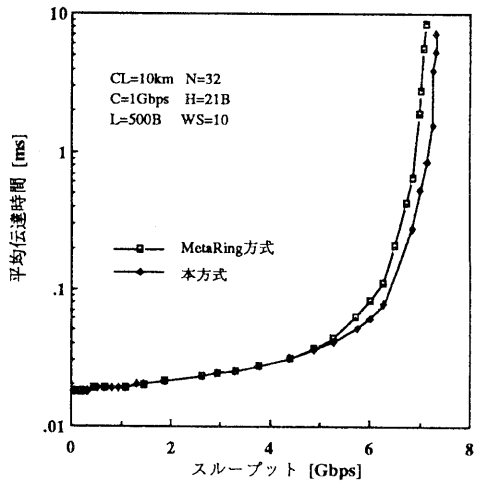
4.1 スループット特性

4.1.1 パケットモード

図4(a)は、均一なトラフィックの下で平均データ長を500バイト、ウィンドウサイズを1



(a) ウィンドウサイズ=1



(b) ウィンドウサイズ=10

図4 均一なトラフィックにおけるスループット特性 (パケット)

(MetaRing $k=1$) とした時の本方式と MetaRing 方式のスループット特性である。本方式は MetaRing 方式よりも優れた特性を示している。これは、MetaRing 方式がリングのトラヒック状態に関係なく割り当てられたウィンドウサイズで通信を行うため、リングが空いていてもその帯域幅を使えないからである。一方、本方式は、最初小さなウィンドウサイズを与えてもリングが空いている時はウィンドウサイズを増やすことができるのでスループットは増加する。

図 4 (b) は、ウィンドウサイズを 10 (MetaRing $k=10$) とした時の比較である。この場合、MetaRing 方式は、ほぼ最適なウィンドウサイズを割り当てているためスループット特性は改善されているように思える。一方、本方式は、少しのトラヒックの変動にも対応できるため、MetaRing 方式よりさらにスループット特性が改善される。これは本方式が余った帯域幅を有効に利用するためである。

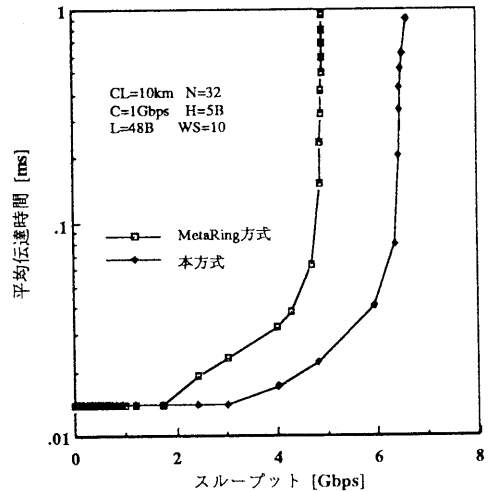
図 5 は、7 ステーションおきにトラヒックがある (不均一なトラヒック) 条件下で、平均データ長を 500 バイト、ウィンドウサイズを 10 (MetaRing 方式 $k=10$) とした時の比較である。この場合も本方式が優れたスループット特性を示すことがわかる。図 4 (b) と図 5 では同じウィンドウサイズでトラヒックが均一な場合と不均一な場合の比較であるが、不均一なトラヒックの方が均一なトラヒックの時よりさらにスループット特性が改善されることがわかる。

4.1.2 セルモード

図 6 (a) は、均一なトラヒックの下で伝送データをセル化して送出した時の本方式と MetaRing 方

式のスループット特性である。ただし、ウィンドウサイズは 10 (MetaRing $k=10$) である。本方式は MetaRing 方式よりも優れた特性を示している。これは、バケットモードの時と同様に本方式が余った帯域幅を有効に利用しているためである。

図 4 (b) は、ウィンドウサイズを 15 (MetaRing $k=15$) とした時の比較である。この場合、ロードが小さい場合と大きい場合は両方式とも同じ様な特性を示すが、中程度のロードの場合は、本方式の方が特性が良くなる。



(a) ウィンドウサイズ = 10

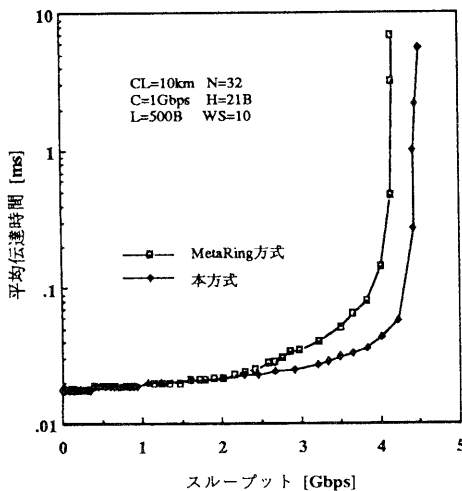
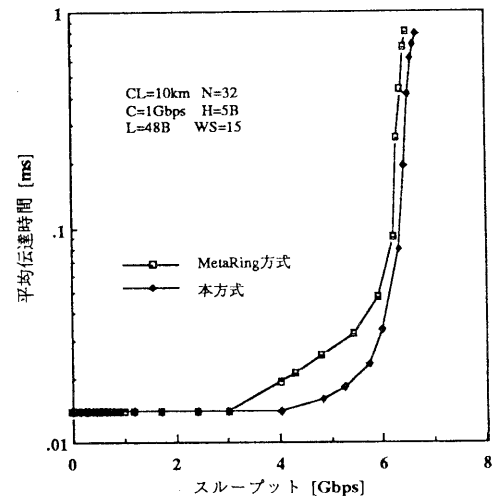


