

ノンブロードキャスト・ブリッジネットワーク

平中 幸雄[†] 田中 伸久[†] 武田 利浩[†]
菅原 浩高[†] 松本 慎平[†]

インターネットの社会基盤化にともない、高速広帯域ネットワークが拡大しつつある。インターネットは、従来、IP ルータ中心で構成されてきたが、コスト・遅延時間の面から、幹線通信路ほどルータ排除のネットワークに移行しつつある。なかでも、広域 VLAN などとして、イーサネットをそのまま広域化することが期待されている。しかし、狭域を前提としたブロードキャストネットワークであるイーサネットを広域化することには、トラフィック上の問題があり、ブロードキャストに依存しない方式が必要となっている。本論文では、イーサネットのブロードキャストレス化を提案している。具体的な仕組みとして、ブロードキャストを集中処理するプロキシサーバ、プロキシサーバにブロードキャストを集めるためのデフォルトポートを持つブリッジによる方法を示している。この方法は、階層化により、大規模化が可能であり、管理しやすいネットワーク構造となっている。基本機能について UNIX PC 上で実装をし、伝送遅延時間削減などの効果を確認した。

Non-broadcast Bridge Network

YUKIO HIRANAKA,[†] NOBUHISA TANAKA,[†] TOSHIHIRO TAKETA,[†]
HIROTAKA SUGAWARA[†], and SHINPEI MATSUMOTO[†]

High-speed and broadband networks are expanding with the need of consolidating the Internet as an information infrastructure. Although, the Internet was traditionally constructed as connections of IP routers, low cost and low latency demands for it are urging network operators to construct their core networks without routers. Specifically, as a mechanism that does not use routers, services of virtual local area networks (VLAN) are selected by widely distributed organizations. Although, VLANs are not suitable for wide area communication because they use network-wide broadcast. This paper describes an evolved version of Ethernet which do not depend on physical broadcasts. More specifically, we propose a new Ethernet scheme which comprises with proxy servers that restrict broadcast ranges, non-broadcasting bridges that direct all the broadcasts to the proxy servers through their default routes. The method can be expandable with hierarchical structuring, and also keeps an excellent controllability. We have implemented the method on UNIX PCs and verified the effectiveness of the method and the reduction of the transit delay.

1. はじめに

ネットワークでは WAN の高速・広帯域化が著しい。CATV, ADSL, 光ファイバの活用により、利用者の接続インタフェースはイーサネットが標準になり、10Mbps から 10Gbps へと高速化している。このようなネットワークを束ねる幹線網の中継処理装置には、

非常に大きな処理能力が要求され、それによる高コスト化が問題となっている。また、インターネット電話、動画利用など、リアルタイム系のアプリケーションでは、中継処理装置での遅延特性が問題となる。

これらの解決のため、幹線網ではルータを極力排除したネットワーク構成がとられる。ATM などを幹線の基本通信方式^{1),2)} としルータをエッジルータに限定する方法や、一度経路が決まったトラフィックに対してはデータリンク層の拡張ラベルでネットワーク層処理をバイパスする MPLS^{3),4)} も多用されるが、より低コストで高速なイーサネットスイッチのみによるネットワークへの期待も大きい⁵⁾。利用者側も、広域 VLAN としてイーサネット直接利用を求める場合が多い。Ahmall らは、イーサネットでの広域伝送を目

[†] 山形大学

Yamagata University

現在、東芝インフォメーションシステムズ

Presently with Toshiba I. S. Corporation

現在、ソニー

Presently with Sony Corporation

現在、青森朝日放送

Presently with Asahi Broadcasting Aomori

指し、問題と考えた MAC アドレステーブルの増大をソースルーティングで解決する方法⁶⁾ を考えた。しかし、イーサネットのより大きな問題はブロードキャストである。伝送メディア上のブロードキャストを前提としたネットワーク方式であるため、ネットワーク規模の拡大にともない、ブロードキャスト量が急激に増大する。ブロードキャストの中には利用を停止できるものも多いが、IPv4 プロトコルで必要とする arp による MAC アドレス解決は停止が困難である。しかし、この arp についてもブロードキャストを抑制する方法として、ブリッジに proxy arp 機能を付加し、ブリッジが知っている IP アドレスについては代理応答する方式がある（文献 7）など。筆者らは、この方式をさらにおし進め^{8)~10)}、実質的にブロードキャストをしないイーサネットを検討した。

