

ATM方式を用いた基幹LANにおける 高速ブリッジ接続方式の提案

塚越雅人[†] 高田 治[†] 村上俊彦[†]
寺田松昭[†] 芝田 泰^{††}

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) の普及、および広帯域 ISDN の標準化に伴い、FDDI を相互接続する ATM (Asynchronous Transfer Mode) ベースの高速 LAN への要求が高まっている。本論文では、FDDI 等を相互接続する、ATM 技術を適用した高速マルチメディア基幹 LAN と支線 LAN との間のブリッジによる接続を高速かつ高効率に実現するために、高速 FDB (Filtering Database) アクセス (登録/検索) 方式を提案し、評価を行った。提案方式の特徴は、FDB への登録/検索にハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズムを用いると共に、登録要求に対して検索要求を優先的に処理する要求調停機能を備えることにより、数万端末以上の大規模なネットワークシステムにおいてもすべての端末のアドレスを認識し、端末間のフレームの中継制御を高速かつ効率的に行うことを可能にした点にある。提案方式の評価を通じ、FDB に端末のアドレス情報を登録する際の損失率 (FDB 登録損率) を 10^{-3} 以下とする必要があることを明らかにすると共に、FDB 使用率が 0.5 の場合において、最大ハッシュ回数を 12 とすることにより、提案方式が FDB 登録損率の目標値を達成できることを明らかにした。

Proposal of High-speed Interconnection with Bridges using ATM-based Backbone LAN

MASATO TSUKAKOSHI,[†] OSAMU TAKADA,[†] TOSHIHIKO MURAKAMI,[†]
MATSUAKI TERADA[†] and YASUSHI SHIBATA^{††}

This paper proposes a high-speed FDB (Filtering Database) access method for large-scale and high-speed interconnection of multiple front-end LANs using an ATM-based high-speed multimedia backbone LAN. By employing a multiple hashing algorithm and priority control for each FDB access, the proposed method enables the handling of tens of thousands of terminal addresses and provides high-speed and efficient filtering control of frames between terminals. After evaluation it was determined that, when registering a terminal address to the FDB, the failure rate (FDB Learning Failure Rate) should be below 10^{-3} . It was also found that when FDB utilization is 0.5, the proposed method is able to achieve this target value of FDB Failure Rate, if maximum number of hashing is 12.

1. はじめに

近年、FDDI (Fiber Distributed Data Interface) が広く導入され始めている¹⁾。現在のところ、FDDI は 10 Mbps 程度の LAN のバックボーンとして用いられることが多いが、高速データ転送へのニーズの高まりから、FDDI がフロントエンド LAN として用いられる形態が今後多くなると考えられる。この結果、FDDI のバックボーンとなる LAN が必要になると予想される²⁾。

一方、広域網の分野では、CCITT により ATM (Asynchronous Transfer Mode) 技術^{3),4)}をベースとした広帯域 ISDN の標準化が行われている。各地域に分散された LAN を広域網を用いて効率的に接続するためには、LAN においても ATM 技術を積極的に採り入れ、広域網との親和性を高めることが重要になると考えられる。

従来、LAN 間をブリッジで接続する技術については 10 Mbps 程度の LAN を対象としているものが多い⁵⁾。FDDI 同士を広帯域 ISDN を介してブリッジで接続する方式についてはすでに提案がなされ、広帯域 ISDN の帯域割り当てアルゴリズムを用いることで輻輳が防止できる可能性が報告されている⁶⁾。しかしながら、ブリッジ本来のフレーム中継処理に関する事

[†] (株)日立製作所システム開発研究所
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

^{††} (株)日立製作所オフィスシステム事業部
Office Systems Division, Hitachi, Ltd.

