

# LL-002 マルチホームネットワークにおける アプリケーションプロトコルに依存した動的トラフィック分散

## A Dynamic Traffic Balancing on Multihomed Networks Depending on Application Protocols

山井 成良<sup>†</sup>  
Nariyoshi Yamai

久保 武志<sup>‡</sup>  
Takeshi Kubo

岡山 聖彦<sup>†</sup>  
Kiyohiko Okayama

宮下 卓也<sup>†</sup>  
Takuya Miyashita

### 1. まえがき

インターネットの利用は年々増加の一途を辿っており、これに伴い WWW 等のネットワークアプリケーションにおける応答時間の劣化が顕著になってきている。これに対処する一つの方法として、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ている。我々の研究グループではこれまでに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 RTT(Round Trip Time) や利用可能帯域等を推定し、フロー単位で適切なバックボーンを選択する動的トラフィック分散手法を提案してきた [1, 2, 3]。

しかし、従来の手法では、全てのフローに対して同一のバックボーンを選択方法を適用していたため、たとえば TELNET などの対話型プロトコルと HTTP のようなバルク型プロトコルが混在して用いられる場合でもアプリケーションプロトコルの特性を考慮することができず、非効率的なトラフィック分散を行ってしまう危険性があった。また、FTP における制御用コネクションとデータ用コネクションのように、1セッション中に依存関係を持つ複数のフローが存在する場合、従来の手法ではこれらをうまく扱うことができず、アプリケーションが正常に動作しない危険性があった。

そこで、本稿ではアプリケーションプロトコルに応じた適切なバックボーンを選択できる動的トラフィック分散手法を提案する。これにより、TELNET に対しては RTT を重視し、同時に HTTP に対しては利用可能帯域を重視するなど、より効果的なバックボーン選択が可能となり、また FTP など複数のフローを扱うアプリケーションに対しても動的トラフィック分散を適用することが可能となる。

### 2. 動的トラフィック分散の概要

本節では、提案手法の基となった従来の動的トラフィック分散手法について、その概要を説明する。

#### 2.1 ネットワーク構成

以下の説明では比較的小規模のネットワークを対象とし、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, B2)に接続した構成を取るものとする。また、自組織のネットワークにはB1が

ら与えられたアドレスが割り当てられており、B2とはNAT(Network Address Translation)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。なお、バックボーンB1を以下ではデフォルトバックボーンと呼ぶ。

#### 2.2 往路・復路でのトラフィック分散

次に、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。

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、新たなフローに属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。一度フローが確立されると、そのフロー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。

復路のトラフィック分散は、NATを用いることにより行う。この様子を、図1においてH1がH2と通信をする場合を例にとり説明する。

まず、ルータが往路で左図の実線矢印で示すようにB1を選択した場合を考える。この場合、ルータRではアドレス変換されずに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、このパケットは右図の実線矢印で示すように往路と同じB1を経由してH1に届く。

一方、ルータが往路でB2を選択した場合を考えると、ルータは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、このパケットは右図の破線矢印で示すように往路と同じB2を経由してルータ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。

#### 2.3 バックボーン選択方法

我々はこれまでにいくつかのバックボーン選択方法を提案してきた [1, 2, 3] が、本稿ではそのうち提案手法に関係の深い代表的な方法として、TCP通信を対象とした、RTTに基づく方法、利用可能帯域に基づく方法、および両者を併用する方法を示す。

RTTに基づく方法 [1] では、ルータは内部ネットワークからSYNフラグ付きパケット(SYNパケット)を受け取るとこれを全てのバックボーンに対して同時に送出して通信先とのコネクションの確立を試み、このうち最も

<sup>†</sup>岡山大学, Okayama University

<sup>‡</sup>(株)日立製作所, Hitachi, Ltd.

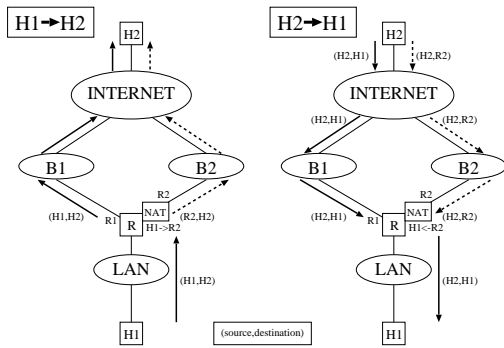


図 1: 往路および復路でのパケットの流れ

早く ACK フラグ付きパケット (ACK パケット) を受け取ったバックボーンを選択して SYN フラグ及び ACK フラグ付きパケット (SYN+ACK パケット) を送出し、それ以外のバックボーンには ACK パケットを受け取ると直ちに RST フラグ付きパケット (RST パケット) を送出してコネクションを破棄する (図 2)。