従来のイーサネット接続機器は、ブロードキャスト利用の前提のもとにプロトコル構成をしているが、そのブロードキャストに対する応答が得られれば、実際にブロードキャストとして伝送されなくともよい。むしろ、正当な機器にのみ応答をさせたいとすると、どの機器でも応答の可能なネットワーク構成には問題がある。従来のブロードキャストをサーバへの問合せのみに使う、ということに方針変更をすれば、多くの接続機器にとっては迷惑なブロードキャストを実質的に廃止した、ブロードキャストのないネットワークが構成できる。本論文では、その方式について、基本構成から大規模化の構成法までについて提案し、具体的な実装と評価について述べる。提案する方法は、インターネット全体を吸収できるくらい大規模なイーサネットにも対応できることを目指している。

2. ノンブロードキャストブリッジネットワークの考え方

2.1 ブロードキャストの削減

ブロードキャストの増大を防ぐには、図 1 のようにネットワークを分割して、途中でブロードキャストを止めればよい。分離点でストップすべきブロードキャストには、イーサネットブロードキャストとして定義されたイーサネットフレームだけでなく、マルチキャストフレームや、目的ホストがどこにいるか分からないため通常のイーサネットブリッジで実質的にブロードキャストされるフレームも含む必要がある。これらをまとめて広義のブロードキャストと呼ぶ。

ネットワークを N 個に分割すれば、広義のブロードキャストは $1/N$ に削減できる。ネットワークを分断してもまったく同じように接続できるようにするため

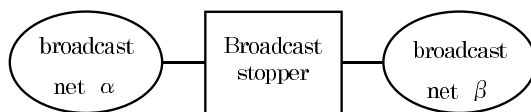


図 1 ブロードキャストネットワークの分離

Fig. 1 Division of a broadcast network into two.

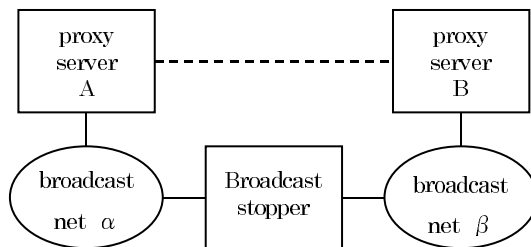


図 2 プロキシサーバによるブロードキャストネットワークの機能接続

Fig. 2 Functional connection of broadcast networks by using proxy servers.

には、それぞれの分断されたネットワークにおいて、他方のネットワークからの応答を代理実現する必要がある。

2.2 プロキシサーバ

上記の代理機能を果たすホスト（プロキシサーバ）をネットワーク図中に明示すると、図 2 となる。IPv4 ネットワークでは、arp ブロードキャストへの代理応答（proxy arp）が必要となる。通常の proxy arp はサブネット間中継ルータの機能として実現されるが、本研究ではルータ排除が目的である。したがって、この proxy arp サーバは arp 応答にだけ使用し、実際の通信データは、イーサネットフレームとして直接通信できるような構成とする。ここで、arp 応答ができるためには、ブロードキャストネットワーク α のプロキシサーバは、ブロードキャストネットワーク β 上のホストのイーサネットアドレスをあらかじめ知っている必要がある。図 2 中の点線は、このためのプロキシサーバ間の情報交換を表している。

2.3 複数ネットにまたがるプロキシサーバ

ブロードキャストネットワーク α と β が隣接しているのであれば、図 3 のように、隣接点で両方にまたがる形でプロキシサーバを設置すれば、プロキシサーバ間の通信は実際に行わなくてもよい。図 3 では、中継部分の装置で 4 本のイーサネットリンクが必要となり、ブロードキャストネットワーク 1 個あたり 2 本となる。これは、図 4 のように構成することでイーサネットリンク数をブロードキャストネットワークの数 + 1 に減らすことができる。

図 4 の NBB（ノンブロードキャストブリッジ）は通常のブリッジとは異なり、学習したイーサネットア

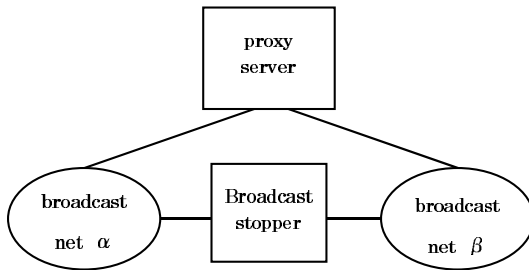


図 3 隣接ネットワークでのプロキシサーバの実現

Fig. 3 Single proxy server for neighboring broadcast networks.