項, すなわちフレームフィルタリングのためのデータベースである FDB (Filtering Database) アクセス方式に対する事項については論じられていなかった。

本論文では, FDDI 等を相互接続する ATM ベースの高速マルチメディア基幹 LAN^{7),8)} における支線 LAN のブリッジ接続方式を対象に, 大規模ネットワークに対応した高速 FDB アクセス方式を提案し, 評価している。提案方式の特徴は, FDB への登録/検索にハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズムを用いると共に, 各要求に対する優先度制御を行うことで, 数万端末以上の大規模なネットワークシステムにおいてもすべての端末のアドレスを認識し, 端末間のフレームの中継制御を高速かつ効率的に行うことを可能にした点にある。

以下では, 第2章で支線 LAN の大規模相互接続システムと従来技術の問題点を述べる。第3章で, 高速 FDB アクセス方式を提案すると共に, その方式評価を行う。第4章では第3章で提案した方式に基づいて開発した FDDI ブリッジの構成を示す。

2. 支線 LAN の大規模・高速接続システム

2.1 システムの概要

高速マルチメディア基幹 LAN (以下では MBLAN (Multimedia Backbone LAN) と略す) を用いたシステム構成例を図1に示す。MBLAN は, 従来バックボーン LAN として用いられてきた FDDI 等の LAN を相互接続する。さらに MBLAN は ATM 技術をベースとしており, 53バイト長のセルと呼ばれる固定長パケットにより情報が転送される。支線 LAN, PBX などは, MBLAN 内ノードのポートインタフェースを通して接続される。支線 LAN を接続する

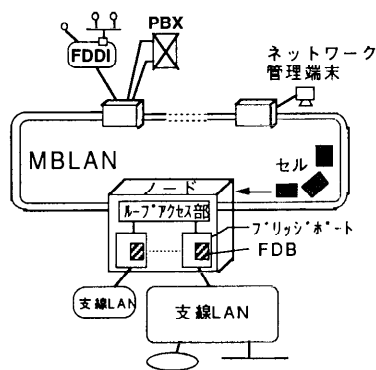


図1 ネットワーク構成例
Fig. 1 An example of network configuration.

ポートを以下ではブリッジポートと呼ぶ。MBLAN 内セルのセルヘッダには, そのセルの宛先と送信元のブリッジポートアドレスが含まれる⁹⁾。

支線 LAN フレームは, 送信元のブリッジポートでセルの情報部の長さに合わせて分割され, MBLAN 内をセルとして転送され, 宛先のブリッジポートで元の支線 LAN フレームに組み立てられる。

2.2 従来技術の問題点

支線 LAN をブリッジで相互接続する技術については, 従来, 支線 LAN の速度が 10 Mbps 程度であることを前提として論じられていた⁵⁾。FDDI 等を接続するブリッジポートに従来の技術を適用する際には, 以下の問題が発生する。

1. 性能

MBLAN が接続する支線 LAN は従来の支線 LAN に比べて1桁以上高速である。フレーム中継処理の中では, 中継/廃棄の判断を行うために端末の位置情報を登録した FDB へのアクセスがネックとなり, 十分な処理性能を実現できない。

2. 大規模システムへの対応

ブリッジポートは MBLAN からセル, 支線 LAN からフレームを受信すると, その送信元アドレスから端末アドレスとブリッジポートアドレスの対応表を作成し, FDB に登録する。次に, フレームの宛先アドレスが FDB に登録されているかを検索し, 該フレームの廃棄/中継を判断する。ブリッジポートが支線 LAN からフレームを受信したとき, もし宛先アドレスが FDB 中に存在し, 対応するブリッジポートアドレスが自ブリッジポートであるとき, フレームを廃棄する。それ以外の場合は, MBLAN に該フレームを中継する。

MBLAN を介した支線 LAN の大規模ネットワークシステムには, 数万の端末が接続されると考えられる。従来はこのような大規模システムに対する考慮がされていなかったため, 大規模システム内のすべての端末のアドレスを認識し, 上述した FDB による中継制御を効率的に行うことができなかった。

3. 同報トラフィックの影響

ブリッジポートが支線 LAN からフレームを受けとったとき, そのフレームの宛先アドレスが自分の FDB に登録されていない場合, 送信すべきブリッジポートが不明 (これを経路不明と呼ぶ) なので, ブリッジポートはそのフレームを同報セルに変換して MBLAN に送信する。同報セルは MBLAN 内

