

# マルチホームネットワークにおける透過的な動的トラフィック分散

岡山 聖彦<sup>†</sup> 山井 成良<sup>††</sup> 島本 裕志<sup>†††</sup>  
宮下 卓也<sup>††</sup> 岡本 卓爾<sup>†</sup>

ネットワークサービスの応答時間の悪化に対処する 1 つの方法として、複数のバックボーンを通信先に応じて使い分けるマルチホームネットワークが注目されている。しかし、従来のマルチホームネットワークの構成法では、導入や管理にかなりの技術とコストが要求される、特定のバックボーンにトラフィックが集中する可能性があるなどの問題点がある。本論文では、これらの問題点を解決するため、ルータが自らがバックボーンネットワークの状態を監視し、現在の状態に基づいて利用するバックボーンを選択する方法を提案する。本手法ではアプリケーションゲートウェイとは異なり透過的にトラフィック分散を行えるため、クライアントプログラムに特別の機能や設定を必要としない。

## A Transparent Dynamic Traffic Balancing on Multihomed Networks

KIYOHICO OKAYAMA,<sup>†</sup> NARIYOSHI YAMAI,<sup>††</sup> HIROSHI SHIMAMOTO,<sup>†††</sup>  
TAKUYA MIYASHITA<sup>††</sup> and TAKUJI OKAMOTO<sup>†</sup>

Multihomed network, that is a kind of network connected to the Internet via more than one backbones, is one of the most interesting networks to improve response time of network services. However, multihomed network is hard to introduce or manage because the existing construction methods have several problems such that it requires much technical skill and administrative cost for the administrator, traffic congestion may occur on a backbone while others have little traffic, and so on. In this paper, we propose a dynamic traffic balancing technique to solve these problems. Using our technique, the router connecting the inside network and backbones monitors the condition of each backbone and selects the appropriate backbone according to the current condition. Moreover, our technique balances traffic transparently and does not require additional functions or configuration to client programs.

### 1. はじめに

近年、インターネット利用の急激な増加により、WWW、FTPなどの広域ネットワークサービスにおける応答時間の悪化が深刻な問題となってきている。これに対処する 1 つの方法として、自組織のネットワークを複数のバックボーンネットワーク（以下、単にバックボーンと呼ぶ）と接続し、通信先に応じて利用するバックボーンを使い分けることにより応答時間の改善を図るマルチホームネットワークが最近注目されるようになってきた。

しかし、マルチホームネットワークでトラフィックを

分散する場合、従来の経路制御方法ではバックボーンから入手した経路情報と通信先アドレスのみで利用するバックボーンが一意に定まるため、通信先に偏りが生じると効率的なトラフィック分散が行われず、特定のバックボーンにトラフィックが集中する危険性がある。さらに、一般にマルチホームネットワークでは接続先バックボーンから経路情報を入手できるようにバックボーン管理者と協調して設定作業を行う必要があり、導入や管理にかなりの技術レベルと管理コストが要求される点も問題である。

そこで、本論文では、複数のバックボーンと自組織のネットワークとの接続を受け持つルータにおいて、各バックボーンの状態を自らが判断して、コネクション単位で適切なバックボーンを選択する方法を提案する。これにより、通信先に偏りが生じた場合でもコネクションごとに個別のバックボーンを用いて効率的にトラフィックを分散することが可能になる。さらに、本方法では必ずしもバックボーンとの間で経路情報を交

<sup>†</sup> 岡山大学工学部  
Faculty of Engineering, Okayama University

<sup>††</sup> 岡山大学総合情報処理センター  
Computer Center, Okayama University

<sup>†††</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Natural Science and Technology,  
Okayama University

換する必要がないため、導入や管理が容易である。

同様の方法として、WWW など一部のアプリケーションではプロキシなどのアプリケーションゲートウェイ (Application Level Gateway, 以下 ALG と略す) によりトラフィック分散を行う方法が提案されている<sup>1)</sup>。しかし、この方法では、ユーザが ALG に対応したクライアントを用い、かつ ALG を経由してサーバにアクセスするようにクライアントを設定する必要があるため、ALG の存在をユーザが意識する必要がある点が問題となる。提案方法では、ルータの機能を変更するだけで、クライアントの変更を必要とせず、透過的に動的トラフィック分散を行うことができる点で ALG を用いる方法より優れている。

以下、2 章では、従来のマルチホーム化技法の問題点を説明する。次に、3 章では本論文で提案する動的トラフィック分散方法の設計について述べ、4 章では提案方法の実装とその有効性を確認するために実施した性能評価実験と結果について述べる。最後に、5 章では結論と今後の課題について述べる。

## 2. 従来のマルチホーム化技法の問題点

マルチホームネットワークは、1 つのネットワークを複数のバックボーンによりインターネットに接続する形態であり、トラフィック分散による応答性の改善や耐故障性の向上などを図る方法として注目されている。これまでに知られているマルチホームネットワークの構成方法としては、AS 番号を取得する方法 (方法 1)、NAT (ネットワークアドレス変換<sup>2),3)</sup>を用いる方法 (方法 2)、ALG を用いる方法 (方法 3) があげられる。