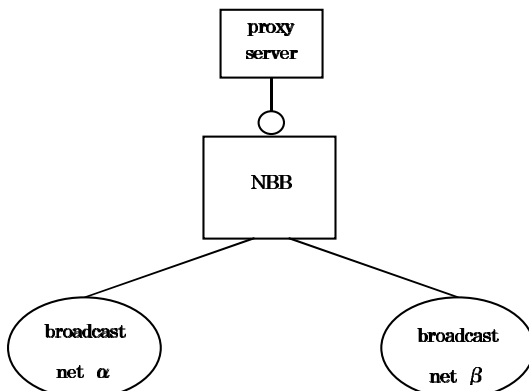


図 4 ノンブロードキャストブリッジ (NBB) による構成

Fig. 4 Connection with a NBB (non-broadcast bridge).

ドレスに対してはその登録ポートへフレームを送出するが、学習していない（登録されていない）広義のブロードキャストはすべて、プロキシサーバの接続されているポート（デフォルトポート、図の印付きポート）へ送り出すことで、図 3 と同じ機能が実現できる。プロキシサーバを NBB と一体で実現すれば、構成図上は単なる 2 つのネットワークの接続装置であり、マルチポートブリッジと同様、マルチポート化させ、多数のブロードキャストネットワーク間のスイッチとして構成することができる。

以上に述べた方法は、文献 7) と違い、ブロードキャストを特定の管理されたプロキシサーバで集中処理することと、プロキシサーバはブリッジごとに必要ではないため、必要に応じ NBB を挿入することで、効果的にブロードキャストのないネットワークを構成することが重要である。この方法は、元々ブロードキャストをしないネットワーク構成のために、特別なプロトコルが必要と考えられていたフレームリレーやワイヤレスネットワークなどの NBMA（ノンブロードキャスト・マルチアクセス）ネットワーク^{11),12)} へも自然に応用することができる。

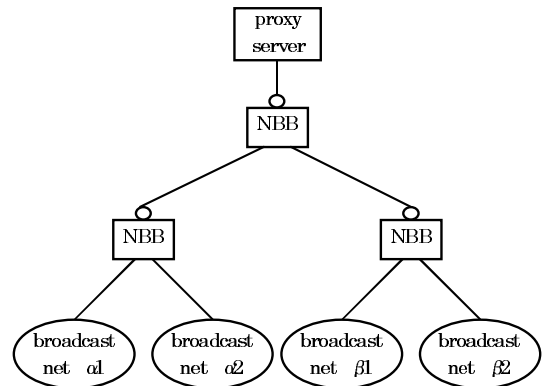


図 5 NBB の階層化

Fig. 5 Hierarchical structure of NBBs.

3. NBB ネットワークの大規模化

3.1 NBB の階層化

NBB は、ブロードキャスト分割を必要とする任意の場所に挿入することができるが、ホスト数の多いネットワークにおいてイーサネットによる単一 LAN 構成をとろうとすると、図 5 のように NBB の階層化が考えられる。この場合、NBB ツリーのリーフ点（broadcast net $\alpha 1, \alpha 2, \beta 1, \beta 2$ ）では外部からの到来ブロードキャストはゼロになる。ルート NBB では、すべてのブロードキャストが到来するので、到来ブロードキャストの数は NBB 構造にしない場合と同じであるが、出力先はデフォルトポートのみであるので、送出処理数はポート数を M とすると、 $1/M$ に減少する。また、中間の NBB では、上位 NBB の分岐数が K であれば、到来するブロードキャストは上位の $1/K$ 程度となることが期待される。したがって、プロキシサーバ以外のすべてのネットワーク構成要素で、従来のブロードキャストネットワークよりブロードキャスト処理量が削減される。

3.2 プロキシサーバの複数化

プロキシサーバの負荷軽減や、最近増加している長距離 VLAN 接続のような場合でのプロキシサーバの応答性を良くするためには、プロキシサーバの複数化が必要となる（図 6）。プロキシサーバを複数設置した場合、相互に代理応答すべき情報の交換（arp テーブルデータの交換など）が必要となるが、ネットワーク規模が大きくなるとテーブルサイズと通信量の増大が問題となる。これを回避するためには、各プロキシサーバで持つデータをそれぞれの担当する領域に限定することを基本とし、各 NBB ネットでは解決できないブロードキャストリクエストは、図 6 のように外部

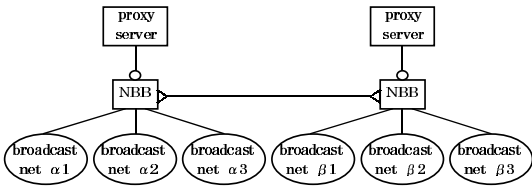


図 6 プロキシサーバの複数化
Fig. 6 Multiple proxy server structure.

