

次世代インターネットのためのアクティブネットの ルート設定方法と ANTS の拡張方法

渥美 幸雄[†] 高橋 修[†]
西 正博^{††} 吉田 彰顕^{††}

インターネットサービスの多様化・高度化に向けた次世代インターネットの構築技術の有力候補としてアクティブネット技術がある。アクティブネットの機能を有するアクティブルータがネットワーク内に広く導入展開されるまでには時間を要し、既存ルータとアクティブルータの混在を想定したアクティブネットの適用技術が重要である。本論文では、アクティブルータと既存ルータ混在時のアクティブルータのルーティング情報の設定方法の基本方式を述べた後、移動体のためのモバイル IP を使用する場合の拡張方法を示す。次に、アクティブネット・プラットフォームである ANTS の拡張方法を提案する。モバイル端末への適用性向上のために、クライアント側の保持プログラムコード量を削減可能とし、またアクティブルータにおけるオンデマンド・ローディングのコード要求方向の指定を可能とする。また、サービスシステム構築に向けて、複数アプリケーション動作環境の提供のためにアプリケーションの起動・停止を行う状態管理機能を設ける。そして、情報配信/集配の具体例であるオンラインクイズのためのアプリケーション・プロトコルを設計し、上記の提案方式とともに ANTS への実装と評価結果を述べる。

A Route Establishment Method in Activenet and Enhancement of ANTS for Next Generation Internet

YUKIO ATSUMI,[†] OSAMU TAKAHASHI,[†] MASAHIRO NISHI^{††}
and TERUAKI YOSHIDA^{††}

Active network technology is a promising candidate for the next generation internet realizing diversified and advanced internet services. As widely deployment of active routers executing activenet functions in the internet needs a long time, various migration methods for co-existence environment of active and non-active routers are important. We propose a basic discovery method of active routers on heterogeneous network environments and an extension method on mobile IP. Next we propose enhanced methods for activenet platform ANTS. In order to improve the applicability to mobile terminal, the proposed methods are able to reduce the volume of program code at client terminal and specify the direction of demand loading at active router. An application management function that start and stop applications is added to provide running environment for more than one application in the server. We design an application service protocol for online quiz as an example of multicast and multicollect service and describe implementation results of these proposed methods.

1. はじめに

次世代のインターネット技術として、ルータでアプリケーションレベルまでの処理を可能とし、またユーザがネットワーク動作をプログラム可能とするアクティブネット (AN) の概念が 1994 年に DARPA で

提案され以来、アクティブルータでの処理方式、既存ルータ (IP レイヤ、すなわち OSI レイヤ 3 までの処理を行うルータのこと) との混在における最適配置等のネットワーク的観点からの適用方式、個別の具体的な応用、の 3 つの角度から種々の研究開発が進められている^{1)~7)}。AN の技術的背景の 1 つは、プロトコル仕様の変更や新規プロトコルの標準化と普及展開に時間を要する現状を打破しようというものであり、インターネットサービスの多様化・高度化へ向けた、システム構築技術として有望なものと考えられている。

アクティブネットの機能を有するアクティブルータ

[†] 株式会社 NTT ドコモマルチメディア研究所
NTT DoCoMo, Inc. Multimedia Laboratories

^{††} 広島市立大学情報科学部
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City
University

(AN ルータ)がネットワーク内に広く導入展開されるまでには時間を要し、長期間にわたり、AN ルータと単にパケットの転送機能のみを有する既存ルータとの混在を想定したアクティブネットの適用技術が重要である。具体的な課題の1つは、AN の効果が高くなるような AN ルータの配置方法であり、具体例として信頼性マルチキャストを実現する AN ルータの配置や割合に関する研究がある^{8)~10)}。もう1つは、エンド端末から見て AN ルータがどこにあるかのルーティング情報の取得である。エンド(クライアント,サーバ)および AN ルータでは、隣接 AN ルータの位置と経路に関するルーティング情報が必要であり、現状では事前に設定しておく必要がある。AN の実験ネットワークである ABONE¹¹⁾では AN ルータであるコアノードとユーザ端末であるエンドのエッジノードから構成され、エッジノードは接続時にコアノードから AN アドレスの割当てを受ける。コアノードのアドレス割当てとルーティングテーブルの設定は静的に行われる。

