

IPv6における能動的経路選択アプリケーションの実現と検証

大谷 誠[†] 渡辺 健次^{††} 近藤 弘樹^{††}

インターネットは、近年急速に普及してきた。この普及とともに、ユーザのインターネットの利用目的が多様化してきた。一方、プロバイダなどから提供される通信回線の品質も多様化し、ユーザがその通信回線を選択できるような環境が整いつつある。そこで我々は、通信品質を選択する方法の1つとして、ユーザが利用目的に応じて通信経路を能動的に選択する方法を提案する。我々はこの経路選択の方法を、次世代インターネットプロトコルである IPv6 (Internet Protocol version 6) の拡張ヘッダであるルーティングヘッダを用いることにより実現し、FTP にこのルーティングヘッダを使用するための機能を実装して検証を行った。また経路選択の支援を目的として、ユーザにそれぞれの経路の品質情報を提供することで、経路選択を支援する“品質選択支援システム”の試作を行った。本稿では、この経路選択アプリケーションの実現とその検証、および品質選択支援システムの概要について述べる。

Implementation and Verification of an Application with the Function of Active Path Selection in IPv6 Environment

MAKOTO OTANI,[†] KENZI WATANABE^{††} and HIROKI KONDO^{††}

People's purposes to using the Internet are spreading with the growth and the expansion of the Internet. And their requirements to line qualities such as bandwidth, security levels and so on are diversifying with the advance. On the other hand, lines with various qualities will be provided by ISP in near future, so users can choose line qualities according their purposes. The function of path selection, therefore, is required in such environment. We propose a function of active selection of the path to the destination by users. We implemented the function into the FTP application by using the routing header defined in IPv6 specifications. We also developed the "Support system for quality selection", which supports the selection by providing information on each path, experimentally. This paper describes details of the function and an implementation of the application. We also describe the "Support system for quality selection" briefly.

1. はじめに

インターネットは社会基盤として、企業や学校、一般家庭に急速に普及してきた。この普及とともに、ユーザのインターネットの利用目的が多様化し、インターネット電話やビデオ会議などにも日常的に利用されるようになってきた。この多様化した利用目的に対して、帯域保証やセキュリティの確保といった様々な要求が生じている。

近い将来のインターネットにおいては、インターネットの利用目的に応じた通信品質を選択する方法の実現が重要な課題と考えられる。ここでの通信品質とは、

帯域、セキュリティ、コスト、信頼性などの様々なものが考えられる。

一方、プロバイダなどから提供される通信回線が、帯域やセキュリティのレベルなどの違いにより多様化し、ユーザがその通信回線を選択できるような環境が整いつつある。

そこで我々は、通信品質を選択する方法の1つとして、インターネットを使用するユーザが、インターネットの途中の経路を指定することにより、利用目的に応じた通信の品質を選択できる方法を提案する。この方法で、通信先までに存在する品質の異なる回線の中から、使用したい品質の回線を経由するように経路を指定することで、通信品質の選択を実現する。この方法は、たとえば、通常はこの方法を使用せずにルーティングプロトコルなどに経路を任せて通信をしているが、サイズの大きなファイルをFTPでダウンロードするために広帯域な衛星回線を使用したいといった

[†] 佐賀大学大学院工学系研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saga University

^{††} 佐賀大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Saga University

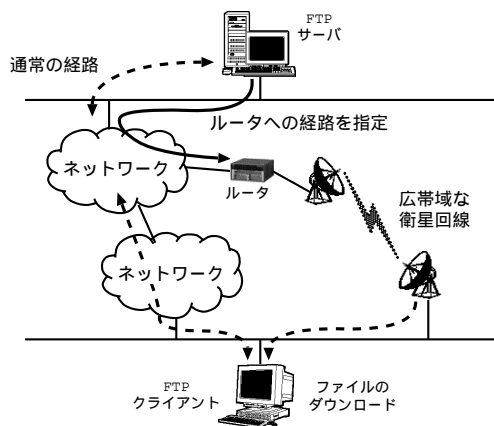


図1 ユーザによる通信回線の選択

Fig. 1 Selection of the path according to the quality of data.

