

## マルチホーム環境におけるDNSを用いた遅延 時間測定による自組織宛メール配送経路制御手法

金 勇<sup>†1</sup> 清 家 巧<sup>†2</sup> 岡 山 聖 彦<sup>†3</sup>  
中 村 素 典<sup>†4</sup> 山 井 成 良<sup>†3</sup>

近年のインターネットの普及に伴い、インターネットの最も基本的なサービスである電子メールの重要性が高まっている。電子メールシステムを安定に運用するための方法として、マルチホーム環境が注目されている。しかし、従来のマルチホーム環境における電子メールシステムでの経路選択手法では、ネットワークの状態に応じた動的なトラフィック分散ができなかったり、必ずしも適切な経路が選択されなかったりなどの問題があった。そこで本論文では、DNS(Domain Name System)を用いた遅延時間測定による動的経路選択手法を提案する。本手法では、自組織宛電子メールにおいてネットワークの状態に応じて適切な経路を選択し、動的なトラフィック分散も可能になる。

### A Routing Method of Inbound E-mail Delivery by Measuring Delay Time Using DNS on Multihomed Environment

YONG JIN,<sup>†1</sup> TAKUMI SEIKE,<sup>†2</sup> KIYOHICO OKAYAMA,<sup>†3</sup>  
MOTONORI NAKAMURA<sup>†4</sup> and NARIYOSHI YAMAI<sup>†3</sup>

With explosive spread of the Internet, e-mail as one of fundamental services is getting more and more important. As one way to operate e-mail system stably, multihomed networks are taken into account. However, in conventional route selection method in e-mail system with multihomed networks, problems about dynamic traffic balancing and appropriate route selection still exist. In this paper, we propose a dynamic route selection method by measuring delay time using DNS(Domain Name System). In this method, the proper route could be used for inbound e-mail delivery based on network status and traffic balancing could be performed dynamically as well.

#### 1. はじめに

電子メールはWWWと同様にインターネットにおいて最も普及しているサービスの一つであり、社会的な活動を支える通信手段としてもはや必要不可欠な存在となっている。特に、近年のインターネットの普及と広帯域化に伴い、より重要な情報あるいは添付ファイルを含む大量なメッセージが頻繁に交換されており、電子メールシステムをより安定に稼働させることが重要である。このような安定性の観点から見て、イン

ターネットへの接続点が1つしかないシングルホームネットワークでは、接続点の断絶によって電子メールの配送が停止するため脆弱である。そこで、電子メールシステムをより安定に運用するために、インターネットへの接続点を複数持つマルチホームネットワークが注目されている。マルチホームネットワークを利用することにより、物理的に異なる経路によって電子メールの配送が行えるため、サービスの耐障害性の向上やトラフィック分散などが期待できる。

ところが、単純にインターネットとの接続を複数にただけでは、マルチホームネットワークの利点は得られないため、複数の経路を利用するために適切な経路選択を行う必要がある。すなわち、利用可能な経路のうち、帯域が広い(以下、速い)、あるいは遅延時間が小さい(以下、近い)経路を選択し、通信時間の短縮やトラフィックの削減を図る必要がある。マルチホームネットワークにおける一般の通信に対する経路選択方法に

<sup>†1</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Natural Science and Technology,  
Okayama University

<sup>†2</sup> アドソル日進株式会社  
Ad-Sol Nissin Corporation

<sup>†3</sup> 岡山大学総合情報基盤センター  
Information Technology Center, Okayama University

<sup>†4</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics

は、IP レベルの対応方法である BGP(Border Gateway Protocol)<sup>1)</sup> を利用する方法とアプリケーションレベルの対応方法である ALG(Application Level Gateway) を利用する方法<sup>2)</sup> などがある。本論文ではこのうち導入・運用・管理を容易に行うことができる後者を用いて、特に電子メールサービスにおける組織外から組織内への配送(以下、自組織宛メール配送と呼ぶ)について耐故障性の向上やトラフィック分散を行う方法について考える。なお、組織内から組織外への配送については、文献 3)–5) に示す方法を適用できるため、本論文では対象としない。