のすべてのブリッジポートがコピーし、受信することになるので、結果としてすべての支線 LAN に上記フレームが送信される。

ブリッジを用いた LAN 相互接続システムでは、同報トラフィックの量は非常に「敏感」な問題として扱われる。

ブリッジは同報トラフィックをすべて通してしまうため、同報トラフィックがシステム全体に広がり、最悪の場合システムダウンにつながる危険があることが報告されている⁹⁾。従来は、経路不明による同報トラフィックの発生について明確な規定が存在しなかったため、上述した危険が常に存在した。

2.3 提案方式

前節で示した問題を解決するため、本論文では高速 FDB アクセス方式を提案する。本方式の特徴は、ハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズムおよび各要求ごとの優先度制御により、数万端末以上の大規模ネットワークシステムに柔軟に対応し、(1)フレーム中継制御を高速に行うことを可能にすると共に、(2)同報トラフィックも低減できる点にある。

3. 高速 FDB アクセス方式

3.1 要求条件

FDB アクセス方式に対する要求条件を以下に示す。

1. 高性能化

MBLAN 内の一つのセルからフレームを読み出し、支線 LAN から受信済みの他のフレームを先程のセルに書き込むことを可能にするため、1セル時間内に MBLAN→支線 LAN 方向、および支線 LAN→MBLAN 方向のフレーム中継に必要な FDB アクセスを完了させなければならない。

2. 大規模エン트리アクセス

数万規模の FDB エントリを構成可能とし、かつ要求するエントリの検索/登録を効率的に行う必要がある。

3. エントリ登録ミスの低減

エン트리登録ミスを低減し、経路不明による同報トラフィックの発生割合を可能な限り抑止することが必要である。

3.2 高速アクセス方式

従来、FDB アクセス方式は例えばツリーサーチアルゴリズムを用いたソフトウェアにより、もしくは CAM (Contents Addressable Memory) によりインプリメントされていた。しかしながら、ソフトウェア

によるサーチでは処理速度に、CAM ではエントリ数に難があり、大規模ネットワークシステムにおける FDB 構築方式への要求を満たしていない。

本論文で提案する高速 FDB アクセス方式は、ハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズム、および要求調停機能を備えたものであり、これにより高速化とエントリの大規模化を図っている。多重ハッシュアルゴリズムは高速暗号化技術¹⁰⁾を用いてほぼ理想的なランダム値を得る第一次ハッシュ関数と、第一次ハッシュ関数よりシンプルで高速な第二次ハッシュ関数¹¹⁾の二種類のハッシュ関数を用いることに特徴がある。要求調停機能とは、FDB への登録要求・検索要求をバッファリングし、検索要求を優先処理する機能である。検索要求は受信フレームの廃棄/中継を判断するものであり、即座に処理されなければならない。一方、登録要求は検索ほど即時性が要求されないため、中継処理の空いた時間に処理を行えば十分である。

図 2 に多重ハッシュアルゴリズムの構造を示す。ブリッジポートに FDB への登録要求が発生すると、まず 48 ビットの MAC アドレスに第一次ハッシュ関数を適用し、変換後のデータ列の一部または全部を FDB のアドレスとしてアクセスし、登録処理を行う。登録しようとする情報がすでに登録されている場合は、エントリが登録されてからの経過時間を示すエイジングタイマをリセットするのみである。エイジングタイマは各エントリごとに存在し、タイマの値が一定値(エイジングタイム)を超えたエントリは FDB から削除される。アクセスしたエントリがすでに他の MAC アドレスのエントリとして使用中であったときには、第二次ハッシュ関数を規定の回数を限度として登録可能エントリを見つけるまで適用する⁶⁾。

第二次ハッシュ関数を規定の回数適用しても登録可能エントリが見つからなかったときは登録失敗として取り扱う。

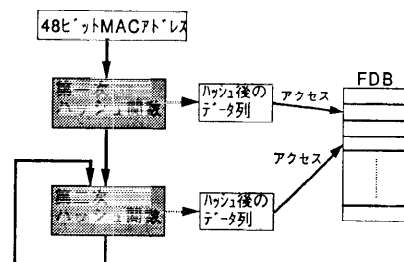


図 2 多重ハッシュアルゴリズムの構造
Fig. 2 Structure of multiple hash algorithm.