以下では、それぞれの方法について説明し、その問題点をあげる。

### 2.1 AS 番号取得によるマルチホーム化

現在、インターネットではネットワーク全体を AS (Autonomous System)<sup>4)</sup> と呼ばれる部分ネットワークの集合として扱い、AS 間で BGP<sup>5)</sup> を用いて経路情報の交換を行う方法が一般的である。方法 1 は自組織のネットワークに対する AS 番号を取得し、各バックボーンとの間で経路情報を交換して経路制御を行う方法である。これにより、ネットワークポロジ、障害の有無、経路制御のポリシーなどに応じて適切なバックボーンを選択することが可能になる。

ところが、この方法では、BGP4 の運用に関して次のような問題がある。

- (1) BGP4 の運用を行うには、経路制御技術についての詳しい知識が必要である。
- (2) 経路情報を交換するため、それぞれのバックボ

ーン管理者と協調して設定作業を行う必要がある。

- (3) 上位のネットワークで交換される経路情報の数を抑えるため、AS 番号を取得したとしても、それが上位のネットワークにおいてアナウンスされない可能性がある。

さらに、上述した問題が解決されたとしても、効率的なトラフィック分散が実現できないという問題がある。通常、ルータは、バックボーンなどから入手した経路情報に IP パケットの通信先を照らし合わせることで経路制御を行う。この経路情報には現在のトラフィック量などバックボーンの利用状況が反映されないため、通信先アドレスが同じパケットに対して必ず同じバックボーンが選択される。したがって、通信先に偏りがあると、特定のバックボーンにトラフィックが集中する可能性がある。

この問題については、いわゆる首振りルータ<sup>6)</sup>を用いることによりある程度解決することができる。しかし、インターネットでは一般に復路と往路とで経路制御は独立して行われるため、たとえ首振りルータを用いて往路でトラフィックを分散したとしても、復路では 1 つのバックボーンにトラフィックが集中する可能性がある。

### 2.2 NAT によるマルチホーム化

方法 2 は、各バックボーンから個別のアドレスの割当てを受け、外部との通信の際に NAT を用いて内部アドレスをバックボーンから割り当てられたアドレスに変換することによりマルチホームネットワークを実現する方法である<sup>7)</sup>。この方法では、バックボーンから割り当てられたアドレスをそのまま使うため、自組織ネットワークの経路情報のアナウンスが不要であり、さらに往路と復路で同一のバックボーンを利用するため復路でもトラフィック分散を行えるという特徴を持つ。

しかし、この方法でもバックボーン選択のためには private BGP を用いてバックボーンから経路情報を取得する必要があり、そのためかなりの技術レベルと管理コストが必要となる。また、方法 1 と同様に、通信先に偏りがあった場合に特定バックボーンにトラフィックが集中する可能性も残されている。

### 2.3 ALG によるマルチホーム化

方法 3 は、WWW などの一部のアプリケーションにおいて各バックボーンに属するアドレスを持つ ALG をそれぞれ導入し、これらの ALG を経由して外部にアクセスすることでマルチホームネットワークを実現する方法である。この場合、ALG に経路制御機能を持たせることによりトラフィック分散を行うことができる<sup>1)</sup>。

この方法では、方法 2 と同様に自組織ネットワークの経路情報のアナウンスが不要であり、往路と復路で同一のバックボーンを利用するため復路でもトラフィック分散を行えるという特徴を持つ。しかし、この方法を利用できるアプリケーションは ALG に対応した一部のものに限られ、また ALG に対応したアプリケーションであってもユーザが ALG の存在を意識する必要がある点が問題となる。

### 3. 透過的な動的トラフィック分散方法

2 章で述べたように、従来のマルチホーム化技法によるトラフィック分散は、いずれの方法も導入と管理に要する技術レベルや管理コストが高い、ユーザが透過的に通信を行えない、トラフィック分散を効率的に行うことができないという問題がある。これらの問題点は、いずれもバックボーンから入手した経路情報に基づいてバックボーンを選択する従来の経路制御方法に根本的な原因がある。

そこで、本章では NAT によるマルチホーム化技法をもとに、独自の経路制御方法に基づいてこれらの問題を解決する新しい動的トラフィック分散方法を提案する。ルータを用いることによって透過性の問題は解決されるので、以下、導入や管理の容易さと効率的なトラフィック分散を実現するための方法を述べる。

#### 3.1 提案方法の概要

本論文では比較的小規模かつインターネットの末端に位置する組織ネットワークを対象とし、図 1 に示すように、自組織のネットワーク (LAN) を 1 つのルータ R により 2 つのバックボーン (B1 および B2) に接続した構成をとるものとする。また、自組織のネットワークには B1 から与えられたアドレスが割り当てられており、B2 とは NAT を経由してアクセスするように設定されているものとする。

このような構成のネットワークにおいて、提案方法

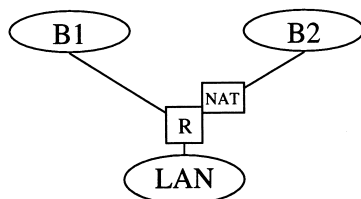


図 1 マルチホームネットワークの構成  
Fig. 1 The structure of the multihomed network.