一方、利用可能帯域に基づく方法 [3] では、基本的には RTT に基づく方法と同じであるが、ルータは内部ネットワークから SYN パケットを受け取ると、全てのバックボーンに対してそれぞれ 2 つの SYN パケットを連続して送出し、これらに対する ACK パケットの到着間隔の短いバックボーンを選択する点が異なる。この方法は、利用可能帯域が狭いバックボーンではパケットの送出間隔が大きくなることから、ACK パケットの到着間隔と利用可能帯域との間には強い相関関係が見られる性質を利用している。

また、両者を併用する方法 [3] も利用可能帯域に基づく方法とほぼ同じであるが、ACK パケットの到着間隔ではなく、2 つ目の SYN パケットに対する応答を早く返したバックボーンを選択する点が異なる。これは 1 つ目の SYN パケットに対する応答時間と ACK パケットの到着間隔の両方が 2 つ目の SYN パケットに対する応答時間に含まれている点に着目したものである。

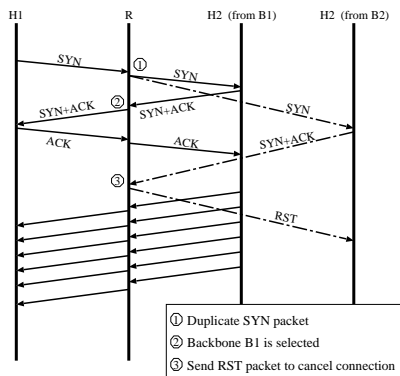


図 2: バックボーン選択時のパケットの流れ

### 3. アプリケーションプロトコルに依存した動的トラフィック分散

本節では、前節で述べた手法を基に、アプリケーションプロトコルに依存した動的トラフィック分散を行うために行った工夫点について述べる。

#### 3.1 プロトコル特性を考慮したトラフィック分散

従来のバックボーン選択方法においては、アプリケーションプロトコルの性質を考慮せずに同一のアルゴリズムを全てのフローに対して適用していたため、非効率なトラフィック分散が行われる危険性があった。たとえば TELNET などの対話型プロトコルと HTTP のようなバルク型プロトコルが混在して用いられる場合、両者に対して利用可能帯域あるいは RTT のいずれか一方に基づくバックボーン選択方法が適用され、前者に対しては RTT に基づく選択方法を適用しながら同時に後者に対しては利用可能帯域に基づく選択方法を適用することはできなかった。

この問題に対処するため、我々は宛先ポート番号毎にバックボーン選択方法を記述した表を予め作成しておき、ルータが新しいフローに属するパケットを受信すると、その宛先ポート番号に応じたバックボーン選択方法を適用するように従来方法を改良した。これにより、たとえば、宛先ポート番号が TCP22 番 (SSH) や TCP23 番 (TELNET) の場合には RTT に基づく方法、TCP25 番 (SMTP) や TCP80 番 (HTTP) の場合には利用可能帯域に基づく方法を適用することが可能となり、効果的なトラフィック分散が期待できる。

#### 3.2 依存関係を持つフローを考慮したトラフィック分散

たとえば、FTP やストリーム系のプロトコルなど一部のアプリケーションプロトコルでは、制御用フローとデータ用フローなど依存関係を持つ複数のフローが 1 セッション中に存在する。このようなプロトコルを 2 節で述べた動的トラフィック分散手法で扱う場合、複数のフローを同一のバックボーンに割り当てる必要がある。これは、もし異なるバックボーンに割り当てると、少なくとも 1 つのフローは NAT により送信元 IP アドレスが変わるため、図 1 の H2 ではこれらのフローの通信相手が同一の計算機であるとは判断できず、正常に動作しなくなるためである。また、このようなプロトコルでは、2 本目以降のフローはインバウンドフロー (図 1 における H2 側から H1 側への方向で発生するフロー) であることが多く、もしこのフローがバックボーン B2 に割り当てられると、ルータではアドレス変換に関する情報が欠落しているためこれを扱うことができない。

この問題に対処するため、我々はルータがアプリケーションプロトコルを解析して、複数のフローを同一のバックボーンに割り当てたり、インバウンドフロー用にアドレス変換表を作成したりするように従来手法を改良した。以下では、図 1 の環境においてクライアント H1 とサーバ H2 との間で FTP を用いてファイル転送を行う場合を例にとり、具体的なトラフィック分散方法を説明する。

FTP では、制御コネクションとデータコネクションの 2 種類のフローが存在し、このうちデータコネクションはアクティブモードではインバウンドフロー、パッシブモードではアウトバウンドフローとなる。

## 【PORT コマンドの書換え】

PORT H1<sub>1</sub>,H1<sub>2</sub>,H1<sub>3</sub>,H1<sub>4</sub>,h1<sub>h</sub>,h1<sub>i</sub>  
 ↓  
 PORT R2<sub>1</sub>,R2<sub>2</sub>,R2<sub>3</sub>,R2<sub>4</sub>,r2<sub>h</sub>,r2<sub>i</sub>