ように、ある特定の通信に対して臨時的に通信品質を変更したい場合に有用であると考え(図1)。

ここで経路の指定方法として、次世代のインターネットプロトコルであるIPv6(Internet Protocol version 6)¹⁾の拡張ヘッダであるルーティングヘッダを使用した。このルーティングヘッダは、回線の始点ノード(たとえば図1のルータ)のIPアドレスを指定することで経路指定が可能である。また相手先への通信経路を厳密に指定する必要がないため、容易に通信回線の選択を実現することが可能である。

我々は、この品質選択の方法を、FTPに実装して検証を行った。また品質選択の支援を目的として、ユーザに通信回線の情報を提供し、品質選択の支援を行う、“品質選択支援システム”の試作を行った。

以下、2章で経路選択アプリケーションの実装について述べ、3章で品質選択支援システムの試作について述べる。4章で経路選択アプリケーションの検証について述べ、5章を考察とし、6章をまとめとする。

2. 経路選択アプリケーションの実現

2.1 経路選択アプリケーションの概要

我々は、複数の通信経路の中からユーザが最適な経路を能動的に選択できる機能をアプリケーションに実装した。この経路選択の機能は、IPv6の拡張ヘッダであるルーティングヘッダを用いて実現した。

この方法では、経由させたいルータなどのノードのIPv6アドレス(以下、アドレスと表記する)を、ルーティングヘッダを用いて指定し、パケットに付加して送り出すことによって経路を選択する。

我々は、FTPアプリケーションにこの経路選択の

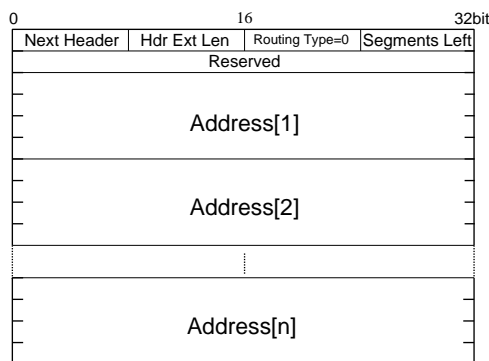


図2 ルーティングヘッダのフォーマット
Fig. 2 Specification of the routing header.

機能を実現した。このFTPアプリケーションは、経路選択機能を内部コマンドと転送パラメータコードを拡張することによって経路選択を実現している。

2.2 ルーティングヘッダによる経路選択機能

ルーティングヘッダは、IPv6の拡張ヘッダとして定義されている。このヘッダの解釈と機能の実装は、IPv6において必須であるため、すべてのアプリケーションはこのヘッダを使用できる。図2にこのルーティングヘッダのフォーマットを示す。

このヘッダに、経路上に存在するノードのアドレスを記述することで、パケットが経由するノードを指定することができる。指定の方法は、最初に経由するノードのアドレスをIPv6の基本ヘッダの相手先アドレスとして記述し、その他の経由ノードと通信先のアドレスを経由する順に、図2に示したAddress[1]の部分から続けて記述する。

このヘッダを使用するための機能をアプリケーションに実装することにより、ユーザが通信経路を能動的に選択することが可能となる。

2.3 経路選択アプリケーションの実装

経路選択可能なFTPアプリケーションの開発には、KAME Project²⁾が公開するIPv6プロトコルスタックを使用し、OSはFreeBSD 2.2.8および3.5を用いた^{3),4)}。

FTPは通信を行う場合に制御コネクションおよびデータコネクションの2つのコネクションを用いる。またこの2つのコネクションに対して、それぞれ送信および受信の合計4つのアクションが存在する。そのため、4つの通信経路に対して、経路選択を可能とした。

2.3.1 送信経路の選択

送信経路の選択に対するユーザインタフェースとして、FTPクライアントの内部コマンド“putroute”を

表 1 putroute コマンドの仕様
Table 1 Specification of the "putroute" command.

コマンド	コマンド		動作および状態		
	引数 1	引数 2	動作	制御	データ
putroute	-	-	表示		
putroute	(経路)	-	設定		
putroute	ctl	-	表示	-	
putroute	data	-	表示	-	
putroute	off	-	設定		
putroute	on	-	設定		
putroute	ctl	(経路)	設定	-	
putroute	ctl	off	設定	-	
putroute	ctl	on	設定	-	
putroute	data	(経路)	設定	-	
putroute	data	off	設定	-	
putroute	data	on	設定	-	
help	putroute	-	コマンドヘルプ		

定義した。このコマンドは、FTP クライアントから FTP サーバに送信するパケットの通信経路の選択、閲覧を行うコマンドである。

表 1 に "putroute" コマンドの仕様を示す。"putroute" コマンドにおける引数の "ctl" および "data" はそれぞれコントロールコネクション、データコネクションの送信経路に関するアクションを示している。これらの引数の指定がない場合は、2 つのコネクションの両方を指定したものとす。