では内部から外部への TCP コネクションを対象とし、コネクション確立時にルータが適切なバックボーンを選択する。なお、外部から内部への TCP コネクションにおけるトラフィック分散については、DNS ラウンドロビンなど従来の方で対処することができると思われるため、本論文ではこれ以上議論しない。以下では、往路と復路それぞれにおけるトラフィック分散について述べる。

#### 3.1.1 往路のトラフィック分散

往路において、ルータはそれぞれのバックボーンの状態を監視し、新たなコネクション確立を要求するパケットが来ると、その時点での各バックボーンの状態から適切なバックボーンを選択する。一度コネクションが確立されると、そのコネクションに属する以降のパケットは同一のバックボーンを利用する。

適切なバックボーンは、ルータの負荷やリンクの利用率など、その利用状態に応じて動的に変化するため、その選択にはコネクション確立時でのバックボーンの状態が反映されるような選択基準を用いる必要がある。また、このような選択基準を用いることにより、通信先が偏っている場合でもコネクション単位での適切なトラフィック分散が可能となる。

バックボーンを選択基準の詳細については、3.2 節で述べる。

#### 3.1.2 復路のトラフィック分散

復路のトラフィック分散は、NAT を用いることにより行う。この手順を、図 2 において 2 台の計算機 (H1 および H2) が通信を行う場合を例にとり説明する。

まず、ルータ R が往路で B1 を選択した場合を考える。この場合、H1 から送出されたパケットは R でアドレス変換することなく H2 にそのまま届き、復路では H2 は H1 宛にパケットを送り返す。ここで、H1

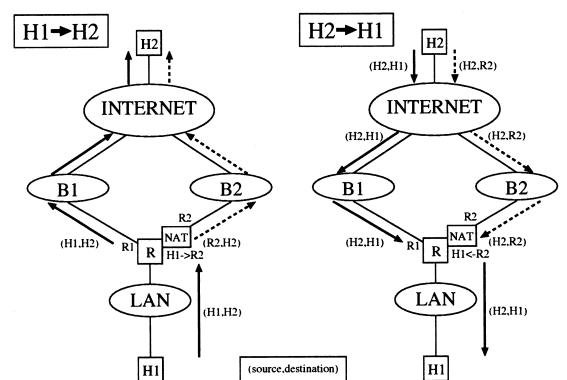


図 2 往路および復路でのパケットの流れ  
Fig. 2 The route of the outgoing and incoming packets.

3 つ以上のバックボーンに接続することも可能であるが、説明の都合上省略する。

は B1 から割り当てられたアドレスを用いているため、このパケットは往路と同じ B1 を経由して H1 に届く。

一方、R が往路で B2 を選択した場合には、R は NAT を用いて通信元アドレスを H1 から R2 ( B2 から割り当てられたアドレス ) に変換するため、復路では H2 は R2 宛にパケットを送り返す。ここで、R2 は B2 から割り当てられたアドレスであるため、このパケットは往路と同じ B2 を経由して R に届き、発信先アドレスが R2 から H1 に変換されて最終的に H1 に届く。

以上のように、NAT を用いることにより往路と復路は同一のバックボーンを経由することになるため、往路でトラフィック分散を行うと復路でも自動的にトラフィック分散が行われることになる。

### 3.2 バックボーンを選択

提案方法では、コネクション要求ごとにネットワークの状態を把握してバックボーンを選択するため、バックボーンを選択基準は以下の条件を満たす必要がある。

- (条件 1) コネクション確立時点における通信先までのネットワーク状態を反映するものであること。
- (条件 2) バックボーンの状態の評価を短時間かつ低コストで行えるものであること。
- (条件 3) 通信先にかかわらず適用できるものであること。
- (条件 4) コネクション確立時に障害が発生しているバックボーンを選択しないものであること。

ネットワークの状態を測定するための既存の方法としては、ICMP パケットを用いる NEPRI<sup>9)</sup>、Bprobe<sup>10)</sup> や UDP パケットを用いる pathchar<sup>11)</sup>、TReno<sup>12)</sup> などが知られている。これらの方法はいずれも、測定のためのパケットをネットワークに送出し、その応答時間などを測定することによってネットワークの性能を実測するので、測定時における通信先までの経路の性能を的確に把握できるという特徴を持つ。

しかし、このような方法は、測定の精度を上げるために多数のパケットを連続してネットワークに送出するので、コネクション要求ごとに測定を行おうとすると、測定によってコネクションが確立するまでの時間が大きくなるとともに、ネットワークに多大の負荷がかかることになり、条件 2 に反する。さらに、ICMP や UDP を用いた測定ではフィルタリングによって応答が返されない場合があるため、条件 3 を満たすことができない。

一方、ルータにおいて特定のサーバ群に対して負荷分散を行う方法として、LocalDirector<sup>13)</sup> では各サーバへの新たなコネクションをラウンドロビン方式によ

り割り当てる方法やコネクション数が均等になるように割り当てる方法が用いられている。しかし、これらの方法は各サーバの性能やルータと各サーバとの間のネットワーク特性が同一であることを前提としているため、このような前提が成り立たない一般的なマルチホームネットワーク環境では効果的なバックボーン選択が期待できない。また、これらの方法は上記の条件 1~3 を満たすが、条件 4 は満たさない。