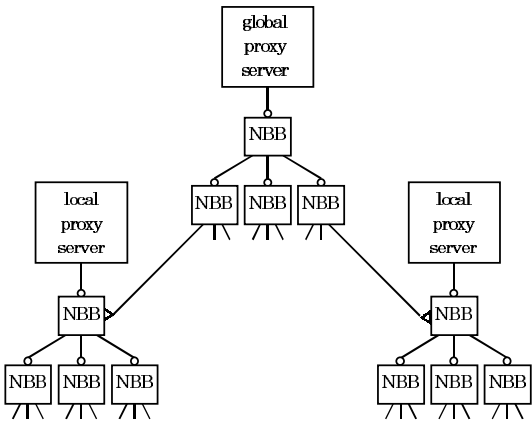


図 7 NBB ネットの階層化例
Fig. 7 Example of hierarchical structure of NBB networks.

のプロキシサーバに NBB の特別なポートを通して転送する。たとえば、IPv4 の arp 処理では、自分のテーブルにない IP アドレスに対する arp リクエストに対して、外部へ転送すればよい（詳細は 5.3 節に記載）。

3.3 プロキシサーバの階層化

図 6 の 2 つの NBB は対等であるが、より大規模なネットワークに対応するには、図 7 のようなプロキシサーバの階層化が行える。上位階層では、上位階層を経由すべきトラフィックの伝送と、下位階層のプロキシサーバで処理できなかった arp などのブロードキャストの処理を行う。上位階層のプロキシサーバが問合せに回答できるデータを保持していた場合は、下位プロキシサーバを経由して返事をする。データを保持していない場合は、その上位プロキシサーバを仮の宛先として arp 送出ホストに返事する。これにより、上位プロキシサーバから下位プロキシサーバへのブロードキャスト問合せを避けることができる。

その場合、上位プロキシサーバは、IP ルータ機能を持ち、あらかじめ設定されている IP アドレスブロック（サブネット）ごとに同じく IP ルータ機能を持つ下位プロキシサーバに転送することで最初の伝送を行う。2 回目以降の伝送では、ICMP redirect によるルータバイパス機能と、経路 NBB での MAC アドレス学習

機能により、プロキシサーバを経由しないで、本来のブリッジネットワーク伝送が可能になる。そして、階層上位の NBB およびプロキシサーバへの負荷と距離による応答性を考慮しながら、必要に応じ階層を増やしていくことで、任意の規模に拡大することができる。

4. NBB ネットワークの実現方法

4.1 NBB の機能

NBB ネットワークとして必要な要素は、NBB とプロキシサーバである。NBB は通常の学習型ブリッジに次の機能を追加すればよい。

- (1) プロキシサーバへつながるポートをデフォルトポートに設定する機能。
- (2) 学習テーブルにない MAC アドレスへのフレームをすべてデフォルトポートのみに転送する機能。
- (3) 外部の NBB ネットに接続する可能性のある NBB においては、デフォルトポートからのブロードキャストフレームのみ、外部 NBB 接続ポートへ転送する機能。

4.2 プロキシサーバの機能

利用するプロトコルについて、ブロードキャストに回答を必要とする機能ごとにプロキシサーバを用意する必要がある。通常の IPv4 ネットワークにおいては、次の機能を実現する。

- (1) proxy arp 機能
IP アドレスに対応するイーサネットアドレスを得るために、arp パケットがブロードキャストされるが、プロキシサーバではこれに適切な回答をする必要がある。通常の proxy arp では、自分のイーサネットアドレスを返事し、その結果として受け取った IP パケットをルータとして中継処理するが、NBB ネットワークでは、代理すべきホストのイーサネットアドレスを直接返事する。この場合、IP アドレスとイーサネットアドレスのペア情報（arp テーブルデータ）をあらかじめ取得しておく必要があるが、通常の IPv4 ホストであれば arp リクエストなどを送信するので、プロキシサーバはそのデータから獲得することができる。ただし、従来の proxy arp では、動的獲得した IP 経路に対するデータ登録ができないので、その機能を追加する必要がある。
- (2) ルータ機能
IP ネットワークにルータを接続する場合、そのルータの持つ経路データを、同じネット上の他