FDB への検索要求が発生すると、登録時と同様、目的とするエントリを見つけるまで、または規定の最大回数までハッシュを繰り返す。

3.3 方式評価

3.3.1 FDB 登録損率

高速 FDB アクセス方式の評価指標の一つとして FDB 登録損率を定義する。これは、FDB への登録要求が発生したとき、その要求が失敗する確率である。

2.2 節で示したように、支線 LAN フレームの宛先アドレスが自分の FDB に登録されていない場合、ブリッジポートはそのフレームを同報セルに変換して MBLAN に送信する。このことから、同報トラフィックの抑止のためには、FDB 登録損率をできるかぎり低減する必要がある。

3.3.2 同報発生確率の評価

評価モデルを図 3 に示す。FDB への登録要求は FDB 登録損率 η の確率で拒否される。登録要求が受け入れられた場合、このエントリ情報は FDB にエイジングタイム T の間保持され、後に自動的に削除される。

支線 LAN からのフレームを受信後、ブリッジポートは該フレームの宛先アドレスが自分の FDB に登録されているかを調べる。もし登録されていない場合、ブリッジポートは該フレームを同報セルに変換し、MBLAN に送信する。すなわち、同報発生確率は、あるフレームの宛先アドレスが FDB に登録されていない確率に置き換えることができる。

評価に際して、端末からのフレーム送信、エントリ情報の登録要求、フレームの宛先アドレスはランダムであることを前提とした。

同報発生確率の導出を図 4 を用いて説明する。端末 A 宛のフレームを MBLAN に送信する時点 (図中の X) を基準にして考える。X の時点では、端末アドレス A が FDB に登録されているかどうかを調べる

(FDB 検索要求)。A が登録されていないとき同報が発生するが、これは X より過去 T (エイジングタイム) 以内に端末 A が i 個 ($i \geq 0$) フレームを送信し、この i 個のフレームがすべて登録に失敗した場合と同等である。したがって、同報発生確率は以下の式で表される。

$$P_b = \sum_{i=0}^{\infty} (P_i \times \eta^i) \tag{1}$$

ただし η : FDB 登録損率。

P_i : エイジングタイム T の間に端末が i 個のフレームを送信する確率。

P_i は以下の式で表される。

$$P_i = \frac{\left(\frac{T}{m}\right)^i}{i!} \times e^{-(T/m)} \tag{2}$$

ただし T : エイジングタイム。

m : 一端末あたりの平均フレーム送信間隔。

上式に基づき同報発生確率を求めた結果を、エイジングタイム = 5 分のときについて図 5 に示す。本図から、FDB 登録損率 η が 10^{-3} 以下であるなら、 $\eta=0$ 、すなわち、すべてのエントリ登録要求が受け入れられ

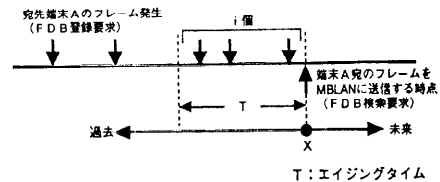


図 4 FDB 登録/検索モデル
Fig. 4 FDB access model.

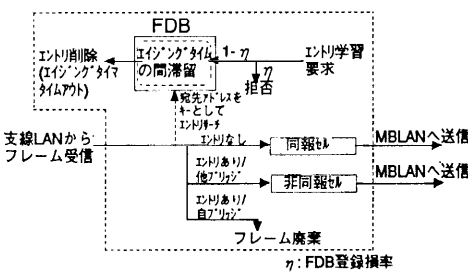


図 3 評価モデル
Fig. 3 Evaluation model.