これらの問題を解決するため、本論文では、バックボーンを選択基準としてコネクションの確立時間を提案する。これはコネクション確立時にすべてのバックボーンを用いて通信先とのコネクションの確立を試み、このうち最も早く確立できたバックボーンを選択する方法である。以下では、実際にルータで行われるバックボーン選択処理について述べる。

TCP コネクションの確立には、3 ウェイハンドシェイクが用いられる。3 ウェイハンドシェイクでは、H1 から H2 に対してコネクションを確立しようとする場合、実際に確立するまでに以下の 3 つのパケットの送受を必要とする。

- (1) H1 は H2 に対して SYN フラグ付きのパケット ( SYN パケット ) を送る。
- (2) H2 はこのパケットを受け取ると H1 に対して SYN フラグと ACK フラグの両方が立ったパケット ( SYN+ACK パケット ) を送る。
- (3) H1 はこのパケットを受け取ると H2 に対して ACK フラグ付きのパケット ( ACK パケット ) を送る。

このとき最後の ACK パケットの代わりに H1 が RST フラグ付きのパケット ( RST パケット ) を H2 に送ると、このコネクションは確立されずただちに破棄される。この性質を利用してルータは最も早く SYN+ACK パケットを送り返したコネクションだけを選択する。すなわち、ルータは以下のように動作する。

- (1) ルータは内部から外部への SYN パケットを受け取ると、このパケットを複製してすべてのバックボーンに送出する。このとき、アドレス変換が必要なバックボーンについては、送信元のアドレスをバックボーンのアドレスに変換する。
- (2) ルータはあるバックボーン B から上記の SYN パケットに対する最初の SYN+ACK パケットを受け取ると、そのパケットを ( 必要であればアドレス変換を行ったうえで ) 本来の送信先に中継する。また、今後このコネクションに対してバックボーン B を利用するように記録する。

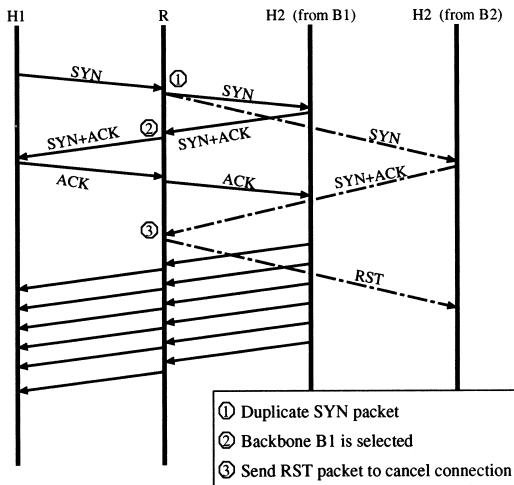


図3 バックボーン選択時のパケットの送信手順

Fig. 3 The procedure of the packet transmission at the backbone selection.

- (3) ルータは他のバックボーンから2番目以降のSYN+ACKパケットを受け取ると、そのパケットを中継せずに破棄し、代わりにそのバックボーンを用いてRSTパケットを送出する。

例として、図2と同様のネットワーク構成において、B1が選択される場合のパケットの送信手順を図3に示す。

コネクション確立時間は通信先とのRTT (Round Trip Time) の測定と同義であり、通信先との距離 (ホップ数)、H2およびその経路上にあるルータの性能や負荷、経路上の各リンクの容量や利用率などの要素により影響を受けて変化する。一般に、これらの要素はRTTとスループットとの間に負の相関関係をもたらす要因となる。たとえば、ホップ数に関しては、他の条件が同じである場合、ホップ数が増加すると、ルータでの処理時間のためRTTが増加する一方で、経路上のリンクのいずれかがボトルネックとなって利用可能容量が小さくなりスループットが低下する可能性が高くなると考えられる。また、リンクの利用率に関しては、経路上のあるリンクの利用率が高くなると、当該リンクへの送出待ち時間増加のためにRTTが増加する一方で、利用率の増加は当該リンクを利用する通信量の増加を意味するため、コネクションあたりのスループットは減少すると考えられる。ただし、あるコネクションに限った場合、他組織間の通信などの一時的な外乱を受けてRTTの分散が大きくなることにより、必ずしも適切なバックボーンが選択されない可能性もある。しかし、提案方法ではコネクションを確立するごとにRTTの測定を行うので、長期的にみれば

このような外乱はある程度吸収され、全体としてトラフィック分散が適切に行われるものと考えられる。

コネクション確立時間を利用した方法は、ルータがSYNパケットを複製し、これらの応答によってのみバックボーンを選択するので、条件1と2を満たしており、ICMPやUDPのようにフィルタリングされることがなく、あるバックボーンが故障しても応答があった他のバックボーンを選択するため、条件3と4も満たすことができる。

また、コネクション確立時間をバックボーン選択基準として用いた場合、選択可能なすべてのバックボーンに対して、SYN、SYN+ACK、および、RSTの3つのパケットが流れることになる。したがって、提案手法を実装したルータが経路上に複数存在すると、各ルータでの複製によって通信量とH2の負荷が増加する可能性がある。しかし、本論文では、インターネットの末端に接続している組織が構築するマルチホームネットワークを対象としているので、組織の出口となるルータに対してのみ提案手法を適用すれば、選択されなかったすべてのバックボーンに対して上述した3つのパケットが増加するだけである。さらに、通信先の計算機でのSYNパケットの処理はカーネル内部のみで行われ、ユーザプロセスの起動やデータ授受は行われないので、H2に対する負荷も比較的小さいと考えられる。