のルータに、手動もしくは自動で伝達する必要がある。NBB ネットのリーフ部分に IP ルータを接続可能にすることを考えると、NBB ネットではすべての通信相手問合せはプロキシサーバに到着するため、プロキシサーバに IP ルータ機能を持たせる必要がある。また、3.3 節に記載のプロキシサーバの階層化時にも必要となる。

(1) と (2) の同時実現を図ろうとすると、基本機能実現段階では、通常の proxy arp 付 IP ルータとして実現することが考えられる。ルータ機能を持ち込むことは当初の目的のルータ排除に反するが、同一ブロードキャストネットワーク上では ICMP redirect による直接通信を促す機能がある。これを活用すれば、最初の IP パケットはプロキシサーバのルータ機能によって中継されるが、2 回目からは、プロキシサーバを経由せずに直接通信されることになる。これにより、ルータを含む従来ネットワーク機器を自由に接続可能な、実用的なネットワークとすることができる。

5. NBB ネットワークの実装と評価

NBB 方式の原理確認と実用性検証のため、実装を行い、評価した。

5.1 実装プラットフォーム

PC/AT 互換機 (CPU: AMD K6-2 350 MHz, OS: FreeBSD 2.2.8R) を使用してプロキシサーバ、NBB およびネットワークノード機を実現した。ネットワークインタフェースカードは、100BASE-TX カードを必要に応じ複数枚使用した。

5.2 NBB の実装

NBB の基本となるブリッジ機能は、FreeBSD のカーネル付属のブリッジプログラム (bridge.c) を利用して、4.1 節に記載の機能を実現した。デフォルトポートは、プロキシサーバ直下の NBB をルートブリッジとし、各 NBB でのルートブリッジ方向ポートをデフォルトポートとなるよう手動設定した。

5.3 プロキシサーバの実装

プロキシサーバは、IPv4 を対象に、proxy arp を変更して 4.2 節に記載の機能を以下のように実現した。

- (1) 個別接続で取得した IP アドレスと MAC アドレスの対応データを proxy arp 応答用データベースに入れること。ネットワークに対する代理応答ではなく、個々のノードに対する代理応答のみ行う。
- (2) RIP などの動的プロトコルによる IP 経路情報を受け取り、通常のルータと同じ IP 経路制御をすること。これは、配下ノードとして従来の

IP ルータを接続可能にし、NBB ネットを IP ネットのバックボーンとして機能させるのに必要である。

- (3) 自分の知らない IP アドレスに対する arp を上位プロキシサーバに転送する機能。
- (4) 外部から来た arp に対して、自分の配下のデータになれば応答しない。

実装では、(1) の機能は、通常の通信用 arp テーブルのデータ更新時、proxy arp 用テーブルも書き換える方法で行った。UNIX 上のアプリケーションとして proxy arp を実行しているため、両者のデータを共通にすることができなかったが、専用サーバとして構成する場合は、proxy arp 機能をカーネルに組み込むことによって共通化を図ることができる。通常の proxy arp と違って、自分の MAC アドレスを問合せ先の MAC アドレスとして返すのではなく、arp テーブルにある該当 IP ノードの MAC アドレスを arp reply として返すことで、NBB ネット内ではノード間の直接通信が可能となるようにした。

(2) の機能は、通常の動的経路制御プロトコルを動作させるだけで実現できる。ただし、当該 NBB ネットアドレスと、接続ルータからの IP ネットワークは別々のネットワークとなるよう、ネットワークアドレスの設定をしておく必要がある。(3) の機能は、IP フォワーディングを動作させることと、プロキシサーバ直下に置く NBB の外部 NBB 接続機能により外部転送することで実現できる。

経路情報のブロードキャストが行えないと、NBB ネット内では外部へのルータを動的に知る方法はなくなる。そこで、プロキシサーバに外部へのルータ機能を持たせる。そして、NBB 配下の各ノードは、プロキシサーバをデフォルトルータに設定する。これにより、各ノードはルータを経由する必要のあるパケットをプロキシサーバに転送する。プロキシサーバは受け取ったパケットを IP ルータとして、適切なノードに転送する。転送先も NBB ネットワーク内にあるため、プロキシサーバは自分を介さずノード間で直接通信をするよう促す ICMP redirect を元の IP パケット送信ノードに返すことになる。また、プロキシサーバで IP フォワーディング機能を動作させることにより、同一 IP ネットワーク内へのパケットも転送させることができる。

