

## 分散モードチェンジプロトコルを用いた マルチメディア統合LAN

米田 健 市川 敬史 松下 温  
慶応大学理工学部

マルチメディア統合LANのプロトコルとして、トークンリング方式をベースとしたDPC(Distributed Priority Change)方式を提案する。本方式では、リアルタイムデータ伝送モードとノンリアルタイムデータ伝送モードという2つのモードを設け、一定周期ごとにリアルタイムデータ伝送モードを繰り返すことでリアルタイムデータ通信の保証をしている。モードの切り替えはすべてのノードが必要に応じて行うことができ、特定のノードにより行われていた従来の方式に比べ、効率のよい通信を実現することができる。タイムドトークンプロトコルと比較した結果、パースト的なノンリアルタイムデータの伝送に関して、本方式が優れた特性を持つことが示された。

### An Integrated Service LAN Using Distributed Priority Change Protocol

Takeshi Yoneda Takafumi Ichikawa Yutaka Matsushita  
Faculty of Science and Technology, Keio University  
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223, Japan

As a new protocol for integrated service LAN, DPC ( Distributed Priority Change) protocol is proposed. DPC supports real-time synchronous voice/video service and asynchronous data service using a packet-switched operation. To support synchronous service, it is necessary to guarantee a periodic access to the network with a small delay variation. This requirement is met by alternating between the synchronous mode and the asynchronous mode in a distributed control manner. DPC can achieve higher maximum throughput than other priority protocol using a central controller. Furthermore, DPC can transmit long size data more effectively than timed token protocol .

## 1. はじめに

これからのワークステーションは、カメラ、マイクなどのマルチメディアデバイスが標準装備される。そして、そのような高機能化されたワークステーションは、コミュニケーションのための強力なツールとなってゆく。例えば、テレビ電話やテレビ会議システム、遠隔教育システムが実現され、遠隔地に分散した人々があたかも一つの部屋にいるような環境でコミュニケーションができるようになる。また、現在広く使われているテキストベースの電子メールも音声・映像を含むようになる[1]。

公衆網やPBXが回線交換によるリアルタイムな音声の通信をサポートするために普及したのに対して、コンピュータネットワークはパケット交換によりノンリアルタイムなデータ通信をサポートするために普及した。その後、オフィス環境における音声通信用のPBXとデータ通信用のコンピュータネットワークを統合する目的で音声データ統合LANの研究が行われた[2],[3]。これらの研究ではコンピュータ端末と電話端末は別々のノードとして扱われていた。しかし、マルチメディアワークステーションがノードとなることを考えると、一つのノードから、音声、映像、データが伝送されることを前提としなくてはならない。しかも、映像は圧縮して伝送され、伝送する情報量が時間によって動的に変動することも考慮されなくてはならない。さらに、ネットワークの持つべき重要な機能として、メディア間の同期の機能が上げられる。つまり、一つのワークステーションから伝送される複数の異なるメディアが互いに時間的にずれることなく相手に送られ、また複数の異なるノードから受け取る複数のメディアが時間的にずれることなく受け取られることをネットワークが保証する必要がある。

OSI参照モデルと対応させた場合、上位層（トランスポート層）において、音声、映像、グラフィック、イメージ、データといったさまざまなメディアを区別して扱っていると、下位層（データリンク層）では、リアルタイムデータとノンリアルタイムデータという2種類のデータに分類される。例えば会議システムにおいて、ワークス

テーションのディスプレイ上で、ペン入力により図を書きながらその説明を音声で行う場合、ペンの位置の情報、音声の情報はいずれも、発生してから瞬時に送られる必要があるのでリアルタイムデータである。また、メディア間の同期を保証するためには、まずデータリンク層のレベルでリアルタイムデータ通信が保証されていることが必要条件である。そこで、リアルタイムデータ通信を保証しつつ、効率的にノンリアルタイムデータ通信が行えるデータリンク層の新しいプロトコルとして、DPC(Distributed Priority Chagne)方式を提案する。DPCはトークンリング方式をベースとしている。DPCでは、リアルタイムデータ伝送モードとノンリアルタイムデータ伝送モードという2つのプライオリティーの異なるモードを設け、一定周期ごとにリアルタイムデータ伝送モードを繰り返すことでリアルタイムデータ通信の保証をしている。また、モードの切り替えはすべてのノードが各自の持つタイマーを監視することにより行うことができる。このことにより、モードの切り替えが特定のノードにより行われていた従来の方式に比べ、効率のよいノンリアルタイムデータ通信を実現している。DPCをFDDIで用いられているタイムドトークンプロトコルとシミュレーションにより比較した結果、バースト的なノンリアルタイムデータに対して優れた特性を持つことが示された。