なお、提案方法ではバックボーン選択にNATルータを用いており、これにSYNパケットの複製機能と選択されなかったバックボーンに対するコネクション破棄機能を追加している。このため、NATルータには追加された機能を処理するための負荷がコネクション要求に応じて加わるが、本論文では通信量の比較的小さい小規模な組織ネットワークを対象としているので、NATルータにかかる負荷も比較的小さく、十分実用に耐えられると思われる。

### 3.3 ルータの動作

通常、NATを経由して内部ネットワークから外部ネットワークへアクセスする場合、NATの内部ではどのようにアドレス変換を行えばよいかをコネクション単位で管理している。提案方法においてもNATの利用を前提としているためコネクション管理が必要であるが、NATを経由しないコネクションについてもどのバックボーンを選択したかを記録するため同様のコネクション管理を行っている。

ルータには現在確立されているコネクションを管理するための表 (以下、コネクション表と呼ぶ) を設け、通信元の内部アドレスおよびポート番号、アドレス変

換後のアドレスおよびポート番号，通信相手のアドレスおよびポート番号，選択したバックボーンへのインタフェースなどを記録する．ルータはこの接続表を利用して以下のように動作する．

- (1) 内部から外部への SYN パケットを受け取ると，前節で述べた方法によりバックボーンを選択を行い，この接続に関する新しいエントリを選択されたバックボーンとともに接続表に追加する．
- (2) RST パケットや FIN パケットを受け取るなどして接続が解放されるときには，当該接続に関するエントリを接続表から削除する．
- (3) それ以外のパケットを受け取ったときには，このパケットがどの接続に属するかを接続表より求め，アドレス変換を行ったうえで，内部から外部へのパケットの場合には接続表に登録されているバックボーンへ，外部から内部の場合には内部のネットワークへ中継する．

なお，上記の動作では，従来の経路情報に基づく経路制御がまったく行われていないことに注意する．

#### 4. 実装と性能評価

3章で述べたように，提案方法では複数のバックボーンに接続されたルータのみを用いて動的トラフィック分散を実現しているため，従来の方法に比して導入と管理が容易であり，かつ，透過的なトラフィック分散が行えることは明らかである．そこで，トラフィック分散の効率について提案方法の有効性を検証するため，動的トラフィック分散機能を持つルータを試作して性能評価を行った．本章では，試作ルータの実装方法と性能評価について述べる．なお，今回の実装では接続確立時間をバックボーン選択基準としているので，UDP パケットは対象外とした．

##### 4.1 実装方法

試作ルータは，OS として FreeBSD 2.2.7R を搭載した AT 互換機 (Gateway 2000 社 GP6-450) に 3 枚のネットワークインタフェースを装着したものを利用した．本来，FreeBSD では経路制御がカーネルで行われるが，試作ルータでは実装を容易にするため，カーネルをいっさい変更せずユーザプロセスですべての経路制御処理を行った．このため，各バックボーンから到着するパケットはすべて divert 機能を用いてカーネルが中継する前にユーザプロセスに渡されるようにした．逆に，バックボーンへのパケットの送出手は，ソケット

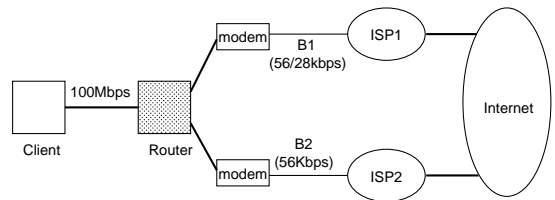


図 4 実験環境の構成

Fig. 4 The structure of the experimental environment.

インタフェースを用いた通常の方法で送出するとカーネルで従来の経路制御が行われるため，bpf (Berkeley Packet Filter) を用いてフレームを直接ネットワークインタフェースに書き出している．

#### 4.2 性能評価

##### 4.2.1 実験環境

性能評価は，図 4 に示すようにクライアントとインターネットの間に試作ルータを配置し，クライアントからインターネット上のサーバと実際に通信を行うことによって実施した．試作ルータとインターネットの間は 2 種類の ISP を経由してダイヤルアップ接続し，各モデムから ISP までのダイヤルアップ回線を対外接続用のバックボーンと見なした (以下，ISP1 に接続されたバックボーンを B1，ISP2 に接続されたバックボーンを B2 と呼ぶ)．B1 は 56 Kbps あるいは 28 Kbps の 2 種類の速度を切り替えて用い，B2 は 56 Kbps で固定した．この実験環境において，クライアントからインターネット上の HTTP サーバに対して同時に複数のデータ転送要求を発生させ，B1 を 56 Kbps に設定して B1 と B2 でトラフィック分散を行う場合 (以下，対称と呼ぶ)，B1 を 28 Kbps に設定して B1 と B2 でトラフィック分散を行う場合 (以下，非対称と呼ぶ) の 2 種類の場合について平均伝送速度を求めた．また，提案方法のバックボーン選択基準は接続確立時間であるが，比較のためバックボーン選択基準を接続数およびラウンドロビンとした場合についても同様の計測を行った．選択基準が接続数の場合については，バックボーンのリ線速度が不明である場合を想定し，対称および非対称のいずれにおいても B1 および B2 の接続数が均等になるようにバックボーン選択を行った．