いずれの場合も、通常の ICMP redirect により、パケット送信ノードは、送信相手もしくはパケットを直接送信すべきルータの IP アドレスを知ることになる。ルータの MAC アドレスを知らないとすれば、arp に

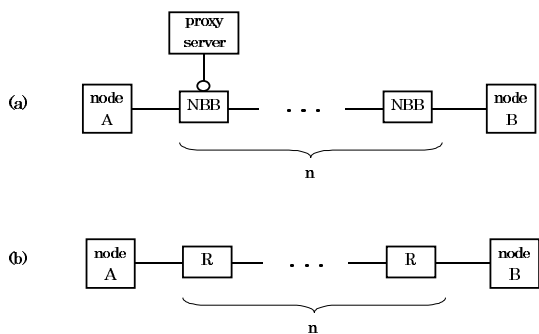


図 8 ルータと NBB の比較測定構成図

Fig.8 Configuration for measuring transit time and TCP throughput. (a) NBB, (b) router.

よりネットワークに問い合わせることになる。この arp は、プロキシサーバにのみ到達し、プロキシサーバはもちろん、その MAC アドレスを知っているので、proxy arp 機能により、問合せノードに通知する。これにより、その後は、直接通信が可能になる。

5.4 実装での性能

実装した NBB ブリッジについて図 8 (a) の構成で、通過時間性能 (図 9) と TCP スループット (図 10) を測定した。いずれも、同じハードウェアでルータとして機能させたとき (図 10 (b)) と比較して、測定用 PC2 台の間に、1 台から 4 台の NBB もしくはルータを入れて測定した。図 9 は、プロキシサーバをバイパスして通信できる状態での通過遅延の合計値を示し、1 台あたりで NBB 時 25 μ 秒、ルータ時 45 μ 秒と倍近い通過遅延の差があった。これは、NBB に置き換えることで、同じハードウェア条件で、遅延時間を半分近くにできることを示している。

これらの測定結果は NBB についてのものであるが、通常のブロードキャストをするブリッジに置き換えた場合は、ブロードキャストに対してパケットを接続ポート数複製し送出手を繰り返すため、一般的に遅延時間が増加する。

図 10 は、NBB もしくはルータの段数と実効帯域の関係を示し、netperf で測定した結果である。台数増加による性能低下が重大な問題であることが分かる。なお、段数 0 は、ホスト内部の通過性能を示している。

5.5 機能性

階層型 NBB ネットワークの基本動作確認を図 11 の構成で行った。NBB ネットワーク内通信の確認および、ノードにルータが存在するような基幹系ネットワークとして活用する場合の機能確認も行った。図 11 の構成では、2 台のプロキシサーバは、それぞれのブロードキャストを相手に送りあう構成となっている。

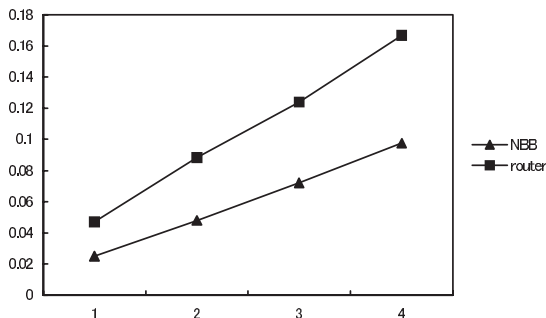


図 9 ルータ処理と NBB 処理でのパケットあたり処理時間の比較 (横軸は通過するルータもしくは NBB の台数、縦軸は ms)

Fig.9 Comparison of packet processing time between router and NBB (abscissa: number of router/NBB units, vertical axis: ms).

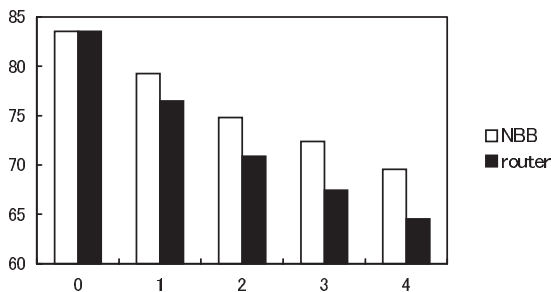


図 10 ルータと NBB を経由する TCP スループットの比較 (横軸は通過する段数、縦軸は Mbps)

Fig.10 Comparison of TCP throughputs between router and NBB (abscissa: number of route/NBB units through which traffic passes, vertical axis: Mbps).