## 2. リアルタイムデータとノンリアルタイムデータ

### 2.1 リアルタイムデータ

音声や映像のようにデータが一定周期ごとに生成され、しかも生成されたデータが遅延なく送られる必要のあるものをリアルタイムデータという。例えば、典型的な映像は1秒間あたり30枚のフレーム情報から構成される。つまり、1/30秒ごとにフレームデータが生成されるわけである。受け手側で映像が正しく再生されるためには、1フレーム分のデータは生成され送信キューに入れられてから1/30秒間以内に伝送される必要がある。つまり、ネットワークのプロトコルはリアルタイムデータを伝送するノードに対して、一定時間以内

に確実に伝送権が与えられることを保証しなくてはならない。

## 2.2 ノンリアルタイムデータ

伝送遅延を許容するデータをノンリアルタイムデータという。例えば、ファイル転送で送られるファイルのデータは、多少の伝送遅延を許容するのでノンリアルタイムデータである。最近では、NFSなどを利用して、ネットワークを介してファイルシステムを共有することが多くなり、ファイルの転送頻度は増加している。また、転送されるファイルは今後マルチメディア化が進み、映像・音声情報を含むようになり、膨大なサイズを持つようになる。したがって、ファイル転送は短時間で完了することが望れる。そのためには、短時間で効率よく大きなサイズのノンリアルタイムデータを伝送するプロトコルが必要である。

## 3. トークンリング方式

トークンの巡回方向

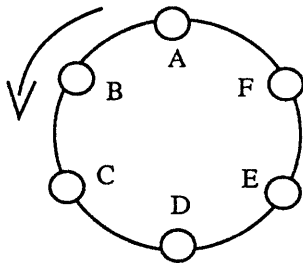


Fig.1 トークンリング方式

DPCはトークンリング方式をベースとしている。トークンリング方式においては、Fig.1に示すようにトークンと呼ばれる伝送権がリング上を周回し、トークンを保持するノードのみが伝送を行うことができる。伝送を終了したノードは、次のノードにトークンを渡す。このように、常にトークンを持っている一つのノードが伝送を行うので、イーサネットを採用されているCSMA/CD方式のように、複数のノードが同時に伝送を試みることによる伝送の衝突が起こることがなく、高いスループットの状況でも、優れた遅延特性を持つのが特徴である。また、トークンを保持した時の伝送可能時間

を制限することで、トークンがリングを1周する時間（TRT: Token Rotation Time)に上限を設けることができるので、一定時間以内に必ず伝送権をノードに与えるプロトコルを容易に作るができる。

## 4. DPC(Distributed Priority Chagne)方式

### 4.1 概要

音声や映像などのリアルタイムデータ通信のためのリアルタイムデータ通信モードとファイル転送などのノンリアルタイムデータ通信のためのノンリアルタイムデータ通信モードという2つのモードを設け、一定周期ごとにリアルタイムデータ伝送モードを繰り返すことにより、リアルタイムデータ通信を保証する。具体的には、トークンの中に現在のモードを示すフィールドがあり、そのフィールドの値がSYNCであるとき（このトークンをSYNCトークンと言う）がリアルタイムデータ伝送モードであり、ASYNCであるとき（このトークンをASYNCトークンという）がノンリアルタイムデータ伝送モードである。SYNCトークンを得たノードはリアルタイムデータの伝送のみが許され、ASYNCトークンを得たノードはノンリアルタイムデータの伝送のみが許される。