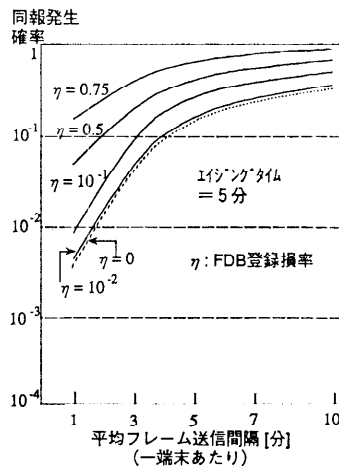


図 5 同報発生確率 (エイジングタイム=5分)
Fig. 5 Broadcast probability (aging time=5min).

るときほとんど変わらない同報発生確率が得られることがわかる。したがって、FDB 登録損率は安全サイドを考慮し、 10^{-3} 以下が必要であると結論付けられる。

3.3.3 フレームフィルタリングの有効性評価

支線 LAN フレームを MBLAN で転送する方式として以下が考えられる。

- (a) すべての支線 LAN フレームを同報セルとして MBLAN に送信し、受信ブリッジポートで FDB 検索処理 (フレームフィルタリング処理) を行う。
- (b) 宛先であるブリッジポートに向けた非同報セルを MBLAN に送信する。経路不明のときは同報セルを送信する。受信ブリッジポートで FDB 検索処理を行う。
- (c) (b)と同様であるが、受信ブリッジポートで FDB 検索処理は行わない。

上記(a)は、接続する支線 LAN の数が増加するにしたがい MBLAN, 支線 LAN 共にセルおよびフレームトラフィックが急増し、スループットが著しく低下するため好ましくない。ブリッジポートの高性能化への要求からは、FDB アクセスの回数が少ない(c)の方式が有利なことは明らかである。本項では、(b)と(c)の違いの有意性、すなわち、MBLAN→支線 LAN 方向の FDB 検索処理 (下り検索処理) の有効性を評価する。

ある端末間でフレーム送受信が発生したとすると、送信元端末が存在する支線 LAN を接続するブリッジポート (送信元ブリッジポート) と、送信元ブリッジポート以外のブリッジポートの FDB は表 1 に示す四つの状態が考えられる。

このうち、下り検索処理を実行する意義があるのは状態 2 のときのみである。すなわち、送信元ブリッジポートで同報セルが発生したとしても他ブリッジポートで受信後支線 LAN に送信する必要がないときには再組立後の支線 LAN フレームを廃棄することができ

表 1 下り検索処理有効条件
Table 1 Effectiveness of downward filtering.

条件 No.	送信元ブリッジポートの FDB	他ブリッジポートの FDB
1	宛先アドレス未登録	宛先アドレス未登録
2	宛先アドレス未登録	宛先アドレス登録
3	宛先アドレス登録	宛先アドレス未登録
4	宛先アドレス登録	宛先アドレス登録

る。上記状態 2 が起こる確率を下り検索効果率 P_e とすると、 P_e は次のように表される。

$$P_e = \sum_{i=0}^{\infty} (P_i \times P_{ei}) \tag{3}$$

ただし P_i : (2)式参照。

P_{ei} : T の間に端末が i 個フレームを発生した条件下で上記状態 2 が起こる確率。

P_{ei} は次のように表される。

$$P_{ei} = \eta^i (1 - \eta^i) \tag{4}$$

ただし η : FDB 登録損率。

(3)式および(4)式より、 P_e は最終的に以下となる。

$$P_e = \sum_{i=0}^{\infty} (P_i \times \eta^i (1 - \eta^i)) \tag{5}$$

上記の式により下り検索効果率を求めた結果をエイジングタイム T が 5 分の場合について図 6 に示す。

3.3.2 項において同報発生確率を評価し、FDB 登録損率 η に対し 10^{-3} 以下という目標値を示した。この目標値が達成されるなら、下り検索効果率は 10^{-4} オード以下となることが図 6 からわかる。この結果は、下り検索処理を行わないことによって宛先不明の同報セルが無条件でブリッジポートを通過し、フレームに組み立てられて支線 LAN に送信されることになるが、このためのトラフィック上昇が 0.01% 程度であることを示している。支線 LAN 接続端末は自分宛でないフレームは受信しないので、他人宛のトラフィックが上昇したことによってオーバーヘッドが増加することは