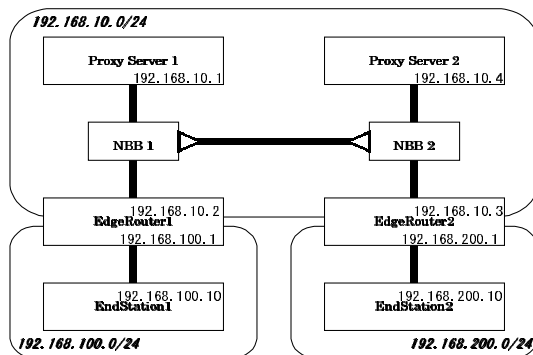


図 11 NBB ネットワーク外との通信

Fig.11 IP communication with connected networks through NBB networks.

図 11 で、NBB 外へのホストどうしの通信を NBB ネットワーク経由で行った場合の、ping による往復遅延時間測定した結果を図 12 に示す。プロキシサーバによる処理の方式から、最初のパケットでは、ルータ経由の外部からの通信のため、2 台のプロキシサーバ

```

PING 192.168.200.10 :56 data bytes
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=0 ttl=253 time=2.281
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=1 ttl=253 time=0.741
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=2 ttl=253 time=0.379
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=3 ttl=253 time=0.358
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=4 ttl=253 time=0.352
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=5 ttl=253 time=0.363
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=6 ttl=253 time=0.373
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=7 ttl=253 time=0.410
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=8 ttl=253 time=0.355
64 bytes from 192.168.200.10:icmp_seq=9 ttl=253 time=0.368
.
```

図 12 図 10 での ping 往復遅延時間例

Fig. 12 Example of round trip time measurements for the case of Fig. 10.

1 と 2 を経由していて遅延時間が大きい。2 回目は、ICMP redirect によりプロキシサーバ 1 をバイパスするため、通過時間が減少している。3 回目以降は、プロキシサーバ 2 もバイパスし、以降のパケットでは遅延時間は安定している。プロキシサーバの階層化でも、これと同様の動作を行うことになる。

大規模な NBB ネットワークを構成した場合、各 NBB に必要な MAC アドレステーブルの大きさが課題となる。プロキシサーバに近いほど、また階層の上位ほど登録すべきアドレス数が増加する。ただし、階層化の場合、上位にはすべてのアドレス登録が必要になるわけではなく、階層の下位で充足している通信については、上位での登録は不要である。非ローカルの通信をいかに少なくなるように階層構造を設計するかが重要になる。相互通信の多い領域ほど下位で結合するようにすればよいが、地理的距離とネットワーク上の距離に近い状態を作るのは容易であるから、ポータルサイトなどでは、グローバルな通信相手の分散代理サーバを展開し、上位へのトラフィックを集約するのが運用上の工夫であろう。

6. ま と め

高速広帯域インターネット時代にふさわしい基幹ネットワーク方式として、イーサネットの変形を考え、狭域通信向きのブロードキャストを実質的に廃止する方式を検討した。ブロードキャストを特定ポートへ集めるブリッジと、ブロードキャストを集中的に処理するプロキシサーバで実現できることを示した。実際に実装し、動作確認も行った。

通常ならルータを導入するところに、代わりに NBB を導入することによって、ルータネットワークより低コスト低遅延のネットワークが実現できる。NBB やプロキシサーバの階層化は高コスト高遅延につながる懸念もあるが、必ずしもスパニングツリー構造をとらなくてもよい。具体的にはデフォルト経路以外にユ

ニキャスト通信の短絡経路を設けることで上位 NBB へのトラフィック集中を緩和することを検討中¹³⁾で、ルータ網と同等のネットワーク構造を実現できると考えている。

ルータ排除を目指しながら、プロキシサーバの階層化や外部へのルータ接続では、プロキシサーバにルータ機能を持ち込んだ。しかしこれは、ネットワークの中継方式として必要なのではなく、IPv4 ホストに対して必要なプロキシサーバ機能としてルータ機能が必要であったため、IPv4 以外のプロトコルに対してルータ機能でない可能性がある。プロキシサーバ機能によって新たなネットワークプロトコルを実現することも可能と考えている。

その他の今後検討すべき課題としては、(1) 処理の集中するプロキシサーバの冗長化や冗長接続を可能にすることなどの信頼性確保をすること、(2) 大域バックボーン NBB での MAC アドレステーブルの増大対策、(3) NBB でマルチキャストを扱えるようにすること^{14),15)}、(4) NBB のデフォルトポートを自動設定する方法の開発などがある。課題はあるが、移動型機器の接続が容易になるなど、メリットも大きいと考えている。