まずはじめにSYNCトークンが発行され、リアルタイム伝送モードが開始される。各ノードはSYNCトークンを得たときに、もし伝送すべきリアルタイムデータがある場合はそれを送り、伝送終了後、次のノードにトークンを渡す。もしトークンを受け取ったとき伝送するリアルタイムデータがない場合はすぐに次のノードにトークンを渡す。SYNCトークンが1周し、リング上のすべてのノードにリアルタイムデータの伝送機会が一回与えられると、トークンのモードはASYNCに変えられ、ノンリアルタイム伝送モードが開始される。ASYNCトークンを得たノードは、もし伝送すべきノンリアルタイムデータがあるときはそれを伝送し、伝送終了後、次のノードにトークンを渡す。もしトークンを受け取ったときに伝送するノンリアルタイムデータがない場合にはすぐに次のノードにトークンを渡す。各ノードに一定周期ごとに一回のリ

リアルタイムデータの伝送権を与えるために、ASYNCトークンを所持しているノードは、一つ前のリアルタイムデータ伝送モードの開始から一定時間Tが経過したことを検知すると、SYNCトークンを発行し、次のリアルタイムデータ伝送モードを開始する。以後同様の処理が繰り返される。

#### 4.2 リアルタイムデータ伝送

リアルタイムデータの伝送は、リアルタイムデータ伝送モードにおいて行われる。一回のリアルタイムデータ伝送モードにおいて、各ノードは一回のリアルタイムデータの伝送権を与えられる。

トークンの巡回方向

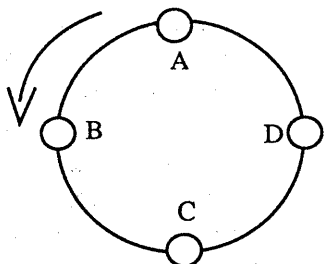


Fig.2 DPC方式

例えば、Fig.2に示したように、4つのノードがリング上に存在するとする。Aからリアルタイムデータ伝送モードが始まる場合、まずAはトークンを獲得すると、トークンのモードをSYNCに変え、もしリアルタイムデータを持っていればそれを伝送し、伝送終了直後にトークンを発行する（マルチプルトークン方式）。もし、伝送すべきリアルタイムデータがない場合はただちにトークンを次のノードBに渡す。ノードB,C,Dも同様の処理を行った後、AにSYNCモードのトークンが一周して戻ってくる。このことはリング上すべてのノードがリアルタイムデータの伝送権を一回得たことを意味する。AはトークンのモードをASYNCに変え、自分自身はデータを伝送せずに、ノードBにASYNCモードのフリートークンを渡す。

#### 4.3 ノンリアルタイムデータ伝送

ノンリアルタイムデータの伝送は、ノンリアル

タイム伝送モードにおいて行われる。各ノードはASYNCモードのトークンを得ると、伝送すべきノンリアルタイムデータを持っていればそれを伝送し、その直後に次のノードにASYNCモードのトークンを渡す。もし、伝送すべきノンリアルタイムデータを持っていない場合は次のノードにASYNCモードのトークンをすぐに渡す。ここで、周期的にリアルタイムデータ伝送モードが繰り返されるためには、各ノードのノンリアルタイムデータの伝送時間を制限する必要がある。伝送時間の制限は、各ノードが各自の持つタイマーを参照することで実現している。タイマーは、リアルタイム伝送モードを開始したノード（トークンのモードをASYNCからSYNCに変えたノード）の伝送したデータの先頭（ビジートークン）を検知したとき（もし途中のノードがリアルタイムデータを伝送しなかった場合は、フリートークンを検知したとき）にリセットされる。このデータはリング遅延時間でリングを一周する。したがって、リアルタイムデータ伝送モード開始後、リング遅延時間内にすべてのノードのタイマーがリセットされる。タイマーがリセットされると、タイマーの値はリアルタイムデータ伝送モードの繰り返し周期Tにセットされ、リセット直後からカウントダウンが開始される。各ノードは、ASYNCモードのトークンを得ると、まずタイマーの残り時間を参照する。この残り時間がノンリアルタイムデータの最大伝送可能時間である。伝送時間がこの最大伝送可能時間を越えない分のノンリアルタイムデータを伝送することができる。ASYNCトークン保持中にタイマーの残り時間が0となったノードは、SYNCトークンを発行し、リアルタイムデータ伝送モードを開始する。そのとき、もし自分がリアルタイムデータを持っていればそれを伝送し、もしリアルタイムデータを持っていなければ、すぐにSYNCモードのフリートークンを次のノードに渡す。このようにして、ノンリアルタイムデータ伝送モードからリアルタイムデータ伝送モードへの遷移が行われる。