ALG によるマルチホームネットワーク環境で電子メールシステムを運用する場合、ALG として MGW(Mail GateWay) が該当し、自組織宛メール配送に対して各バックボーンネットワークに応じた異なる IP アドレスで受信することになる。このとき送信者の位置に応じて適切な経路が異なるので、経路制御を行う必要がある。しかし、DNS ラウンドロビン<sup>6)</sup>、DNS 応答の多重化方式<sup>7)</sup> などの従来の手法では、ネットワークの状態に応じた動的なトラフィック分散ができなかったり、必ずしも適切な経路が選択されなかったりするなどの問題があった。

そこで本論文では、MGW を利用したマルチホームネットワークにおいて、上記の問題を解決するための DNS を用いた遅延時間測定による動的経路制御手法を提案する。本提案手法では、送信者の位置やネットワークの状態に応じた適切な経路を選択し、また動的なトラフィック分散も可能となる。

## 2. マルチホーム環境における自組織宛メール配送とその問題点

### 2.1 電子メール配送の仕組み

電子メールシステムの基本的な構成として、図 1 のような構成について考える。この構成では、自組織側

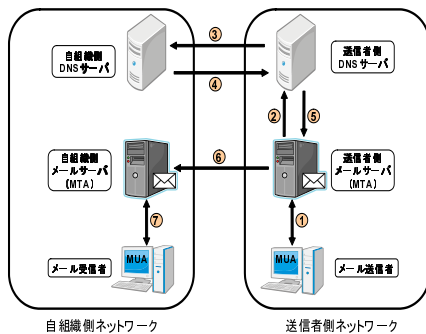


図 1 電子メールシステムの例

と送信者側の電子メールシステムを示し、送信者側から自組織側への電子メールの配送手順を示している。電子メールを受信するために、自組織側は受信するメールサーバを DNS サーバに自組織ドメインに対する MX レコードとして登録する手法<sup>5)</sup> が一般に用いられる。図 1 の構成では、自組織側と送信者側ネットワークにそれぞれメールサーバ (MTA: Mail Transfer Agent) と DNS サーバを配置し、メール送信者 (MUA: Mail User Agent) からメール受信者 (MUA) へ配送される電子メールは、送信者側メールサーバから自組織側メールサーバへ配送され、その後メール受信者が自組織側メールサーバから受け取ることを示している。以下に具体的な配送手順を示す(図 1 中の数字と手順の番号は対応している)。

1. 送信者は MUA を利用して自組織側宛の電子メールを作成し、送信者側の MTA に配送する
2. 送信者側の MTA はローカル DNS サーバに対して、宛先の MX レコードとその MX レコードが示すホストの IP アドレスを問い合わせる
3. 送信者側の DNS サーバはそれらを自組織側の DNS サーバに問い合わせる
4. 自組織側 DNS サーバは応答として自組織側 MTA とその IP アドレスを送信者側 DNS サーバに返す
5. 送信者側の DNS サーバは取得した応答を送信者側の MTA に返す
6. 送信者側の MTA は MX レコードに基づいて自組織側の MTA へ電子メールを配送する
7. 受信者は自組織側の MTA から電子メールを受け取る

以上のような手順で電子メールはメール送信者からメール受信者へ配送される。

### 2.2 マルチホームネットワークによる電子メール配送経路の冗長化

マルチホームネットワークとは、図 2 のように複数のバックボーンによってインターネットに接続されているネットワークのことである。通常、自組織ネットワークはシングルホームネットワークによってインターネットに接続される形態が多く、バックボーンが障害等により断絶すると、インターネットへ接続できなくなってしまうため脆弱である。そのため、インターネットへの接続を冗長化したマルチホームネットワークによって、ネットワークの耐障害性の向上やトラフィック分散などが可能になる。但し、これらの利点を発揮するためには、1 章で述べたように複数の経路の中から適切なものを選択するといった経路選択を行う必要がある。マルチホームネットワークにおける