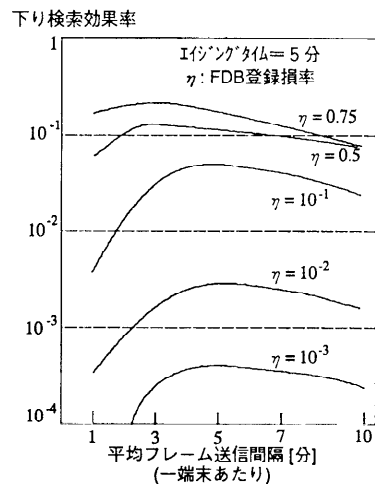


図 6 下り検索効果率 (エイジングタイム=5分)
Fig. 6 Downward filtering effective rate (aging time=5min).

ない。以上のことから、下り検索処理を行わなくてもその影響はごくわずかであるといえ、下り検索処理不要と結論付けられる。

3.3.4 FDB 高速アクセス方式の評価

1. 性能および大規模エントリに関する評価

3.3.3 項において、下り検索処理不要であることを示した。したがって、1セル時間内に上り方向の登録/検索処理、および下り方向の登録処理の計3回のFDBアクセスを行えなければならない(3.1節参照)。本論文で提案したFDB高速アクセス方式は、ハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズム、および要求調停機能を適用することで、大規模エントリアクセスおよび効率的なFDBアクセスを可能とする。

2. エントリ登録ミスの低減に関する評価

3.2節にて述べたFDB登録損率の目標値に対する評価をシミュレーションにて行った。FDB使用率を ρ 、ハッシュ回数を x とすると、FDB登録損率は理想的には ρ^x で表される。この理想曲線と提案方式のシミュレーション結果を合わせて図7に示す。図が示すように、ほぼ理想に近いランダム値を得ることができる。さらに、FDBの使用率を0.5(例えば、FDBのサイズが3万エントリのとき1.5万のエントリが使用中)とし、最大ハッシュ回数を12回とすれば、3.2節にて述べたFDB登録損率の目標値 10^{-3} 以下を達成できることがわかる。

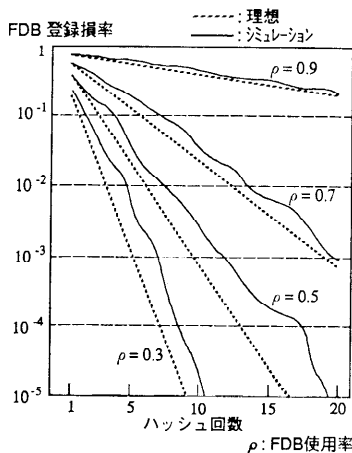


図7 高速FDBアクセス方式のシミュレーション結果
Fig. 7 Simulation results of the FDB access method.

4. 適用評価

本章では、第3章の結果に基づいて開発したFDDIブリッジポートの概要を述べる。

ブリッジポートのハードウェア構成を図8に示す。ブリッジポートは以下のブロックから成る。

1. FDB ブロック

FDBを保持しており、このFDBを用いてFDDIフレームのフィルタリング、フォワーディング制御を行う。多重ハッシュアルゴリズム、および要求調停機能を備える。

2. セグメンテーションブロック

FDDIフレームを分割し、MBLANの転送単位である53バイトのセルとして送信する。

3. リアセンブリブロック

MBLANから自分宛として受信したセルをFDDIフレームに再度組み立てる。

4. フレームクリアブロック

FDDIリングに送信されたフレームがFDDIリング上で無限周回することを防ぐために、自分が出したフレームをリング上から除去する。

上記FDBブロック、セグメンテーションブロック、リアセンブリブロックについては、FDDIブリッジポートモジュール、フレームクリアブロックおよびFDDIとの送受信インタフェース部分については、