なお，HTTP のデータ転送要求の発生には webjamma<sup>8)</sup> を一部改造したものを利用し，webjamma 実行時の URL リストには岡山大学総合情報処理センターに設置された HTTP 代理サーバのアクセスログから連続した 3600 個の URL を取り出して用いた．本来，このプログラムでは，親プロセスが一定数の子

ロセスを生成し、各子プロセスにデータ転送要求を渡して HTTP プロトコルによりアクセスさせ、アクセスが完了するとただちに親プロセスがその子プロセスに次のデータ転送要求を渡すような動作を行うため、つねに子プロセスの数だけ並行してアクセスが発生する。しかし、このようなアクセスパターンは現実とは大きく異なるため、本実験では親プロセスでデータ転送要求の発生間隔が指数分布に従うように webjamma を改造した。転送要求の平均発生間隔については、小さすぎるとバックボーンがつねに飽和状態になり、大きすぎると次のコネクション要求が発生するまでに既存のコネクションが終了してしまい、いずれの場合も有意な計測結果を得ることができない。このため、予備実験を数回繰り返して、計測時の平均発生間隔として 0.6 秒、1.2 秒、および、1.8 秒の 3 種類の値を用いた。

実際の計測は、バックボーンのリ線速度（対称および非対称）、バックボーン選択基準（コネクション確立時間、コネクション数およびラウンドロビン）、コネクション要求の平均発生間隔（0.6、1.2 および 1.8）のすべての組合せ（18 通り）について、ISP の利用状態が安定する夜間（午前 2 時から早朝にかけて）にそれぞれ 2 回ずつ行った。この際、いくつかの URL については、URL 自体が存在しなかったり、計測時に通信先の HTTP サーバがダウンするなどの理由により、データ転送の行えなかった URL（以下、無効な URL と呼ぶ）がいくつか存在した。しかし、無効な URL の数は、1 回の計測における全 URL 数（3600 個）の 2% 以下とごくわずかであったため、実験結果にはほとんど影響しないと考えられる。

#### 4.2.2 実験結果と考察

実験結果として、対称および非対称の場合における平均伝送速度を表 1、対称および非対称の場合において、選択基準としてコネクション確立時間、コネクション数、ラウンドロビンのそれぞれを用いたときのバックボーンを平均選択率を表 2 に示す。表 1 と表 2 については、無効な URL に対する結果を除いたうえで算出を行った。また、非対称の場合に平均発生間隔を 1.2 として計測した際の各バックボーンにおけるコネクション数の時刻変化を図 5 に示す。図 5 については (a)~(c) のそれぞれがコネクション確立時間、コネクション数、ラウンドロビンに対応し、実線（上半分）が B1、破線（下半分）が B2 の時刻変化を表す。

まず、回線速度が対称の場合の実験結果について述べる。表 2 から分かるように、いずれの選択基準においても B1 と B2 がほぼ均衡して使われているが、表 1 の平均伝送速度はコネクション確立時間が最も大きく、

表 1 平均伝送速度  
Table 1 Average transmission rate.

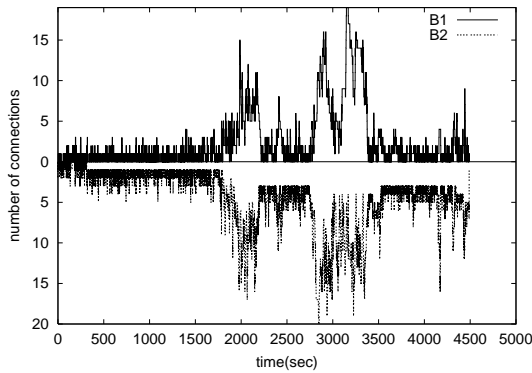
平均発生間隔	選択基準	平均伝送速度 (Kbps)	
		対称	非対称
0.6	コネクション確立時間	6.4	5.0
	コネクション数	5.2	4.1
	ラウンドロビン	4.7	3.2
1.2	コネクション確立時間	13.8	9.3
	コネクション数	11.2	6.8
	ラウンドロビン	10.6	4.5
1.8	コネクション確立時間	24.7	16.0
	コネクション数	24.1	9.7
	ラウンドロビン	21.0	7.6

表 2 バックボーンを平均選択率  
Table 2 Average rate of backbone selection.