#### 4.4 リアルタイムデータ伝送モードの周期

リアルタイムデータが一定周期ごとに発生する

ときにリアルタイムデータ伝送モードの周期 $T$ をどのように設定すべきか考察する。リアルタイムデータ伝送モードの周期を $T$ とすると、発生したリアルタイムデータの待ち時間（発生してから、伝送が開始されるまでの時間）は次のようなケースで最大となる。あるノード（ノードAとする）がリアルタイムデータ伝送モードで最初にSYNCトークンを得たにもかかわらずリアルタイムデータがないために次のノードにSYNCトークンを渡し、その直後にリアルタイムデータがノードAで発生したとする。このリアルタイムモードにおいてはノードA以外のノードでは伝送すべきリアルタイムデータがなく、SYNCトークンが一周したとする。ノードAにはトークンが戻ってくるがノンリアルタイムデータ伝送モードになるので、キューに入っているリアルタイムデータを送ることができない。リアルタイムデータ伝送モード開始後一定時間 $T$ が経過し、あるノードが次のリアルタイムデータ伝送モードを開始する。今度は全てのノードにリアルタイムデータが存在し、ノードAにはそのリアルタイムデータ伝送モードにおいて最後にSYNCトークンが回ってくるとする。この場合、Fig.2に示したように、このデータの待ち時間は $2xT$ となる。ただし、全ノードが一つのリアルタイム通信モードでリアルタイム通信を行ってもリアルタイムデータ伝送モードは一定時間 $T$ を越えないように、トークンを得たときの各ノードのリアルタイム通信の時間は制限されているとする。

したがって、リアルタイムデータが一定時間 $T$ ごとに発生するとき、リアルタイムデータ伝送モードの周期は $T/2$ とすればよい。

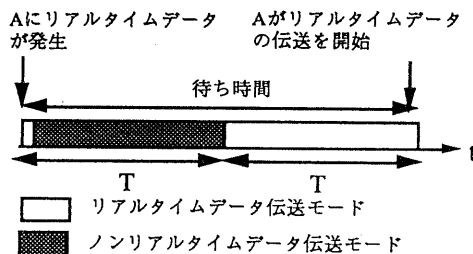


Fig. 2 リアルタイムデータの最大待ち時間

#### 4.5 ノンリアルタイムデータ通信の公平性

ノンリアルタイムデータ伝送モードをリアルタイムデータ伝送モードに変えたノードは、そのリアルタイムデータ伝送モードをノンリアルタイムデータ伝送モードに変える役割を持つ。モードをノンリアルタイムデータ伝送モードに変えたノードはノンリアルタイムデータの通信はせずに、次のノードにノンリアルタイムデータの伝送権を与えるようにしている。つまり、ノンリアルタイムデータの伝送権は、1つ前のノンリアルタイム伝送モードにおいて最後に伝送権を持っていたノードの次のノードから周回することになる。よって、ノンリアルタイムデータの伝送権は全てのノードに公平に与えられることになる。

### 5. その他の統合LAN

#### 5.1 MPC(Multiple Priority Control)方式[4]

MPCは、DPCと同様にトークンリング方式をベースとし、2つのプライオリティーの異なるモードを利用して、リアルタイムデータとノンリアルタイムデータを統合的に伝送している。DPCと違う点は、常に特定の1つのノードがモードの変更することである。このノードのことを管理局と呼ぶ。今2つのモードをDPCと同様に、リアルタイムデータ伝送モード、ノンリアルタイムデータ伝送モードと呼ぶことにする。管理局は一定の周期 $T$ でリアルタイムデータ伝送モードを開始する責任を持つ。DPCと同様にトークンの中のモードフィールドがSYNCであればリアルタイムデータ伝送モード、ASYNCであればノンリアルタイム伝送モードである。