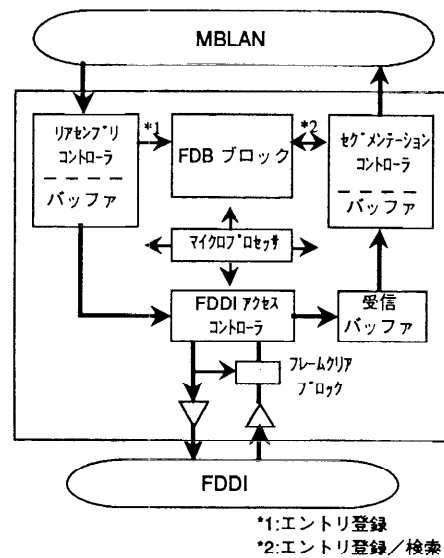


図8 FDDIブリッジポートのハードウェア構成
Fig. 8 Block diagram of an FDDI bridge port.

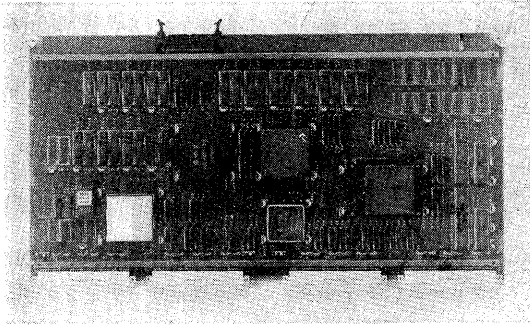


図9 FDDIブリッジポートモジュール
Fig. 9 FDDI bridge port module.

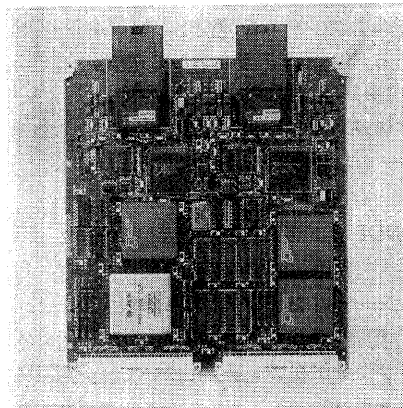


図10 FDDIブリッジアダプタモジュール
Fig. 10 FDDI bridge adapter module.

FDDIブリッジアダプタモジュールとして実現した。図9および図10にFDDIブリッジポートモジュールおよびFDDIブリッジアダプタモジュールを示す。FDBのアクセスにかかる時間は、FDB使用率0.5のとき平均 $1\mu\text{s}$ (最大 $3\mu\text{s}$)であり、高性能化に対する要求を満足するものであった。

5. おわりに

本論文では、ATM技術を適用した高速マルチメディア基幹LANと支線LANとの間のブリッジによる接続を高速かつ高効率に実現するために、高速FDBアクセス(登録/検索)方式を提案し、評価を行った。本方式の特徴は、FDBへの登録/検索にハードウェアによる多重ハッシュアルゴリズムを用いると共に、各要求に対する優先度制御を行うことで、数万端末以上の大規模なネットワークシステムにおいてもすべての端末のアドレスを認識し、端末間のフレームの中継制御を高速かつ効率的に行う点にある。提案方

式の評価を通じ、FDBに端末のアドレス情報を登録する際の損失率(FDB登録損率)を 10^{-3} 以下とする必要があることを明らかにすると共に、FDB使用率が0.5の場合において、提案した多重ハッシュアルゴリズムを最大ハッシュ回数を12として適用することにより、FDB登録損率の目標値を達成できることを明らかにした。

本論文で提案した方式は、高速マルチメディア基幹LANだけでなく、B-ISDNやIEEE 802 MANなど、固定長パケットをベースとしたメディアアクセス方式を用いるブリッジにも適用できる。

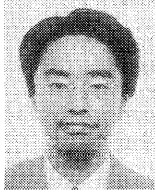
謝辞 本研究を進めるにあたり、御指導及び御討論頂いた日立製作所電機システム事業本部堂免信義技師長、研究開発推進本部大町一彦研究企画センタ長、オフィスシステム事業部加藤正男ワークステーション本部長、檜山邦夫副技師長に感謝致します。