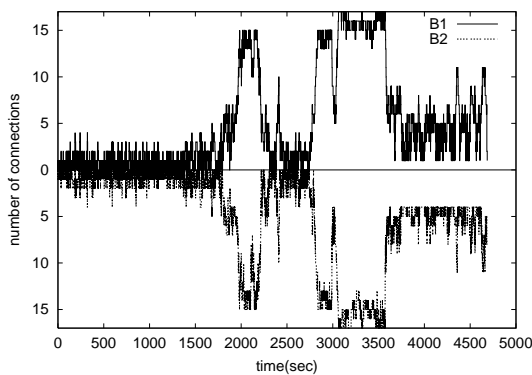
		B1	B2
対称	コネクション確立時間	45.8%	54.2%
	コネクション数	46.3%	53.7%
	ラウンドロビン	50.0%	50.0%
非対称	コネクション確立時間	35.7%	64.3%
	コネクション数	41.7%	58.3%
	ラウンドロビン	50.0%	50.0%

コネクション数、ラウンドロビンの順に悪化している。B1 と B2 は同じ回線速度であるが、他の通信者間のトラフィックなどにより、計測中にも各バックボーンを経由する経路のネットワーク状態はつねに変化している。このような状況において、選択基準がラウンドロビンの場合は B1 と B2 を交互に選択することから、ネットワーク状態の変化がまったく反映されず、データ転送が遅いバックボーンに未完了のコネクションが集中するために平均伝送速度が最も小さくなったと考えられる。選択基準がコネクション数の場合はコネクション要求時点でコネクション数が少ないバックボーンを選択することから、ラウンドロビンに比べればデータ転送が早く完了するバックボーンをある程度有効に利用できるが、各バックボーンのコネクション数が均等に保たれるという制約がある。これに対し、選択基準がコネクション確立時間の場合はコネクションの数に関係なく応答の速いバックボーンをつねに選択することから、データ転送が早く完了するバックボーンを他の 2 つの選択基準よりも積極的に利用した結果、平均伝送速度が最も大きくなったと考えられる。

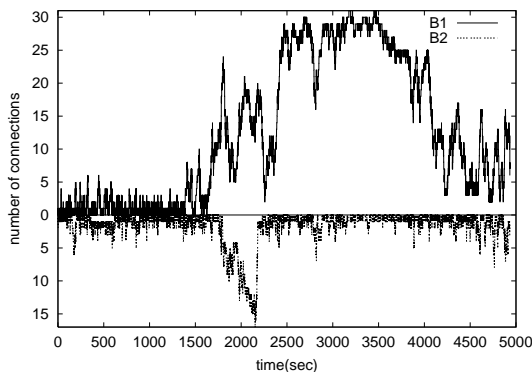
次に、回線速度が非対称の場合の実験結果について述べる。表 1 の平均伝送速度については対称の場合と同様であるが、非対称の場合は B1 と B2 の回線速度が異なるので、表 2 から明らかなように、選択基準がコネクション確立時間の場合が回線速度の大きな B2 を選択する割合が最も高い。さらに、図 5 を見ると、



(a) 選択基準がコネクション確立時間の場合



(b) 選択基準がコネクション数の場合



(c) 選択基準がラウンドロビンの場合

図5 非対称の場合におけるコネクション数の時刻変化

Fig. 5 The transition of the number of connections in the asymmetric case.

選択基準がコネクション確立時間の場合は回線速度の大きな B2 にコネクションが偏り、コネクション数の場合はほぼ均等にコネクション数が推移し、ラウンドロビンの場合は回線速度の小さな B1 に未完了のコネクションが集中していることが分かる。したがって、

回線速度が異なる場合においても、選択基準がコネクション確立時間の場合が回線速度の大きなバックボーンを最も有効に利用できているといえる。

以上の結果から、提案方法はネットワークの利用状況や回線容量に応じて適切にバックボーンを選択し、動的にトラヒックを分散していることが確認された。

#### 4.2.3 現在の実装の問題点と対応策

今回の実験環境では、バックボーンに接続されるルータが 1 台であるため、ルータに故障が発生すると外部との通信が遮断されるという問題がある。この問題については、代替ルータを設け、ルータと代替ルータの間でコネクション表を同期させる機能を追加することにより、ルータの耐故障性を高めることができると考えられる。

また、今回の実装ではバックボーン選択基準にコネクション確立時間を採用したため、コネクションを持たない UDP パケットについては現状では負荷分散を行うことができない。しかし、これに関しては、バックボーンの状態にかかわらず NAT を用いない側のバックボーン (図 1 における B1) を選択し、その他のトラヒックに提案方法を適用することにより、トラヒック全体としてみれば負荷分散が実現できると考えられる。さらに、NAT では UDP パケットを送信元/送信先のアドレスとポート番号の組ごとにフローとして扱うので、たとえばフロー数などを用いて適切なバックボーン選択基準を確立することができれば、トラヒック分散の仕組みについては提案方法がそのまま適用可能であると考えられる。

なお、提案方法はトラヒック分散に NAT を用いているため、NAT の利用できないアプリケーションにはそのまま適用することができない。しかし、このようなアプリケーションのトラヒックについては、ポート番号で識別することによって NAT を用いない側のバックボーンを選択すればよく、その他のトラヒックに提案方法を適用することにより、トラヒック全体としてみれば負荷分散が実現できると考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、マルチホームネットワークにおいて、ルータが各バックボーンの状態を自らが判断して、コネクション単位で適切なバックボーンを選択する方法を提案した。さらに、バックボーンを選択基準としてコネクション確立時間を用いたルータを試作し、実験によりその有効性を確認した。この方法により、マルチホームネットワークにおける透過的かつ効率的なトラヒック分散が高い技術レベルや運用コストを必要と