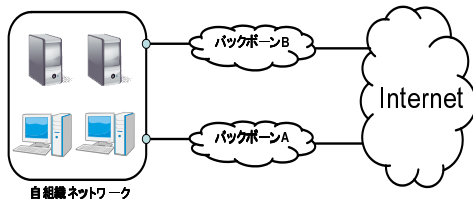


図2 マルチホームネットワーク

電子メールシステムの運用においては、BGP を利用する方法と ALG を利用する方法が知られている。

これらのうち、BGP を利用する方法では、ネットワーク層においてマルチホームネットワークに対応できるので、上位層では特に経路制御に関与せず、個々のアプリケーションやホストの特別な設定を必要としないという利点がある。しかし、BGP は宛先に到達するまでに経由するネットワークの数や、宛先アドレスに依存して静的に設定された優先度に基づいた経路制御を行っているため、輻輳などその時々ネットワークの状態を考慮した経路制御が行われず、特定のバックボーンにトラフィックが集中するなど選択された経路が必ずしも適切であるとは限らないといった問題がある。また、BGP の経路情報を交換するために、自組織のルータと交換相手のルータの接続 (以下、ピアリングと呼ぶ) が必要である。ピアリングを行うためには、ピアリング相手との交渉を行う必要があり、BGP の運用は自組織の問題だけではなく、他組織との連携が重要となってくる。また、BGP を運用するためには、大量の経路情報を扱う必要があり、ある程度のバックボーンの帯域を消費し、さらに高性能なルータが必要になる。加えて、BGP の運用には経路制御技術についての深い知識が必要になり、一般の組織では運用が重荷になるなど、運用に関するコストが高いという問題がある。

そこで、本論文では BGP を利用せず ALG を用いた経路選択手法について考える。これは各バックボーン接続点に ALG を配置し、組織の境界を跨る全ての通信は ALG を介して行い、送信者側に ALG を選択させることによって通信経路を選択させる手法である。電子メールシステムにおいては、各バックボーンの接続点に MGW を配置し、それらの MGW を介して電子メールの配送を行うことになる。

### 2.3 従来の自組織宛メール配送の経路選択手法とその問題点

本節では、MGW を利用した従来の経路制御手法として、DNS ラウンドロビン方式と DNS 応答の多重化方式及びそれぞれの問題点について説明する。

#### 2.3.1 DNS ラウンドロビンによる経路制御

DNS ラウンドロビンとは DNS を利用した負荷分散技術の一つであり、電子メールシステムに適用する場合、一つのドメインに複数の MX レコードを割り当てることにより電子メールを複数のメールサーバに分散させることができる。さらに、マルチホームネットワークを利用する時、各バックボーンの接続点にそれぞれメールサーバを配置すると、電子メールを各メールサーバに分散して処理させると同時に電子メールによるネットワークトラフィックも複数のバックボーンに分散させることが可能となる。図3に示すように

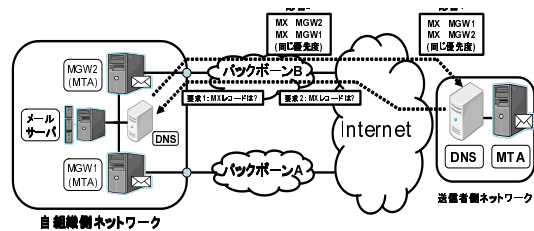


図3 DNS ラウンドロビン方式

自組織ネットワークが複数の MGW によって送信者からの電子メールを受信する場合、DNS ラウンドロビン方式を適用することができる。この方式では、同じ優先度を設定した複数の MX レコードを利用するため、MX レコードの選択は送信者側の設定に依存するが、多くの実装では最初の方を採用する。ここで、図3に示しているように自組織側の DNS サーバが毎回その順番を変えることによって、送信者側に異なる MGW を選択させることである。

ところが、この方式ではネットワークの状態を考慮した適切な経路制御ができない、また動的なトラフィック分散ができないといった問題がある。すなわち、この方式では送信者の位置やバックボーンの混雑状態を考慮せず、同じ割合で複数のバックボーンを利用することになる。

#### 2.3.2 DNS 応答の多重化による経路制御

我々の研究チームで提案した DNS 応答の多重化による経路制御手法 (以下、DNS 応答の多重化方式と呼ぶ) は DNS ラウンドロビン方式での問題を解決している。DNS 応答の多重化方式のシステム構成は図4のようになる。この構成では、自組織側はマルチホームネットワークを利用し、各バックボーンの接続点にそれぞれ MGW と DNS サーバが配置され、また、外部からの DNS 問合せを受け付けるための DNS Proxy が配置されている。各 DNS サーバにはそれぞれ MGW1