まず、はじめに管理局は、トークンのモードフィールドをSYNCにして、リアルタイムデータ伝送モードを開始する。このモードフィールドがSYNCのトークン（SYNCトークン）を受け取ったノードは、DPCと同様に、伝送すべきリアルタイムデータを持っていれば伝送し、なければただちに次のノードにトークンを渡す。SYNCトークンが1周して管理局に戻って来ると、管理局はトークンのモードフィールドをASYNCにしてノンリアルタイムデータ伝送モードを開始する。第1回目のノンリアルタイムデータ通信モードでは、管理局の次の

ノードがASYNCトークンを得る。ASYNCトークンを得たノードはノンリアルタイムデータを伝送する。MPCでは、各ノードはASYNCトークンを得たときに伝送できるノンリアルタイムデータの上限を把握していない。やがて、管理局では、タイマーを参照することで、リアルタイムデータ伝送モード開始から一定時間Tが経過したことを検知すると、現在の他のノードによって行われている伝送をさえぎって、SYNCトークンを発行する。伝送をさえぎられたノードは自分の伝送がさえぎられたことを記録しておく。やがて、SYNCトークンが1周して管理局に戻ってきて、ASYNCトークンが管理局によって発行されると、このASYNCトークンをはじめに利用できるのは、前回のノンリアルタイムデータ伝送モードにおいて伝送のさえぎられたノードからである。このようにして、ノンリアルタイムデータ伝送の公平性を実現している。この方式の欠点は、ノンリアルタイムデータ伝送モードの最初のトークンの1周時において、管理局から前回伝送がさえぎられたノードの間に存在するノードはASYNCトークンを得ても伝送ができないことである。このことによるオーバーヘッドは、効率の低下を招く。DPC方式ではこのようなノンリアルタイムデータの公平性を保証するために生じるオーバーヘッドは存在しない。

## 5.2 TTP(Timed Token Protocol)

TTPはFDDIで採用されているプロトコルである。TTPは、トークンがリングを一周する時間TRTを常に監視し、トークンを受け取ったときに時間に余裕があれば、リアルタイムデータの伝送後続けてノンリアルタイムデータ伝送を行い、時間に余裕がないときは、リアルタイムデータの伝送のみを行うことで、TRTの平均がある設定値 (TTRT: Target Token Rotation Time)に、TRTの最大値が2 x TTRTになるように設計されている。

各ノードは、トークンを受け取る度に、前回トークンを受け取った時間との差を計算し、TRTを計算する。TTRT - TRTが正であれば、トークンは余裕を持ってまわって来たことになる。この場合は、まずリアルタイムデータの伝送を行いその直後にノンリアルタイムデータの伝送をTTRT - TRT

時間以内で伝送することができる。もし、TTRT - TRTが負であれば、トークンは予定より遅れて周回してきたことになる。この場合、時間に余裕がないのでリアルタイムデータの伝送しか行わない。さらにこの時、このノードはTRT - TTRTを遅れとして記録しておき、次にトークンを受け取ったときにはTRTにこの遅れを加えた分をTRTとして、上記の判断を行う。TTRTの値はリングの初期化時に全てのノードの要求を満たすように設定される。TRTの平均、最大値がそれぞれTTRT, 2 x TTRTになることは[5]で証明されている。

## 6. シミュレーション

DPCとTTPのバーストデータ伝送（大きなサイズのノンリアルタイムデータ伝送）に対する特性をシミュレーションにより比較した。シミュレーション条件は以下の様に設定した。

伝送容量 : 100 Mbits/sec

ケーブル長 : 50 km

信号伝播速度 :  $2 \times 10^8$  m/sec

全ノード数 : 250

リアルタイムデータ発生ノード数 : 10

ノンリアルタイムロングデータ発生ノード数 : 10

最大パケット長 : 5 kbytes

リアルタイムデータ発生周期 : 30 ms

ノンリアルタイムショートデータ平均サイズ : 1 kbytes

ノンリアルタイムロングデータ平均サイズ : 100 kbytes

リアルタイムデータ平均発生量 : 4 Mbits/sec/node

ノードには以下の3種類がある。

タイプ1: ノンリアルタイムショートデータのみを発生するノード

タイプ2: ノンリアルタイムショートデータとリアルタイムデータの両方を発生するノード

タイプ3: ノンリアルタイムロングデータを発生するノード

タイプ2、3のノードは均等にそれぞれ10ノードが配置され、それ以外の230ノードがタイプ1である。ノンリアルタイムデータの遅延は、データが発生してからそのデータがすべてネットワークに送出されるまでの時間とし、伝送媒体上での伝送時間は含まない。リアルタイムデータの