"経路" は経由するノードの名前を、@を区切り文字として順に記述する。たとえばルータ "v6router1", "v6router2", "v6router4" を経由して通信を行う場合は、"@v6router1@v6router2@v6router4" と記述する。

引数の "on" および "off" は、それぞれ設定した経路を一時的に有効、無効にするものである。指定がない場合は、設定している経路情報を表示する。

FTP クライアントは、ユーザから指定された通信経路の情報から、ルーティングヘッダをパケットに付加し、データを送り出す。

2.3.2 受信経路の選択

受信経路の選択に対するユーザインタフェースとして、送信時と同様に内部コマンド "getroute" を定義した。このコマンドは、FTP クライアントが FTP サーバから受信するパケットの経路選択、閲覧を行うコマンドである。表 2 に "getroute" コマンドの仕様を示す。このコマンドにより、制御コネクションおよびデータコネクションのパケットの受信経路の選択、経路情報の参照が可能となる。

しかし、受信時におけるパケットは FTP サーバより送信されるため、受信の経路は FTP サーバがデータ送信時にルーティングヘッダによって指定しなけ

表 2 getroute コマンドの仕様
Table 2 Specification of the "getroute" command.

コマンド	コマンド		動作および状態		
	引数 1	引数 2	動作	制御	データ
getroute	-	-	表示		
getroute	(経路)	-	設定		
getroute	ctl	-	表示	-	
getroute	data	-	表示	-	
getroute	off	-	設定		
getroute	on	-	設定		
getroute	ctl	(経路)	設定	-	
getroute	ctl	off	設定	-	
getroute	ctl	on	設定	-	
getroute	data	(経路)	設定	-	
getroute	data	off	設定	-	
getroute	data	on	設定	-	
help	getroute	-	コマンドヘルプ		

表 3 経路設定に関する転送パラメータコード
Table 3 Specification of the "CROUTE" and the "DROUTE" commands.

コード	引数	経路動作内容
CROUTE	SHOW	制御コネクションの表示
CROUTE	ON	制御コネクションの制御 ON
CROUTE	OFF	制御コネクションの制御 OFF
CROUTE	(経路)	制御コネクションの設定
DROUTE	SHOW	データコネクションの表示
DROUTE	ON	データコネクションの制御 ON
DROUTE	OFF	データコネクションの制御 OFF
DROUTE	(経路)	データコネクションの設定
HELP	CROUTE	コマンドヘルプ内容の要求
HELP	DROUTE	コマンドヘルプ内容の要求

ればならない。そのため FTP クライアントにおいて "getroute" コマンドを用いてユーザから指定された経路情報を、FTP サーバに送信する必要がある。

そこで本アプリケーションでは、FTP において使用される転送パラメータコードを拡張し、"CROUTE" および "DROUTE" の 2 つの転送パラメータコードを定義した。表 3 にこのコマンドの仕様を示す。

"CROUTE" は、制御コネクションの受信経路に関するパラメータであり、"DROUTE" は、データコネクションの受信経路に関するパラメータである。引数 "SHOW" は設定されている経路情報の参照、"ON" および "OFF" は一時的な経路指定の有効、無効を設定するものである。"経路" は、内部コマンドにおいて経路を選択する形式と同様に "@" を用いて記述する。

FTP サーバ上では、クライアントから送信された転送パラメータコードをもとに経路の設定を行い、その結果を FTP クライアントに応答する。

この応答のために、FTP プロトコルで定義されている応答コードを拡張して、経路選択に関するパラメータに対する応答について、経路情報の設定の成功およ

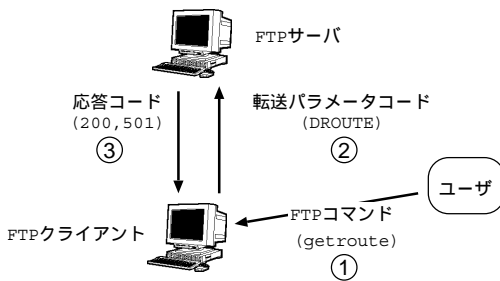


図 3 データ受信経路設定時の動作

Fig. 3 Operation to set up a receiving path.

```

% ftp v6host1
Connected to v6host1
220 v6host1 FTP server (Version 6.00) ready.
Name (otani):
331 Password required for user
Password:
230 User otani logged in.
Remote system type is UNIX.
Using binary mode to transfer files.
ftp> getroute data @v6router1@v6router2
200 DROUTE set data route ->
      'v6router1@v6router2' command ok.
ftp>

```

図 4 FTP の経路指定例

Fig. 4 An example of the operation to set up the path.