## 【アドレス変換表への追加 (最下行)】

source	alias	dest	proto	I/F
H1:1234	R2:1234	H2:21	TCP	B2
H1:(h1 <sub>h</sub> ,h1 <sub>i</sub> )	R2:(r2 <sub>h</sub> ,r2 <sub>i</sub> )	H2:20	TCP	B2

図 3: FTP(アクティブモード)におけるルータでの処理

表 1: 性能評価実験で使用したバックボーン特性

B1		B2	
帯域	遅延	帯域	遅延
100Kbit/s	0ms	1Mbit/s	500ms

まず、アクティブモードでは、H1は制御コネクションを用いてH2へPORTコマンドを発行する。PORTコマンドにはデータコネクションを待ち受けるためのH1側のIPアドレス(H1<sub>1</sub>~H1<sub>4</sub>)およびポート番号(h1<sub>h</sub>,h1<sub>i</sub>)が含まれており、ルータは監視によりこの情報を取得する。ここで、制御コネクションがB2を経由している場合、データコネクションもB2を経由する必要があるため、ルータはPORTコマンド中のIPアドレスをR2に、またポート番号が使われていない適切なもの書き換え、B2に送出する。同時に、ルータはアドレス変換表にデータコネクション用のエントリを追加し、H2からのコネクション要求を待ち受ける(図3)。

また、パッシブモードでは制御コネクションを用いてクライアントがサーバへPASVコマンドを発行する。すると、サーバからはデータコネクションを待ち受けるためのサーバ側のIPアドレスおよびポート番号が返されるため、ルータはこのやり取りを監視し、クライアントからサーバへのデータコネクション確立用のSYNパケットを受信すると、制御コネクションと同じバックボーンを選択すればよい。

なお、FTP以外のプロトコルでも同様の処理は可能と思われるが、仮にこれが不可能であれば、一部の良く利用されるプロトコルのみをトラフィック分散の対象とし、それ以外はB1を選択するようにすればよい。

## 4. 性能評価

提案手法の有効性を検証するため、前節で述べた動的トラフィック分散機能をルータ(FreeBSD4.1搭載機、CPU: Celeron 566MHz)に実装し、性能評価実験を行った。実験環境は図1とほぼ同様の構成であり、B1、B2のネットワーク特性は表1に示すように設定した。この実験環境において、telnet、WWW、RealPlayer8、FTPの4種類のアプリケーションを同時に起動し、バックボーン選択率を測定した。また、比較の対象として、従来のバックボーン選択方法を単独で適用した場合についても同様に測定を行った。なお、RealPlayer8ではUDPを

表 2: 性能評価実験における各アプリケーションの設定

アプリケーション	起動数	データ量 (KB)	選択手法
telnet	1	—	RTT
WWW	2	800,200,12	併用
RealPlayer8	3	250	帯域
FTP(active)	1	800	帯域
FTP(passive)	1	800	帯域

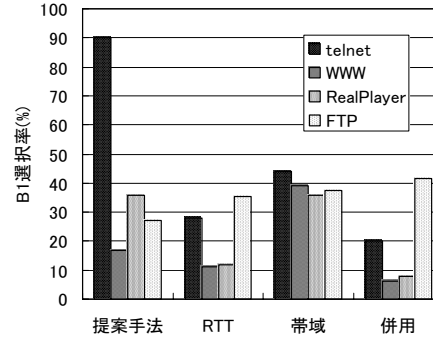


図 4: バックボーン B1 の選択率

用いてデータ伝送を行うように設定され、FTPと同様に制御用コネクションと同一のバックボーンを選択する機能をルータに組み込んだ。

実験における各アプリケーションの設定を表2に示す。また、それぞれの場合におけるバックボーンB1の選択率を図4に示す。これより、従来手法ではtelnetを含めた全てのプロトコルに対してB2を優先して選択しているのに対して、提案手法ではtelnetに対しては遅延が小さいB1を、他のプロトコルに対しては帯域の広いB2を優先して選択しており、提案手法の有効性を確認できる。なお、RTTに基づいた方法でもB1の選択率が低いのは、B1にフローが集中して結果的に遅延がB2よりも大きくなる場合が多いためと考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、依存関係にある複数のフローを扱うことができ、さらにアプリケーションプロトコルの性質を考慮するような動的トラフィック分散手法を提案し、その有効性を確認した。今後の課題としては、実際のネットワーク環境に適用した場合の性能評価が挙げられる。

## 参考文献

- [1] 岡山聖彦, 山井成良, 島本裕志, 宮下卓也, 岡本卓爾: “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”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.12, pp.3255-3264, 2001.
- [2] 山井成良, 久保武志, 岡山聖彦, 宮下卓也: “マルチホームネットワークにおけるUDP通信の透過的トラフィック分散”, 情報処理学会分散システム/インターネット運用技術シンポジウム2002論文集, pp.33-38, 2002.
- [3] 岡山聖彦, 山井成良, 宮下卓也: “マルチホームネットワークにおける帯域を考慮したバックボーン選択手法”, 情報処理学会研究報告, 2002-DSM-27-1, pp.1-6, 2002.