この研究の一部は、通信・放送機構平成 10 年度新規事業創出型研究開発制度による受託研究として開始された。この研究には、元大学院生桜井啓嗣君、元卒業研究生井上寛之君、同大塚丈士君の協力も得た。

参 考 文 献

- 1) 浅野正一郎：学術情報ネットワーク，電子情報通信学会誌，Vol.81, No.4, pp.402-406 (1998).
- 2) 齊藤忠夫：JGN (Japan Gigabit Network) の概要，情報処理，Vol.43, No.11, pp.1151-1157 (2002).
- 3) Noll, T.: MPLS: The New Order in IP Networking?, *Network Magazine*, Vol.14, No.4, pp.48-52 (1999).
- 4) Rosen, E., Viswanathan, A. and Callon, R.: Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC3031 (2001).
- 5) Vaughan-Nichols, S.J.: Will 10-Gigabit Ethernet Have a Bright Future?, *Computer*, Vol.35, No.6, pp.22-24 (2002).
- 6) Ahmall, R. and Halsall, F.: Interconnected High-Speed LANs and Backbones, *IEEE Network*, Vol.7, No.5, pp.36-43 (1993).
- 7) 許 俐：ARP 応答機能付きスイッチングハブ，特開平 09-064900 (1997).
- 8) 平中幸雄：バックボーンネットワークのブリッジによる高速化と集中経路制御の考え方，情報処

理学会第 57 回全国大会, 2G-01 (1998).

- 9) 松本慎平, 桜井啓嗣, 平中幸雄: ブリッジによるバックボーンネットワークの高速化, 情報処理学会東北支部 1998 年度第 4 回研究会, 資料番号 98-4-19 (1999).
- 10) 平中幸雄: 集中経路制御ブリッジネットワークの実現と応用, 情報処理学会第 59 回全国大会講演論文集, 3F-6, 特 3-51/58 (1999).
- 11) Heinanen, J. and Govindan, R.: NBMA Address Resolution Protocol (NARP), RFC1735 (1994).
- 12) Luchiani, J., Katz, D., Piscitello, D., Cole, B. and Doraswamy, N.: NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP), RFC2332 (1998).
- 13) 伊藤悟史, 平中幸雄: ブリッジネットワークにおける最適経路制御の実現, 情報処理学会東北支部 1999 年度第 5 回研究会, 資料番号 99-5-21 (2000).
- 14) 田中伸久, 菅原浩高, 武田利浩, 平中幸雄: MAC 層マルチキャスト制御ネットワークの実現と評価, 2001 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, B-7-90 (2001).
- 15) 門田明彦, 菅原浩高, 田中伸久, 平中幸雄, 武田利浩: IGMP を利用する MAC 層マルチキャスト制御, 2001 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, B-7-91 (2001).

(平成 16 年 1 月 23 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



平中 幸雄 (正会員)

1976 年東京大学工学部計数工学科卒業。東京大学助手を経て、現在、山形大学工学部情報科学科教授。工学博士。センシングシステムの研究、コンピュータネットワークの研究に従事。IEEE, 計測自動制御学会, 音響学会各会員。

従事。IEEE, 計測自動制御学会, 音響学会各会員。



田中 伸久

2001 年山形大学工学部電子情報工学科卒業。同大学院博士前期課程を修了し、2003 年から東芝インフォメーションシステムズ勤務。製造業の PLM (プロダクトライフサイクルマネジメント) 業務に従事。OS の設計/実装, システム開発の半自動化手法に関心を持つ。



武田 利浩 (正会員)

1989 年山形大学工学部情報工学科卒業。同大学院工学研究科情報工学専攻を修了し、同大学助手。コンピュータネットワーク, 並列アルゴリズム, 分散システムの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



菅原 浩高

2001 年山形大学工学部電子情報工学科卒業。同大学院博士前期課程を修了し、2003 年からソニーイーエムシーエス (株) に勤務。同年、ソニー (株) セミコンダクタソリューションズネットワークカンパニーに転勤。無線通信ネットワークに関する研究, 半導体の開発に従事。



松本 慎平

1996 年山形大学工学部電子情報工学科卒業。同大学院博士前期課程を修了し、2000 年から青森朝日放送勤務。放送機器全般の開発, 導入, 保守業務に従事。現在, CM/番組送出用ビデオサーバの導入を担当。