び失敗の 2 つを定義した。経路情報の設定が成功した場合は応答コードとして“200”，および設定した経路情報をメッセージとして FTP クライアントに送信する。経路設定に失敗した場合はコードとして“501”および、設定に失敗した経路情報をメッセージとして FTP クライアントに送信する。

図 3 にデータ受信における経路設定の際のクライアントおよびサーバの動作を示す。ユーザが“getroute”コマンドで受信経路の設定を行うと（図 3 ①），FTP クライアントは、その経路情報を転送パラメータコードを用いて FTP サーバに送信する（図 3 ②）。最後に FTP サーバは、その経路設定の結果を応答コードを用いて FTP クライアントに返信する（図 3 ③）。

また図 4 は、実際に上記のコマンドを用い、データコネクションにおける受信の経路を指定した際の FTP の出力例である。この例では、データの受信時における経路のみ“v6router1”および“v6router2”の 2 つのルータを経由するように指定している。

3. 品質選択支援システムの試作

経路選択アプリケーションで、ユーザは能動的に経路の選択が可能となった。しかしこの方法は、経路を選択する際に、通信回線の始点ノードを明示的に指定

する必要があるため、通信経路の品質の把握していない一般のネットワーク利用者に対しては、ユーザが望む品質の経路をユーザに提示するなどの支援を行う必要がある。そこで我々はユーザに対する品質選択の支援を目的とした“品質選択支援システム”の試作もあわせて行った。この品質選択支援システムは、ネットワークの管理者が把握している範囲の品質情報をユーザに提供するものである。ユーザは、品質選択支援システムを利用することによりネットワークの構成を把握することなく通信品質の選択が可能となる。

本章では、この品質選択支援システムの機能や、実装の概要について述べる。

3.1 品質選択支援システムの機能

品質選択支援システムは、通信回線の品質を把握していないユーザに対して、通信回線の品質情報を提供し、通信回線の選択の支援を行うシステムである。現バージョンの品質選択支援システムでは、ネットワーク管理者が把握している範囲の品質情報を、管理者自身が静的に設定する。設定内容は、通信元および通信先のアドレス、回線品質、その回線に至るまでの経路、アプリケーションの種類といった情報である。ユーザは、経路選択アプリケーションを使用し、経路選択支援システムから提供される品質情報の中で、自分の利用目的にあった品質を選択することにより、通信品質を選択する。

3.2 品質選択支援システムの実装

我々は品質選択支援システムを、FreeBSD 上で開発を行った。品質選択支援システムは、経路選択アプリケーションと TCP/IP を用いて情報の交換を行い、以下の手順で動作する。(1) 経路選択アプリケーションは、品質情報を取得するために、送信元および送信先アドレス、アプリケーションの情報を、品質選択支援システムに送信する。(2) 品質選択支援システムは、使用可能な品質の情報を経路選択アプリケーションに返信する。(3) その中からユーザが利用したい通信品質を選択すると品質選択アプリケーションは、それを品質支援システムに送信する。(4) 品質選択支援システムは、その通信品質を満たす経路を返信する。

品質選択支援システムの設定例を以下に示す。たとえば、図 5 のようなネットワークが存在した場合、ネットワーク管理者は表 4 に示すような品質情報を品質選択支援システムに設定する。また通信元および通信先には、ネットワークアドレスを記述することが可能である。

3.3 節ではユーザが通信品質を選択した際のシステムの動作を、3.4 節では経路選択アプリケーションの

表 4 品質選択支援システムの設定例

Table 4 An example of a configuration table for the selection.

通信元	通信先	品質	経路	アプリケーション
2001:200:160:1::/64	2001:200:160:2::/64	broadband	@router1@router2	FTP
2001:200:160:1::/64	2001:200:160:2::/64	secure	@router3	SMTP

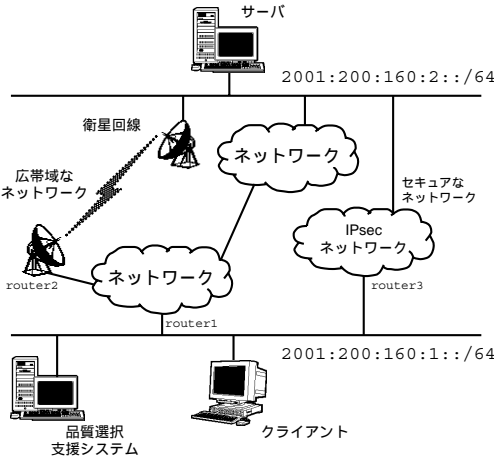


図 5 ネットワークの構成例
Fig. 5 An example network.