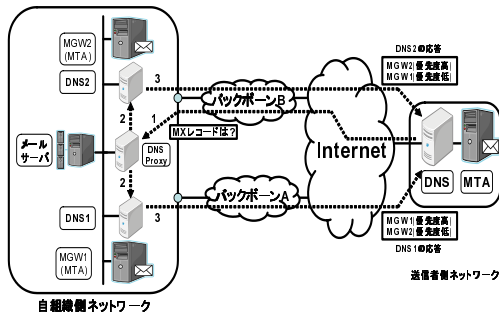


図 4 DNS 応答の多重化方式

と MGW2 を自組織ドメインに対する MX レコードとして登録するが、自分と同じ接続点に配置された MGW の優先度が高いように設定しておく。この方式では、送信者が自組織側宛にメールを送る際の MX レコードの問合せは DNS Proxy によって受信され、DNS Proxy はその問合せを 2 つに複製してそれぞれの DNS サーバに転送する。そして、各 DNS サーバは優先度の異なる複数の MX レコードを同時に返す。これらの動作により、送信者側は複数の DNS 応答を受信するが、最初に到着した DNS 応答だけが有効<sup>8)</sup> になり、送信者側の MTA は受信した応答の中で、優先度の高い MGW へメールの配送を最初に試み、これが何らかの原因で失敗した場合、次の優先度の MGW へフォールバックする。このように、DNS 応答の多重化方式では、ネットワークの状態に応じた適切な経路制御と動的トラフィック分散が可能となる。

しかし、この手法にもいくつかの問題がある。まずこの手法では、ネットワークの状態を調べる方向と電子メールの配送方向が逆である。そのため、電子メールを送る前のネットワーク状態の調査結果は必ずしも電子メールの配送方向でのネットワーク状態を反映していない。また、この手法では、DNS 要求は DNS Proxy によって受信されるが、応答は 2 つの DNS から返されるため、DNS 応答パケットの送信元 IP アドレスを DNS Proxy の IP アドレスに書き換える必要がある。そのため、送信元 IP アドレス詐称拒否を行っているネットワークでは対応できない。

### 3. DNS を用いた遅延時間測定による動的経路制御手法

2 章で述べたように、従来手法の DNS ラウンドロビン方式と DNS 応答の多重化方式ではさまざまな問題があった。本章では、これらの問題を解決するための DNS を用いた遅延時間測定による動的経路選択手法を提案する。

#### 3.1 DNS を用いた遅延時間の測定

2 章で述べた従来手法の問題点は、全て DNS の応答パケットのみを用いてネットワーク状態を調査したことが原因となる。そこで、提案手法では、DNS 要求と応答の両方を用いてネットワーク状態を調査するようにする。送信者が電子メールを送る際に、メールの配送方向へのネットワーク状態を調査するには、DNS サーバにおいて、送信者側からの MX レコードの問合せに着目し、その DNS 要求パケットがそれぞれのバックボーンを経由する遅延時間を測定する方法が考えられる。ところが、このような動作を実現するには、送信者側との連携が必要となり、特にマルチホームネットワークの場合は、送信者側のシステムに変更を加えることなく処理するのは非常に困難である。

そこで、提案手法では、送信者側から自組織側までの正確な遅延時間を測定する代わりに、それらの遅延時間を比較するだけで、遅延時間の小さいバックボーンを判定するような方法について考える。

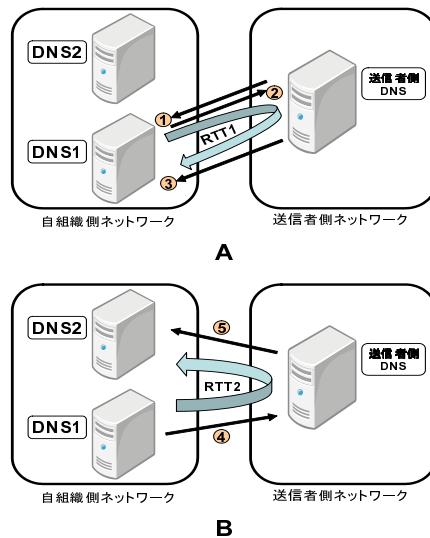


図 5 DNS による遅延時間の測定

次に、図 5(A または B) のような電子メールシステムでの DNS サーバのみを示した構成を使って提案手法について説明する。提案手法では、図 5 の A に示している、DNS1 から送信者側 DNS に到達し、また送信者側 DNS から DNS1 に戻るまでの遅延時間 (以下、RTT1 呼ぶ) 及び図 5 の B に示している、DNS1 から送信者側 DNS を経由して DNS2 に到達するまでの遅延時間 (以下、RTT2 と呼ぶ) を測定する。このとき RTT1 と RTT2 では、DNS1 から送信者側 DNS までの遅延時間が共通部分となり、等しいと見なすことが