図 5 不均一なトラヒックにおけるスループット特性 (バケット)



(b) ウィンドウサイズ = 15

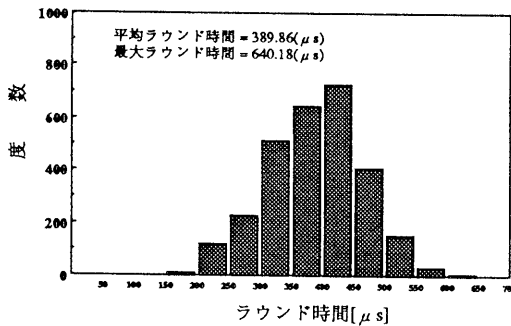
図 6 均一なトラヒックにおけるスループット特性 (セル)

以上のことより本方式はパケットモードでもセルモードでもMetaRing方式より優れたスループット特性を示すことがわかる。

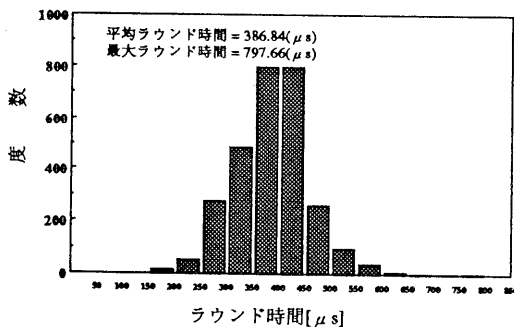
4.2 マルチメディア通信の評価

図7 (a) は、パケットモードにおいて同期データのウインドウサイズを1, 同期間隔を $600 \mu s$ (TH= $300 \mu s$)とした場合に、リセット信号がリングを1周して再びリングへ出ていくまでの時間(ラウンド時間)の分布である。この時の平均ラウンド時間は、 $389.86 \mu s$ で最大ラウンド時間は $640.18 \mu s$ である。この図よりラウンド時間が $600 \mu s$ を越える割合は、0.3%である。したがって、ネゴシエーションで設定された同期間隔でほとんどの同期データは伝送されることがわかる。

図7 (b) は、同期データのウインドウサイズを2, 同期間隔を $600 \mu s$ とした場合のラウンド時間の分布である。この時の平均ラウンド時間は $386.84 \mu s$ で最大ラウンド時間は、 $797.66 \mu s$ である。この図よりラウンド時間が $600 \mu s$ を越える割合は0.6%である。この場合もほとんどの同期データは同期間隔以内で伝送されることがわかる。



(a) 同期データのウインドウサイズ=1



(b) 同期データのウインドウサイズ=2

図7 ラウンド時間の分布

5. むすび

以上、ギガビットLANのための適応型帯域割り当て方式の基本動作およびマルチメディア通信への対応などについて述べた。さらに本方式の特性を検証するためにシミュレーションによって性能評価を行った。その結果、

- (1)本方式は、パケットモードでもセルモードでもMetaRing方式より優れたスループット特性を示す。
- (2)不均一なトラフィックの方が均一なトラフィックよりさらにスループット特性が改善される。
- (3)本方式をマルチメディア通信に対応させることにより、ほとんどの同期データは同期間隔以内で伝送できる。

ということがわかった。

今後は、スロットドリングに本プロトコルを適用したときの特性などについての研究を行ってきたい。

参 考 文 献

- [1]G.Stix:"Data Communications",IEEE Spectrum, pp.35-37, Jan. 1990.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]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,DPS70-21,pp.123-128,1995.
- [5]I.Cidon and Y.Ofek:"MetaRing-A Full-Duplex Ring with Fairness and Spatial Reuse",IEEE Transactions on Communications,Vol.41, No.1,pp.110-120,1993.
- [6]H.Ohnishi, N.Morita and S.Suzuki:"ATM Ring Protocol and Performance",Proc. of ICC '89,pp.13.1.1-pp.13.1.5,1989.
- [7]齊藤, 相田, 金, 青木:"高速LANの公平かつ効率的な帯域割当法",電子情報通信学会論文誌B-I,Vol.78-B-I,No.4,pp.171-178,1995.
- [8]森野, 青木, 相田, 齊藤:"超高速LAN/MANのための高効率アクセス方式",電子情報通信学会論文誌B-I,Vol.78-B-I,No.8,pp.335-342,1995.