拡張について述べる。

3.3 品質選択支援システムの動作

図 6 に品質選択支援システムを用いて通信を行った例を示す。この例では、“host1” から “host3” に対して FTP を行う際に、送信経路は高速な通信経路、受信経路は広帯域の通信経路を通るような経路を品質選択支援システムに問い合わせ、通信を行った例である。まず FTP クライアントは、ユーザから指定された品質の要求と、通信先の情報、アプリケーション情報を品質選択支援システムに送信する(図 6 ①)。次に品質選択支援システムは、要求された品質に合わせた経路情報を応答する(図 6 ②)。FTP クライアントは、受け取った経路情報を使用して、通信を行う(図 6 ③)。

3.4 FTP クライアントの拡張

品質選択支援システムを利用するためには、FTP クライアントにおいて、品質選択支援システムから経路情報を取得する機構を実装する必要がある。そこで、2.3 節で述べた “putroute”, “getroute” コマンドを、さらに拡張した(表 5)。

品質選択支援システムは、この 2 つのコマンドに “server” 引数が渡されると、クライアントから自動的に送信される通信先ホスト、アプリケーション名の情報から適切な経路情報を判断し、その情報をクライ

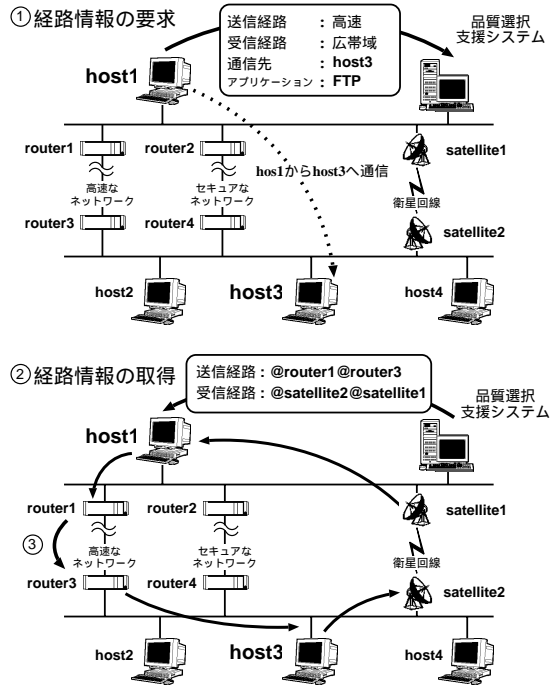


図 6 品質選択支援システムを用いた通信例

Fig. 6 An example to use the support system for quality selection.

表 5 品質選択支援システムのためのコマンド拡張

Table 5 Extension of commands for the support system for quality selection.

コマンド	コマンド			動作および状態
	引数 1	引数 2	引数 3	
putroute	server	-	-	設定
getroute	server	-	-	設定
putroute	server	(品質)	-	設定
getroute	server	(品質)	-	設定
putroute	ctl	server	(品質)	設定
getroute	ctl	server	(品質)	設定
putroute	data	server	(品質)	設定
getroute	data	server	(品質)	設定
qput	(品質)	(filename)	[(filename)]	設定, 送信
qget	(品質)	(filename)	[(filename)]	設定, 受信

ントに回答する。また引数に “品質” (たとえば minimum delay など) を加えると、この条件に適合する経路情報を応答する。

また “qput”, “qget” コマンドは、要求した品質を満たす経路が応答された後、それを受け取った FTP クライアントがただちに目的のファイルの送受信を行う。

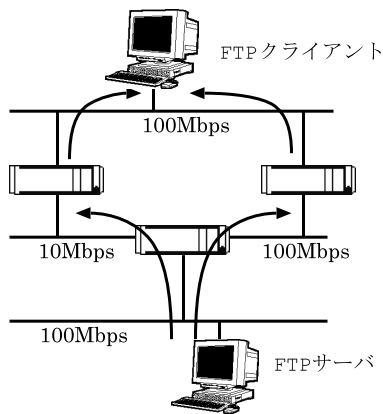


図7 実験ネットワークの構成図

Fig. 7 The topology of the experimental network.