できる。従って、RTT1 と RTT2 を比較すれば、送信者側 DNS から DNS1 または DNS2 までのそれぞれの遅延時間を比較することができ、送信者に遅延時間の小さいバックボーンを電子メール配送の優先経路として利用させることが可能となる。ここで、RTT2 の測定は DNS1 から始まって送信者側 DNS を経由し、最後に DNS2 で終わるため、RTT2 を正確に測定するためには DNS1 と DNS2 のホストのタイマを同期する必要があるが、これは NTP<sup>9)</sup> を使って簡単に実現できる。また、一般的な DNS サーバには、このような遅延時間測定機能がないので、新たにそのような動作を行うシステムを構築する必要がある。

このように、自組織側の DNS サーバを活用することで、動的に遅延時間を測定することによって電子メール配送方向でのネットワーク状態に応じた動的な経路制御およびトラフィック分散ができ、さらに送信元 IP アドレス詐称処理も必要としないため、上記の全ての問題が解決可能となる。

### 3.2 提案手法における処理手順

本節では自組織宛メール配送において、図 6 と図 7 を使って提案手法による全体的な処理手順を示す。この例では、自組織側の DNS1 はゾーン

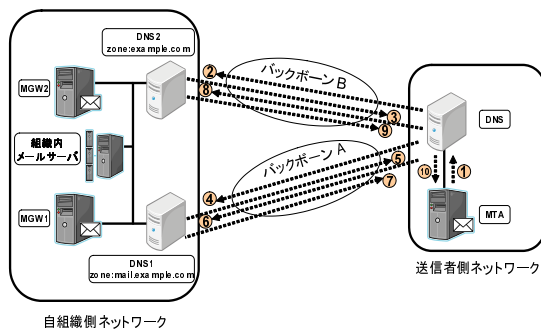


図 6 初回の問合せの流れ

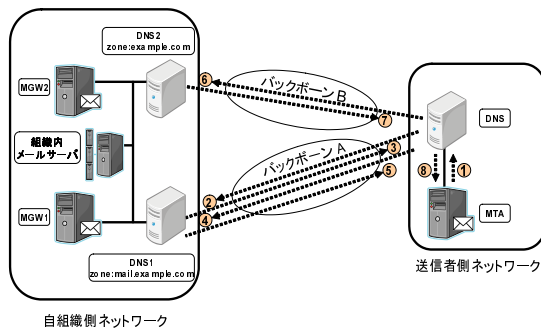


図 7 2 回目以降の問合せの流れ

“mail.example.com”を管理し、DNS2 はゾーン “example.com”を管理することにする。次に、まず図 6 を使って送信者が最初に自組織宛に電子メールを送る場合の提案手法による処理手順を説明する(図中の数字と手順の番号が対応している)

1. 送信者側 MTA は root@mail.example.com に電子メールを送る際、送信者側 DNS にドメイン名 “mail.example.com” に対する MX レコードを問い合わせる
2. これは初回なので、送信者側 DNS は受信側のゾーン “example.com” を管理している DNS2 に “mail.example.com” に対する MX レコードと問い合わせる
3. DNS2 は “mail.example.com” に対する NS レコードとして DNS1 のホスト名を応答する
4. 送信者側 DNS は DNS1 に “mail.example.com” に対する MX レコードを問い合わせる。
5. 自組織側の DNS1 は RTT1 を測定するために、応答を返す時刻 (*timestamp1*) を埋め込んだ CNAME レコード “*timestamp1.mail.example.com*” を応答する。
6. 送信者側 DNS は CNAME を受信すると、再び DNS1 に “*timestamp1.mail.example.com*” に対する MX レコードを問い合わせる
7. DNS1 は *timestamp1* と問合せを受信した時刻を利用して RTT1 を計算する。そして、今度は応答を返す時刻 (*timestamp2*) と RTT1 を埋め込んだ CNAME レコード “*timestamp2.rtt1.example.com*” を応答する。
8. 送信者側 DNS は再び CNAME を受信すると、今度はゾーン “example.com” を管理している DNS2 に “*timestamp2.rtt1.example.com*” に対する MX レコードを問い合わせる
9. DNS2 は問合せを受信した時刻と *timestamp2* を利用して RTT2 を計算し、RTT1 と RTT2 を比較する。その結果によって、RTT1 が大きければ MX レコードとして MGW1 を返し、そうでなければ MGW2 を返す
10. 送信者側 DNS は受信した MX レコードを送信者側 MTA に返す