参考文献

- 1) Ross, F. E.: An Overview of FDDI: The Fiber Distributed Data Interface, *IEEE J. Select. Areas in Comm.*, Vol. 7, No. 7, pp. 1043-1051 (1989).
- 2) Fink, R. L. and Ross, F. E.: FFOL—An FDDI Follow-On LAN, *Proc. ACM SIGCOMM Computer Commun. Review*, pp. 15-16 (1991).
- 3) Minzer, S. E.: Broadband ISDN and Asynchronous Transfer Mode (ATM), *IEEE Comm. Magz.*, Vol. 27, No. 9, pp. 17-24 (1989).
- 4) 川原崎雅敏, 岡田忠信: ATMを中心とした高速広帯域ISDNの標準化動向, 電子情報通信学会技術研究報告, IN 87-110 (1987).
- 5) IEEE 802 Committee: IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Bridges (1991).
- 6) Mongiovi, L., Farrel, L. and Trecordi, V.: A Proposal for Interconnecting FDDI Networks Through B-ISDN, *Proc. of IEEE INFOCOM '91*, pp. 1160-1167 (1991).
- 7) Takiyasu, Y., Amada, E., Hatakeyama, M. and Yamauchi, Y.: High-speed Multimedia Backbone LAN Architecture Based on ATM Technology, *IEEE 15th Conference on Local Computer Networks* (1990).
- 8) Takada, O., Tsukakoshi, M., Terada, M. and Yamaga, M.: An FDDI Bridge for the High-speed Multimedia Backbone LAN, *IEEE 15th Conference on Local Computer Networks* (1990).
- 9) Bosack, L. and Hedrick, C.: Problems in Large LANs, *IEEE Network*, Vol. 2, No. 1, pp. 49-56 (1988).

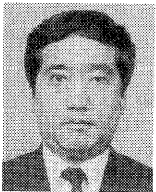
- 10) 宝木和夫, 中川聡夫, 佐々木良一: マルチメディア向け高速暗号方式, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告, 89-MDP-40-5 (1989).
- 11) Knuth, D. E.: *The Art of Computer Programming*, Vol. II, *Sorting and Searching*, pp. 389-550, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1973).

(平成5年10月8日受付)
(平成6年4月21日採録)



塚越 雅人 (正会員)

昭和61年早稲田大学理工学部電気工学科卒業. 同年(株)日立製作所入社. 同社システム開発研究所勤務. 以来, 高速光ループLANシステム, マルチメディアインターネットワーク技術, 大規模システム対応経路情報制御技術の研究開発に従事. 平成6年4月より(株)超高速ネットワーク・コンピュータ技術研究所主任研究員を兼務.



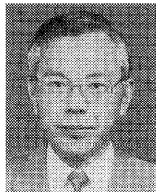
高田 治 (正会員)

昭和54年北海道大学工学部情報工学専攻課程卒業. 同年(株)日立製作所入社. 以来, PBX, ローカルエリアネットワーク, ブリッジ/ルータ装置, プロトコル高速処理装置の研究開発に従事. 現在, 同社システム開発研究所主任研究員.



村上 俊彦 (正会員)

昭和61年大分大学工学部電気工学科卒業. 昭和63年同大学院修士課程修了. 同年(株)日立製作所入社. 同社システム開発研究所勤務. 以来, 高速光ループLANシステム, マルチメディア・インターネットワーク, ATM LANの研究開発に従事.



寺田 松昭 (正会員)

昭和45年岡山大学工学部電気工学科卒業. 同年(株)日立製作所入社. 以来, コンピュータネットワーク, 制御用分散処理システム, LAN, プロトコル高速処理の研究に従事. 現在同社システム開発研究所新分野創造プログラム長. 工学博士. 著書「制御用計算機におけるリアルタイム技術」(共著). 電気学会, 電子情報通信学会, IEEE各会員.



芝田 泰

昭和54年静岡大学工学部電子工学科卒業. 同年(株)日立製作所入社. 同社オフィスシステム事業部勤務. 以来, データ通信機器, LANシステムの開発・設計に従事.