4. 検証実験

2章で述べた経路選択アプリケーションが正確に経路の指定が実現できていることを、パケットのモニタリングを行い確認するとともに、帯域の異なる通信経路を持つ実験ネットワークを構築し、経路選択の有用性を検証した。また、ルーティングヘッダを使用する際のオーバーヘッドについての検証も行った。

4.1 経路選択の有用性

作成したアプリケーションの経路選択の有用性を検証するために図7に示すネットワークを構築した。このネットワークは、FTPクライアントとサーバの間には3つのルータが存在し、通信帯域が10Mbpsおよび100Mbpsという2つの通信経路を作成している。ここでデフォルトの経路として10Mbpsの通信経路を設定し、本アプリケーションを使用して経路制御を行った場合にのみ100Mbpsの通信経路を使用可能な構成とした。

図8に、実験ネットワークにおいて、10Mbpsの通信経路を使用した通信と、本システムを用いて経路指定した通信のスループットの違いを示す。試行回数はそれぞれ10回である。

図8が示すように、デフォルトの経路ではなく、経路選択アプリケーションを使用し広帯域の通信経路を選択した方がスループットの値が大きいことが分かる。この結果は、経路選択アプリケーションにおいて、ユーザからの経路選択が正確に機能していることを示している。

4.2 ルーティングヘッダのオーバーヘッド

経路を指定してデータを送信する場合、ルーティングヘッダが拡張ヘッダとしてIPv6ヘッダに付加され、各ルータやエンドノードで処理される。このため、ルー

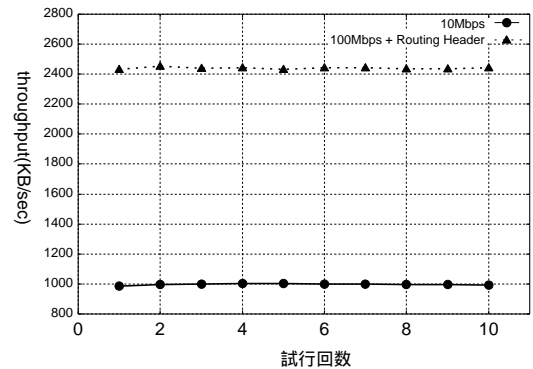


図8 スループットの比較

Fig. 8 The throughput of both paths.

表6 経路指定数の違いによる転送時間の変化

Table 6 The average transmission time depends on the number of specified paths.

経路指定数	平均転送時間(秒)
0	20.28
1	20.93
2	20.98
3	21.11
4	21.17

ティングヘッダを用いない場合と比べ、若干のオーバーヘッドが生じると考えられる。そこで本アプリケーションを用いて、通信帯域や経路指定数などの違いによる転送時間の計測を行った。

表6に、100Mbpsイーサネットのネットワークにおいて、50MBのデータを受信経路のみ経路制御を行って受信した際の、経路指定数の違いによる平均転送時間を示す。試行回数はそれぞれ10回である。

この計測結果から、ルーティングヘッダの有無が、転送時間に平均0.65秒、経由するルータが1つ増加すると平均0.08秒程度の影響しか与えていないことが分かる。よってルーティングヘッダのオーバーヘッドは、データの転送時間と比べ十分小さな値であるといえる。また回線の帯域を変えた実験から、ルーティングヘッダの影響は、通信回線の帯域が多くなるにつれて減少することも確認できた。これら結果から、ルーティングヘッダが通信に与える影響は、今後のネットワークの高速化も考えると十分許容できるものであるといえる。

以上、4.1および4.2節で述べた検証により、アプリケーションからの能動的な経路選択の方法において、ルーティングヘッダを用いることは有効な手法であると考え⁵⁾。

しかし今回検証を行ったネットワークは、すべてPCルータを使用した。このPCルータは、ルーティング

ヘッダを含めたパケットの処理を、すべてソフトウェアで処理している。一方、近年のネットワークの大容量化にともない、パケットの処理の一部、またはすべてをハードウェアで行う高速ルータ専用機も登場している。このようなルータ専用機が、拡張ヘッダの付加されていないパケットをハードウェアで高速に処理し、拡張ヘッダであるルーティングヘッダを含むパケットをソフトウェアで処理するといった場合、PCルータと転送速度などに差が生じる可能性がある。