スループットは40Mbps/sで一定とした。DPCのリアルタイムデータ伝送モードの繰り返しの周期TとTTPのTTRTは共に15msとした。

## 7. 結果

Fig.4, Fig.5 ともに縦軸は遅延を横軸はノンリアルタイムデータのスループットを表している。Fig.5がノンリアルタイムロングデータのみ平均遅延とスループットの関係を示しているのに対して、Fig.4 はノンリアルタイムのショートデータ、ロングデータの全平均遅延とスループットの関係を示している。

Fig.4より、TTPの方がDPCよりも少ない遅延でリアルタイムデータが伝送されていることがわかる。これは、DPCでは、リアルタイム通信モード中にあるノードでノンリアルタイムデータが発生した場合は、たとえそのノードがトークンを得てもそれがSYNCトークンであれば伝送できないのに対して、TTPでは トークンを得たときはいつでも時間に余裕がある限りノンリアルタイムデータの伝送が行えるからである。

しかし、Fig.5に見られるように、ノンリアルタイムのロングデータに対しては、スループットが低い間はTTP、DPCともに大きな差はみられないが、スループットが0.4を超えると、DPCの方が伝送遅延が少なく、明らかに効率のよい伝送が行われていることがわかる。これは、スループットが高くなった状況では、TTPではトークンを得たときのノンリアルタイム通信時間が比較的全ノードに細かく均等に割り当てられることが多くなるのに対して、DPCでは、一回のノンリアルタイムデータ通信モードにつき、ASYNC トークンを得た一つのノードが伝送路を占有でき、長時間のノンリアルタイムデータ通信が可能となり、大きなサイズのデータを送りきるまでに必要なトークンの獲得回数を減らすことができるからである。映像情報がネットワークに流れるようになると、リアルタイムデータのスループットは常に数10%占め、残りの伝送容量がマルチメディアファイルのような数Mbpsから数10Mbpsのノンリアルタイムデータの伝送に用いられることが考えられる。このような状況において、DPCは優れた特性を示すわけ

である。

## 8. 結論

DPCでは、リアルタイムデータ伝送モードとノンリアルタイムデータ伝送モードという2つのモードを設け、一定周期ごとにリアルタイムデータ伝送モードを開始することで、リアルタイムデータの通信を保証しつつ、効率的なノンリアルタイムデータの通信を実現している。MPCのようにモードの変更を特定の一つのノードが行うのではなく、すべてのノードがタイマーを利用することによりモードを変更することができる。このことにより、MPCに存在したようなデータの公平性を保つためのオーバーヘッドをなくすことができた。さらに、シミュレーションの結果、スループットの高い状況において、バーストデータの伝送がFDDIで用いられているタイムドトークンプロトコルよりも効率的に行われることが示された。

## 参考文献

- [1] T. Yoneda and Y. Matsushita, A Time Dependent Multimedia Document as Advanced Communication media, Proceedings of the ACM Computer Science Conference, (March 1992), pp.533-540.
- [2] T. Yoneda, K. Okada, and Y. Matsushita, An Integrated Network Based on Dynamic Variable Packet Length, Proceedings of an International Conference organized by the IPSJ to Commemorate the 30th Anniversary, Part 2, (Oct. 1990), pp.317-324.
- [3] T. Yashiro, T. Ichikawa, T. Yoneda, A Dynamic Logical Ring Method(DLRM) for Integrated Service LAN, Proceedings of the 5th International Joint workshop on Computer Communications, (July. 1990), pp.75-83.
- [4] D. Karvelas and A. Leon-Garcia, "A Performance Comparison of Voice/Data Token Ring Protocols, Proc. of INFOCOM 87, pp. 846-851
- [5] M. J. Johnson, "Proof that Timing Requirements of the FDDI Token Ring Protocol are Satisfied", IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-35, No.6, pp.620-625, June 1987.