このような動作によって、送信者側の MTA はより遅延時間の小さいバックボーンを經由して電子メールの配送を行うことができる。ここで、初回の電子メールの配送で、自組織側 DNS1 のゾーン “example.com” に対する管理情報と DNS2 のゾーン “mail.example.com” に対する管理情報が送信者側 DNS にキャッシュとし

で残る。従って、2回目以降からは、送信者側 DNS はドメイン “mail.example.com” に対する MX レコードを最初から直接に自組織側の DNS1 に問い合わせることになる。図 7 に示しているように、2回目以降から送信者側 DNS は自組織側 DNS に 3 回問い合わせることで MX レコードを受信し、無駄な DNS パケットがなく、より速く電子メール配送の経路制御ができる。なお、遅延時間測定に用いた時刻を含む一時的なドメイン名 (全て TTL を 0 に設定) は動的に作られるため、既存の DNS サーバのゾーン設定には変更を加える必要がない。

#### 4. 提案システムの実装と評価

本章では、提案手法に基づいた試作システムの実装と、試作システムを用いて行った動作確認実験について述べる。

##### 4.1 提案システムの実装

試作システムに必要な、以下の 2 つのプログラムを作成した。DNS1 と DNS2 はそれぞれ 3.1 節で述べた自組織側の 2 つの DNS サーバを示している。

##### ● DNS1 での遅延時間測定

3.1 節で述べた RTT1 と RTT2 を測定するために、BIND(Berkeley Internet Name Domain)<sup>10)</sup> と改良した Perl の DNS サーバモジュール (Net::DNSServer::Proxy、以下、PerlDNS と呼ぶ)<sup>11)</sup> を併用することによって受信側の DNS1 を実装した。DNS1 での BIND と PerlDNS は具体的に以下のような手順で動作する。

1. 送信者側からの初回の MX レコード問合せに対して、応答を返す時刻を埋め込んだ CNAME レコードを返す
2. 送信者側からの CNAME に対する MX レコード問合せに対して、RTT1 とこの応答を返す時刻を埋め込んだ CNAME レコードを返す
3. 他の DNS レコード問合せに対しては通常の DNS 通り動作する

##### ● DNS2 での MX レコードの判定

RTT2 を測定し、RTT1 と比較して遅延時間の小さいバックボーンを判定するために、BIND と改良した PerlDNS を併用することによって自組織側の DNS2 を実装した。DNS2 での BIND と PerlDNS は具体的に以下のように動作する。