5. 考 察

近年、インターネットの実用性と配送の信頼性を高めるために、特定のユーザやアプリケーションのデータ配送ポリシーを選択的に保証するメカニズムに関する研究が広く進められている。そのアプローチの方法としては DiffServ (Differentiated Services⁶⁾、⁷⁾ や米パケットシャパ社の PacketShaper⁸⁾ などといったものがある。

DiffServ は、資源の管理ポリシーをもとに、ネットワークトラフィックをクラス分けし、各クラスに帯域などのネットワーク資源を割り当てる。高いサービス品質を求めるアプリケーションには優先順位の高いクラスを割り当てることにより、大まかな QoS 制御を行うものである。

また PacketShaper は、ネットワークのトラフィックを監視し、パケットの優先度を管理することによって、各アプリケーションが使うネットワークの帯域を制御するものである。

一方、我々が提案する方法は、途中の経路を指定することにより、通信回線の品質を提供しようとするものである。一般にインターネットにおいて、あるサイトからあるサイトまでデフォルトで設定される経路が、ユーザに最適な品質を与える経路であるとは限らない。我々の提案する方法は、このような場合に複数の経路の中からユーザ自身が経路を選択することにより、ユーザとアプリケーションにとって最適な品質の選択を可能にしようとするものである。この方法では、たとえば図9のように、あるサイトからあるサイトの間に部分的に DiffServ や PacketShaper になどのよって管理された通信回線が存在した場合に、その回線を部分として含む経路を選択し、通信元から通信先までの品質を与えるのに利用することができる。すなわち我々の提案する方法は、DiffServ などによって提供される品質の回線を部分として包含し、ユーザに end-to-end な回線品質の提供を目指すものである。

その他に配送ポリシーを一元的に管理する COPS

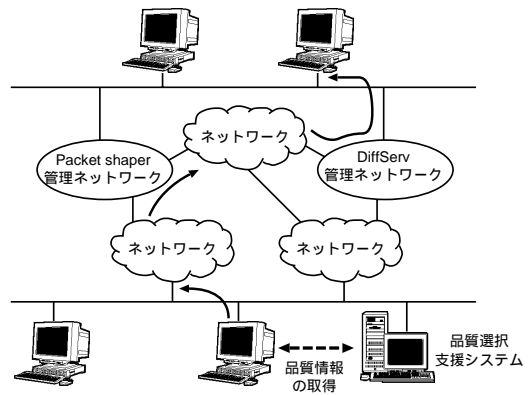


図9 ポリシーの管理されたネットワークでの利用

Fig. 9 An example of the use in combination with other methods.

(Common Open Policy Service⁹⁾)の研究も進められている。この COPS は一元的に管理されたポリシー情報と各ノード間でポリシー制御情報を交換をするプロトコルで、ノードからの帯域予約要求などの問合せに対して、許可・拒否の判断を行うものである。本研究で試作した品質選択支援システムは、通信経路の品質情報を保持しその情報をユーザに提供する。今後は、この品質選択支援システムと COPS を連携し、配送ポリシーの管理を行うことも可能であると考えられる。また品質の選択を行う際に、利用料金の必要な回線を選択する可能性が考えられる。たとえば、ある高速なネットワークを特定の時間のみ料金を支払うことによって使用可能になるといった課金のモデルが存在した場合、技術的には、このモデルに対応するためのプロトコルを品質選択支援システムに組み込むことによって対応可能であると考えられる。

一方、ユーザからの経路選択のアプローチとして、IETF (Internet Engineering Task Force) の SDR (Source Demand Routing) 分科会において研究が行われ、SDRP (Source Demand Routing Routing) と呼ばれるプロトコルが定義されている¹⁰⁾。このプロトコルは、インターネットの制御ドメイン間で、管理ポリシーに依存する経路制御を行うプロトコルである。このプロトコルは、ルーティングヘッダと同様に、経路ノードのアドレスリストを SDRP の経路制御ヘッダに記述することによって経路の制御を行うことが可能である。また SDRP の経路制御ヘッダに多くのポリシー制御の情報を含めることも可能で、より複雑な経路制御が可能である。IPv6 のルーティングヘッダは、タイプフィールドの値を指定することによって様々な経路制御方式に対応が可能になっているが、現在のと

ころ, SDRP は採用されていない. 今回我々は, ルーティングヘッダのタイプフィールド “0” として定義されている, ヘッダに経由ノードのアドレスを記述し経路指定を行う方法を用い, 品質選択を実現した.