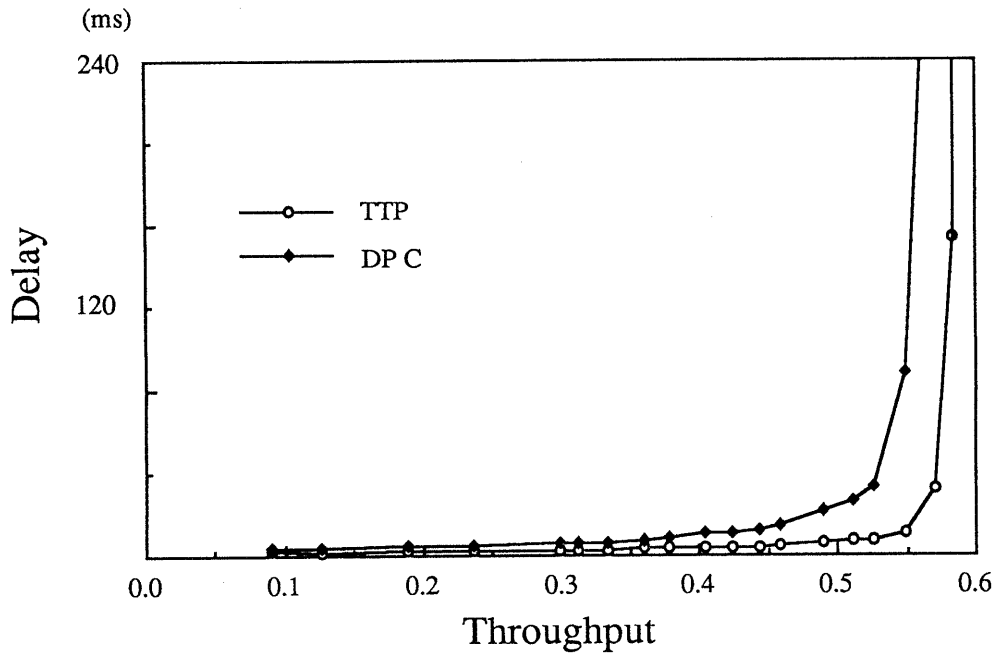


Fig.4 Average Asynchronous Data Delay vs. Throughput

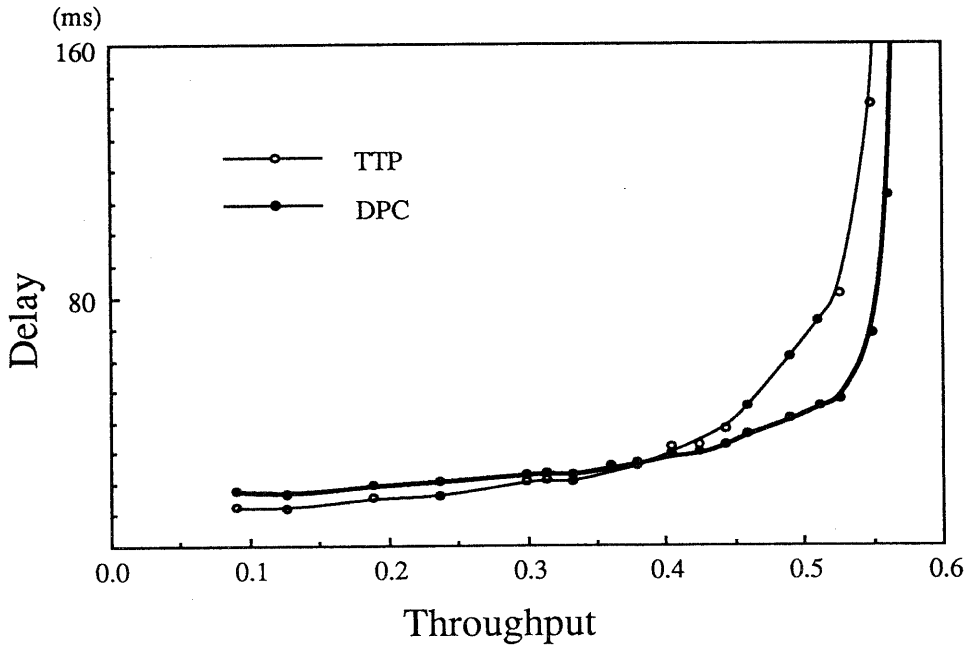


Fig.5 Average Asynchronous Long Data Delay vs. Throughput