1. DNS1 から返した CNAME に対する MX レコードの問合せに対して、RTT2 を計算し、それと RTT1 を比較して遅延時間の小さい

バックボーンに配置された MGW を返す

2. 他の DNS レコード問合せに対しては通常の DNS 通り動作する

以上のような手順で、DNS1 と DNS2 では BIND と PerlDNS を併用することにより MX レコードの判定を行う。

##### 4.2 動作確認実験と結果

提案手法が正しく動作するかを確認するための動作確認実験を行った。実験ネットワークの構成を図 8 に示す。以下の実験は、図中の 2 つのルータの左側

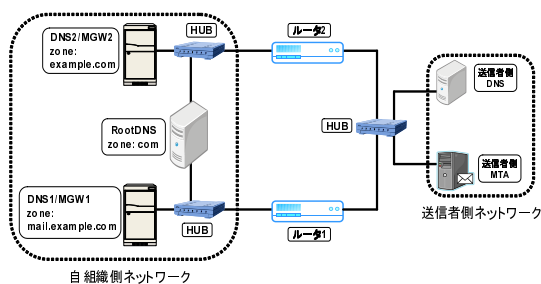


図 8 実験ネットワーク

を自組織側ネットワーク、右側を送信者側ネットワークと見なして行った。自組織側ネットワークではマルチホームネットワークを構成するために、2 つの経路 (ルータ 1 またはルータ 2) を経由して送信側と通信を行うように設定した。また、自組織側ネットワークでは、各経路の接続点にそれぞれサーバを配置し、各サーバではそれぞれ MGW と DNS を稼動した。ここで、各サーバはそれぞれ異なる経路を経由して送信者側と通信するように設定した。すなわち、MGW1 と DNS1 はルータ 1 を経由し、MGW2 と DNS2 はルータ 2 を経由して送信者側と通信するように設定した。また、自組織側ネットワークには実験ネットワーク全体のルート DNS サーバとして RootDNS を配置し、この RootDNS は両方の経路 (ルータ 1 またはルータ 2) のいずれかを經由して送信者側と通信を行えるように設定した。各サーバでは、MGW と DNS を全てデーモンプログラムとして稼動した。送信者側ネットワークでは、送信者側 MTA と送信者側 DNS を配置し、送信者側 DNS を送信者側 MTA のデフォルト DNS サーバとして設定した。また、MGW と MTA には Sendmail<sup>12)</sup>、電子メールトラフィックの生成には smtp-source<sup>13)</sup> を利用し、各経路に遅延を付加するには FreeBSD の Dummynet<sup>14)</sup> を利用した。このような環境において、送信者側 MTA から自組織宛に対して電子メールを配送し、提案手法が正常に動

表 1 実験結果 1

条件	MGW1 経由	平均 RTT1	MGW2 経由	平均 RTT2
通常の状態	48 通	16.30ms	52 通	16.79ms
MGW1→送信者に 2ms の遅延を付加	51 通	19.89ms	49 通	20.32ms
MGW2→送信者に 2ms の遅延を付加	48 通	16.33ms	52 通	16.79ms
送信者 →MGW1 に 2ms の遅延を付加	1 通	20.02ms	99 通	17.11ms
送信者 →MGW2 に 2ms の遅延を付加	99 通	16.31ms	1 通	20.24ms
送信者 ↔MGW1 に 2ms の遅延を付加	1 通	23.20ms	99 通	20.83ms
送信者 ↔MGW2 に 2ms の遅延を付加	99 通	16.43ms	1 通	20.42ms

表 2 実験結果 2

条件	MGW1 経由	平均 RTT1	MGW2 経由	平均 RTT2
送信者 →MGW1 に 60Mb/s の FTP	9 通	21.30ms	91 通	18.11ms
送信者 →MGW2 に 60Mb/s の FTP	90 通	16.35ms	10 通	20.07ms
MGW1→送信者に 60Mb/s の FTP	24 通	21.55ms	76 通	20.20ms
MGW2→送信者に 60Mb/s の FTP	75 通	16.33ms	25 通	18.15ms

作するかを確認するための実験を行った。この実験では、送信者側 MTA から自組織宛に対して、1 秒間隔で 100 通の電子メール配送し、自組織側では電子メールをどの MGW によって受信したかを、通常の状態と、各経路のそれぞれの方向に Dummynet を用いて遅延を付加した場合、また各経路のそれぞれの方向に FTP トラフィックを発生させた場合について確認した。さらに DNS2 では、送信者が毎回電子メールを送る際の RTT1 と RTT2 を測定して出力するようにした。それらの結果を表 1 と表 2 に示す。

表 1 に通常の状態と各経路に遅延を付加した場合の実験結果を示す。表 1 から、条件なしでは各経路共に同じ割合で利用され、測定した RTT1 と RTT2 は両方共に 17ms 程度である。また、自組織側から送信者方向へそれぞれの経路に 2ms の遅延を付加した場合、提案手法の経路制御は送信者側から自組織側方向へのネットワーク状態に依存するためその影響を受けず、各経路共に同じ割合で利用されることがわかる。

次に、送信者側から自組織側方向へ 2ms の遅延を付加した場合、ほぼ全ての電子メールが遅延を付加してない経路を経由して配送されたことがわかる。また、各経路の往復共に 2ms の遅延を付加した場合も、自組織側から送信者側方向への遅延は影響を与えないため、ほぼ全ての電子メールが遅延を付加してない経路を経由して配送されたことがわかる。

続いて、表 2 に各経路に FTP トラフィックを発生させた場合の実験結果を示す。表 2 から、メール配送と同方向に 60Mb/s 程度の FTP トラフィックを発生させた場合、9 割程度の電子メールが FTP トラフィックのない経路を利用したことがわかる。一方、メール配送とは逆方向に 60Mb/s 程度の FTP トラフィックを発生させた場合、FTP トラフィックが与える影響が