せずに可能となり，マルチホームネットワークの普及に貢献できると考えられる．今後の課題としては，高速なバックボーンを用いた場合の通信先のサーバやルータの負荷も含めたより詳細な性能評価や，UDPパケットに対するバックボーン選択基準の検討も含めたより効果的なバックボーン選択方法の確立などがあげられる．

謝辞 本研究の一部は，文部省科学研究費平成 11～12 年度奨励研究 (A) 課題番号 11780226 の補助を受けている．ここに記して感謝の意を表する．

### 参 考 文 献

- 1) 中川郁夫, 上谷 一, 鍋島公章, 樋地正浩, 今野幸典: マルチホーム環境におけるアプリケーションルーティング技術の提案, 情報処理学会分散システム運用技術研究報告, No.12, pp.37-42 (1998).
- 2) Egevang, K. and Francis, P.: *The IP Network Address Translator (NAT)*, RFC1631 (1994).
- 3) Srisuresh, P. and Holdrege, M.: *The IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations*, RFC2663 (1999).
- 4) Hawkinson, J. and Bates, T.: *Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS)*, RFC1930 (1996).
- 5) Rekhter, Y. and Li, T.: *A Border Gateway Protocol 4*, RFC1771 (1995).
- 6) 小巻賢二郎, 所真理雄: フローを考慮した経路制御機構, 電子情報通信学会技術研究報告, IN98-27, pp.25-32 (1998).
- 7) 梶田将司, 結縁祥治: NAT によるプライベートネットワークの準マルチホーム化技法, 情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究報告, No.16, pp.73-78 (1999).
- 8) Wooster, R.P. and Abrams, M.: Proxy Caching that Estimates Page Load Delays, *Proc. 6th World Wide Web Conference*, pp.325-334 (1997).
- 9) 青木武司, 菊池慎司, 高橋英一, 岡野哲也, 安達基光, 勝山恒男: IP ネットワークの性能測定技術, 電子情報通信学会技術研究報告, IN98-90, pp.9-16 (1998).
- 10) Carter, R.L. and Crovella, M.E.: Measuring Bottleneck Line Speed in Packet-Switched Networks, Tech. Rep., BU-CS-96-006, Boston University (1996).
- 11) Jacobson, V.: pathchar - A Tool to Infer Characteristics of Internet Paths, MSRI (1997). <ftp://ftp.ee.lbl.gov/pathchar/msri-talk.pdf>
- 12) Mathis, M. and Mahdavi, J.: Diagnosing Internet Congestion with a Transport Layer Performance Tool, *Proc. of INET '96* (1996).
- 13) Cisco Systems, Inc.: *LocalDirector in the Data*

Center.

[http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/cxsr/400/tech/ldir\\_wp.htm](http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/cxsr/400/tech/ldir_wp.htm).

(平成 12 年 5 月 8 日受付)

(平成 12 年 10 月 6 日採録)



岡山 聖彦 (正会員)

平成 2 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業．平成 4 年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年同大学院基礎工学研究科博士後期課程を退学し，同大学工学部助手．平成 6 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手．平成 10 年岡山大学工学部助手．インターネットアーキテクチャ，ネットワーク管理，ネットワークセキュリティの研究に従事．電子情報通信学会会員．



山井 成良 (正会員)

昭和 61 年大阪大学大学院工学研究科 (電子工学専攻) 博士前期課程修了．昭和 63 年同大学院基礎工学研究科 (物理系専攻情報工学分野) 博士後期課程中退．同年奈良工業高等専門学校情報工学科助手．平成 2 年同講師．平成 6 年大阪大学情報処理教育センター助手．平成 7 年同大学大型計算機センター講師．平成 9 年岡山大学総合情報処理センター助教授．分散システム，マルチメディアシステム，マルチメディアネットワークの研究に従事．博士 (工学)．IEEE，電子情報通信学会各会員．



島本 裕志

平成 11 年岡山大学工学部情報工学科卒業．現在，同大学大学院自然科学研究科博士前期課程に在学中．主に広域ネットワークにおける分散システムの研究に従事．マルチメディアシステム，高速ネットワーク等に興味を持つ．



宮下 卓也

平成 3 年岡山大学工学部電気電子工学科卒業。平成 5 年同大学大学院工学研究科(電気電子工学専攻)修了。平成 8 年同大学院自然科学研究科(知能開発科学専攻)修了。平成 9 年東京農工大学ベンチャービジネスラボラトリー博士研究員。平成 10 年岡山大学総合情報処理センター助手。主にデジタル機器からの放射電磁雑音の計算機シミュレーションの研究に従事。情報処理教育, マルチメディア, 高速ネットワーク等に興味を持つ。工学博士。IEEE, 電子情報通信学会, エレクトロニクス実装学会各会員。



岡本 卓爾(正会員)

昭和 33 年大阪大学工学部通信工学科卒業。同年川崎重工業(株)入社。昭和 35 年三井造船(株)転社。昭和 42 年岡山大学工学部奉職。現在, 同大学工学部通信ネットワーク工学科教授。平成 9 年より同大学総合情報処理センター長併任。主に論理回路を中心とした計算機ハードウェアの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 電気学会, IEEE 各会員。