ユーザがルータの動作をプログラマブル化する手法、すなわち AN ルータの処理方式としては、パケットにユーザデータとともに簡単なプログラムコードを付加し、本プログラムをルータで実行するタイプと、ルータにあらかじめエンドユーザのサービス・プログラムを設定しておき、ルータは本サービスにかかわるパケットの受信時に対応する処理を行うタイプに大別される⁴⁾。後者のタイプに近い代表例として、MIT で研究開発された ANTS^{12),13)}があり、AN 技術を用いたマルチキャストプロトコルの実装に ANTS を使用した適用例^{14),15)}があるが、ANTS そのものの十分な評価はなされていない。

以上のことから本論文では、まず、AN ルータと既存ルータ混在時において AN ルータを探索して、宛先までの AN ルータのルーティング情報を設定するルート設定方式を提案する。また、インターネット利用のモバイル化に向けて AN の広範な普及のため、モバイルのための通信手段であるプロトコルと PDA/携帯端末の端末能力の2つの点からとらえた拡張方式を示す。具体的には、モバイルのためのレイヤ3プロトコルであるモバイル IP を対象としてルート設定方式を拡張し、また現 ANTS の方式では端末でもルータ処理のプログラム保持が必要なことから、端末能力としてメモリ量が少ない PDA/携帯端末への適用性向上を考慮して所要メモリ量を削減できる ANTS の拡張方式を提案する。そして、具体的サービス例としてオンラインクイズを想定して、情報配信/集信のためのアプリケーションプロトコルを設計し、上記の提案方式と

もに ANTS への実装と評価結果を述べる。

以下、2章で検討の前提条件とモデルを述べる。3章では、宛先に向けたルート上の隣接 AN ルータを探索し、そのアドレス情報を取得するための基本的なルート設定方式および移動体を対象とするモバイル IP を使用する場合の拡張方法を示す。そして4章で、クライアント端末のメモリ量削減とサーバ上での複数アプリケーション動作管理のための ANTS の拡張方式を提案する。5章にて上記のルート設定方式と ANTS 拡張方式の評価のための具体的サービス例としてオンラインクイズを対象に、AN の有効な適用分野である情報配信/集信(マルチキャスト/マルチコレクト)のための AN ルーティングテーブル設定方法、既存の IP マルチキャスト機能の利用法、およびアプリケーションプロトコルを述べる。そして、ANTS での実装と評価結果を6章にて示した後、まとめと今後の課題を最後に述べる。

2. 前提条件とモデル

アクティブネットの代表的な形態は現状のインターネットプロトコルを前提として、UDP/IP プロトコルの上位に ANEP (Active Network Encapsulation Protocol)⁶⁾を用いて、現状のインターネット上にその機能を拡張した形で実現される。AN ルータ間を UDP 通信によりアクティブパケットが転送されることになる。本論文においてもこの形態を前提とする。本論文で想定する AN ルータは、IP レイヤまでを実現する既存ルータにアクティブネットのための実現機能を追加包含したものとす。AN ルータでは、受領したパケットが既存パケットなら IP 処理のみを行い、AN パケットなら AN 処理を行う。AN 技術は時間をかけてインターネットに導入されることから、既存ルータが順次 AN ルータに置き換えられことを想定し、したがって、AN ルータは宛先へのルート上、すなわち IP ルーティングでのルート上に適切に配置されているものとする。ある端末から見ると、宛先への IP ルーティングの経路上にない AN ルータは利用しないことになる。AN アドレスやポートの識別子等は以下のとおりであり、これを含めた論理モデルを図1に示す。

(a) UDP ポート: アクティブネット用の Registered Ports として割り当てられている特定番号(3322~3325)から選択して使用する。

(b) AN アドレス: アクティブノードの識別情報であり、IP アドレスとは本来独立であるが、割当て容易化を考慮して、AN ルータの IP アドレスを流用する。また、ルータでは複数デバイス(IP アドレス)を有