減少し、7 割程度の電子メール配送は FTP トラフィックのない経路を利用したことがわかる。

表 3 DNS 問合せのオーバーヘッド

通常の場合 (送信者側 DNS でキャッシュミス)	11ms
通常の場合 (送信者側 DNS でキャッシュヒット)	6ms
提案手法での初回時 (図 6)	64ms
提案手法での 2 回目以降 (図 7)	42ms

最後に、上記の実験環境において、送信者がメールを送る際に行う DNS 問合せの遅延時間も測定した。その結果を表 3 に示す。表 3 から通常の場合、すなわち提案手法を利用せず送信者側の MTA がローカルの DNS に問い合わせ、送信者側の DNS が自組織側の DNS に問い合わせる場合、DNS 問合せ全体の遅延時間は 11ms 程度である。また、それらの DNS 問合せ結果が送信者側の DNS にキャッシュとして残っている場合、送信者側 MTA は直接にローカル DNS から情報を得るため、DNS 問合せ全体の遅延時間は 6ms 程度に減らすことがわかる。それに対して提案手法を利用する場合、初回 (図 6) では DNS 問合せ全体の遅延時間は 64ms 程度であり、自組織側の DNS 情報などが送信者側 DNS にキャッシュとして残っている場合、すなわち 2 回目以降 (図 7) からは DNS 問合せ全体の遅延時間は 42ms 程度である。この測定結果から、提案手法での DNS 問合せ全体の遅延時間は通常より相当増えているが、今後実装方法の工夫により改善することが可能であると考えられる。

以上の実験結果により、自組織宛メール配送において提案手法は正しく動作し、従来手法での問題点を解決した上で、トラフィック分散にも有効であると言える。

## 5. む す び

本論文では、マルチホームネットワークにおける電子メールシステムを効率的に運用するために、従来の自組織宛メール配送の経路制御手法とその問題点を考察し、これを解決するためのDNSを用いた遅延時間測定による自組織宛メール配送経路制御手法を提案した。また提案手法による試作システムを実装し、試作システムを利用した動作確認実験を行った。実験結果により、提案手法が正しく動作し、従来手法での問題を解決したことを確認した。

今後の課題として、実ネットワークでの性能評価と他のアプリケーションサービス(WWW, FTP など)での検討が上げられる。また、今回の提案手法では、バックボーンに障害が発生した場合に対応できないため、これに対する対策も検討する必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) Y. Rekhter, and T. Li: "A Border Gateway Protocol 4," RFC 1771, March 1995 .
- 2) 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/インターネット運用技術研究会研究報告, 98-DSM-12-7, pp.37-42, 平成 10 年 11 月 .
- 3) 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, 平成 12 年 12 月 .
- 4) 岡山聖彦, 山井成良, 久保武志, 宮下卓也: "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の性質を考慮した動的トラフィック分散," 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.4, pp.1007-1016, 平成 17 年 4 月 .
- 5) 山井成良, 土居正行, 岡山聖彦, 中村素典: "マルチホームネットワークにおける電子メールシステムの高信頼化運用手法," FIT2007, LL-004, 平成 19 年 9 月 .
- 6) Brisco, T. : DNS Support for Load Balancing, RFC1794(1995) .
- 7) 金勇, 清家巧, 岡山聖彦, 中村素典, 山井成良: "ALG を用いたマルチホーム環境における自組織宛メール配送の動的経路選択手法," 情報処理学会インターネットと運用技術研究会インターネットと運用技術シンポジウム 2008 講演論文集, pp.137-143, 平成 20 年 12 月 .
- 8) R.Elz, R.Bush: "Clarifications to the DNS Specification," RFC 2181, July 1997.
- 9) David L.Mills: "Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis," RFC 1305, March 1992 .
- 10) Internet Systems Consortium, Inc.: "ISC BIND," <http://www.isc.org/index.pl?sw/bind>
- 11) Rob Brown: "Net::DNSServer::Proxy - Forwards requests to another DNS server," <http://search.cpan.org/~bbb/Net-DNSServer-0.11/lib/Net/DNSServer/Proxy.pm>
- 12) Sendmail Inc.: "Sendmail Home," <http://www.sendmail.org>
- 13) "The Postfix Home Page," <http://www.postfix.org>
- 14) "dummynet - traffic shaper, bandwidth manager and delay emulator," FreeBSD Kernel Interface Manual, October 28 2002 .