今回, 品質選択が可能なアプリケーションとして FTP を用いて検証を行ったが, 現在のインターネットの利用状況を見ると, 電子メールや, WWW (World Wide Web) や VoIP (Voice over IP) などのストリーム系のアプリケーションなどについても考える必要がある. 近年, 電子メールや WWW などのアプリケーションはセキュリティ, ストリーム系のアプリケーションは帯域を必要とするようになってきており, 経路による品質の選択は有効であると考えられる. 実装については, 個々のアプリケーションに機能を組み込むことも考えられるが, プロキシサーバを作成し, ルーティングヘッダを付加することも可能であると考えている.

6. おわりに

近年の急速なインターネットの普及により, 現在のコンピュータネットワークは, 様々な品質やサービスの回線が入り組んだネットワーク環境となりつつある. このような背景から, 次世代のインターネット環境においては, アプリケーションを使用するユーザが, 通信に要求する品質に応じて通信経路を能動的に選択できるシステムが必要であると考えられる. そこで我々は, IPv6 のルーティングヘッダを用いた, 通信経路の選択が可能なアプリケーションの実現および検証を行った. またユーザの経路指定の支援を目的として, それぞれの経路の品質情報を提供し, 容易な経路選択を可能にする “品質選択支援システム” の試作も行った.

今後は, このシステムについて広域なネットワークでの検証を行うとともに, 品質選択支援システムの機能の充実を図っていく予定である.

参考文献

- 1) Deering, S. and Hinden, R.: Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, Request for Comments 2460 (Dec. 1998).
- 2) KAME Project. <http://www.kame.net>
- 3) Stevens, W. and Thomas, M.: Advanced Sockets API for IPv6, Request for Comments 2292 (Feb. 1998).
- 4) Stevens, W. and Thomas, M.: Advanced Sockets API for IPv6, draft-ietf-ipngwg-2292bis-01.txt (Dec. 1999).
- 5) 大谷 誠, 津田伸秀, 渡辺健次, 近藤弘樹: IPv6

におけるルーティングヘッダを用いたアプリケーションの実現とその検証, 情報処理学会第 60 回全国大会 (Mar. 2000).

- 6) Nichols, K., Blake, S., Baker, F. and Black, D.: Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers, Request for Comments 2474 (Dec. 1998).
- 7) Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z. and Weiss, W.: An Architecture for Differentiated Services, Request for Comments 2475 (Dec. 1998).
- 8) Packeteer inc.. <http://www.packeteer.com>
- 9) Durham, D., Boyle, J., Cohen, R., Herzog, S., Rajan, R. and Sastry, A.: The COPS (Common Open Policy Service) Protocol, Request for Comments 2748 (Jan. 2000).
- 10) Estrin, D., Li, T., Rekhter, Y., Varadhan, K. and Zappala, D.: Source Demand Routing: Packet Format and Forwarding Specification (Version 1), Request for Comments 1940 (May 1996).

(平成 13 年 5 月 7 日受付)

(平成 13 年 10 月 16 日採録)



大谷 誠 (学生会員)

昭和 50 年生. 平成 10 年佐賀大学理工学部情報科学科卒業. 平成 12 年同大学大学院工学系研究科博士前期課程情報科学専攻修了. 現在同大学院工学系研究科博士後期課程システム生産科学専攻在学中. インターネットの研究に従事.



渡辺 健次 (正会員)

昭和 39 年生. 昭和 62 年佐賀大学理工学部物理学科卒業. 平成元年同大学大学院理工学研究科物理学専攻修士課程修了. 同年同大学情報処理センター助手. 平成 5 年和歌山大学経済学部産業工学科講師. 平成 8 年同大学システム工学部情報通信システム学科講師. 平成 10 年同助教授. 平成 11 年佐賀大学理工学部知能情報システム学科助教授. 博士 (工学). 知的教育システム, インターネット, 分散システム運用技術の研究に従事. 人工知能学会, 教育システム情報学会, 日本教育工学会各会員.



近藤 弘樹(正会員)

昭和 16 年生．昭和 39 年名古屋大学工学部電子工学科卒業．昭和 44 年同大学大学院博士課程修了(物理学専攻)．博士(理学)．佐賀大学理工学部知能情報システム学科教授．

知的教育システム，インターネットの教育への応用について研究．教育システム情報学会，日本教育工学会，人工知能学会，日本科学教育学会，IEEE-CS，ACM，AAAI 各会員．