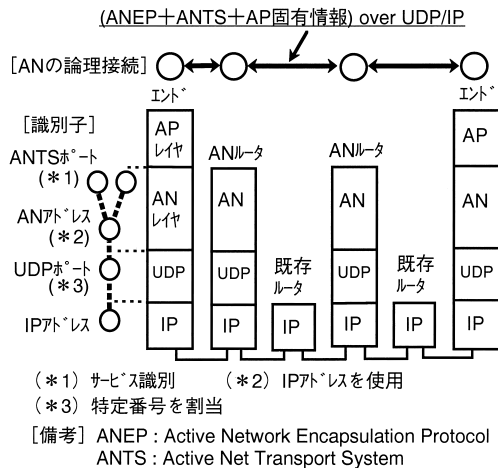


図1 検討モデル
 Fig.1 Basic model.

するので、そのうちの1つを代表としてANアドレスに用いる。

(c) ANTSポート：ANTSで定めているアプリケーション(AP)対応のサービス識別用のポートである。

3. ANルータ設定方式

3.1 ANルータの探索の基本方式

ANルータと既存ルータが混在するネットワーク環境において、送信元クライアントから宛先サーバまでのANルータを探索し、ルーティング情報を取得・設定する方式について述べる。

(1) 送信元クライアント

送信元のクライアントは、宛先サーバへのルート上の直近のANルータの位置が不明なので、IPおよびANヘッダの宛先アドレスにサーバアドレスを設定し、またUDPポート=特定番号としたルート設定要求パケット(RouteEntry)を送信する。

(2) ANルータのIPモジュール

ANルータのIPモジュールでは、宛先IPアドレスが自ノードアドレスでなく、プロトコル種別=UDPで、UDPポート番号=特定番号の場合には、ANパケットと判断する。そして、IPの宛先を自ノードに変更し、ANパケットであるとして上位のANモジュールへ引き渡す。このとき、IPヘッダのアドレスを変更するのでチェックサムの再計算が必要となる。すなわち、UDPヘッダのチェックサムは、パケット送信側において、UDPのデータ部とヘッダ部、およびIPアドレス等からなる疑似ヘッダ情報から生成されるので、疑似ヘッダの宛先IPアドレス変更にもともなう修正が必要となる。

なお、ANパケットの検出方法として、IP optionによる方法¹⁵⁾があるが、ANルータのみならずエンドのIPモジュールの対処も必要となるので望ましくない。

(3) ANルータのANモジュール

(A) ルート設定要求RouteEntryを受信

本ANパケットの受信により、前段のANルータ(またはクライアント)に向けた下りルートについてANルーティング情報を取得できる。

(i) ANルーティングテーブル(宛先ANアドレス、隣接ANアドレス、出方路の項目で構成)に宛先ANアドレスに一致するエントリがあるかチェックし、有なら(ii)へ、無なら(iii)へ。

(ii) 下り方向のエントリを設定(宛先ANアドレス=クライアントのANアドレス、隣接ANアドレス=直前の隣接ANアドレス)するとともに、ルート設定応答パケット(RouteEntryR)を作成して(隣接ANアドレス=自ANアドレスとする)、返送する。

(iii) 仮登録テーブルに宛先ANアドレス、発信ANアドレス、下り隣接ANアドレスを登録する。また、ルート設定要求パケットの隣接ANアドレス値を自ANアドレスに変更して宛先に向けて送信する。

(B) ルート設定応答RouteEntryRを受信

自ノードからサーバ(またはANルータ)に向けた上りルートについてANルーティング情報を取得できる。仮登録テーブルで宛先ANアドレス=発信ANアドレスとなるエントリを見つけ、ANルーティングテーブルに次のエントリを設定する。

上り方向：

宛先ANアドレス=発信ANアドレス、
 隣接ANアドレス=隣接ANアドレス

下り方向：

宛先ANアドレス
 =仮登録テーブルの発信ANアドレス、
 隣接ANアドレス
 =仮登録テーブルの隣接ANアドレス。

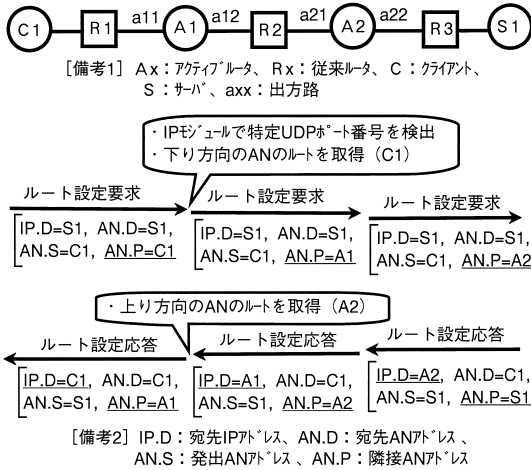
(4) 宛先サーバのANモジュール

宛先サーバがルート設定要求パケットRouteEntryを受信すると、最終宛先=送信元クライアントとしたルート設定応答パケットRouteEntryRを前段のANルータに送信する。

以上の手順の例を図2に示す。

3.2 モバイルIP適用時の拡張方法

前節のルート設定方式は有線の固定環境を想定したものであるが、本節ではモバイルIP¹⁷⁾を適用した移動端末(MH)での拡張方法を提案する。本論文でのANはUDP上での構築を前提とするため、MHと直



ANルーティングテーブル (A1)

宛先ANアドレス	隣接ANアドレス	出方路	方向
S1	A2	a12	上り
C1	C1	a11	下り

ANルーティングテーブル (A2)

宛先ANアドレス	隣接ANアドレス	出方路	方向
S1	S1	a22	上り
C1	A1	a21	下り

図2 ルート設定手順例

Fig. 2 Example of route establishment procedures.

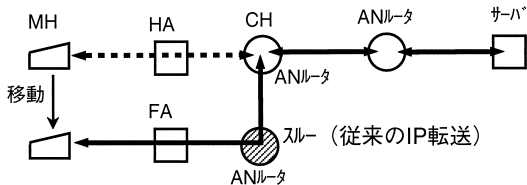


図3 モバイルIP適用時の経由ANルータの維持

Fig. 3 Route preservation of active routers on mobile IP.

接通信する AN ルータは、モバイル IP の観点から見ると、相手ホスト (CH) に相当することになる。AN ルータにおいてフロー (コネクション) の状態情報を引き継ぎながら処理を進めるような場合 (例: オンラインクイズでの回答状況の把握) には、MH の移動後においても最初に設定された AN ルータ間のチェーンの維持が必要となる (図 3)。前節で述べた基本方式では、MH の移動にともない新たなルート上に別の AN ルータが存在すると、AN パケットは UDP ポート番号が特定番号であるため AN モジュールへ通知されるが、対応する状態情報が不在ため異常処理となってしまう。

これに対処するため、ルート設定要求パケットとそれ以外の AN パケットで UDP ポートの特定番号を変える。ルート設定要求パケット用はポート #A (3323)、それ以外のパケット用はポート #B (3322) とする。AN

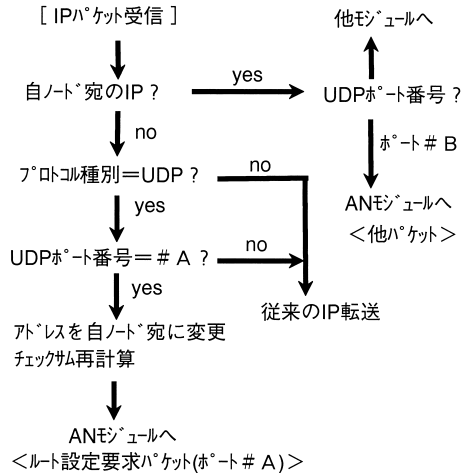


図4 ANパケット検出対応のIPモジュール処理

Fig. 4 IP processing for detecting active packet.

ルータの IP モジュールでは、宛先 IP アドレスが自ノードアドレスでなく、プロトコル種別=UDP、かつ UDP ポート番号=ポート #A の場合には、IP の宛先を自ノードに変更し、上位の AN モジュールへ引き渡す。しかし、UDP ポート番号=ポート #B の場合には、従来の IP 処理と同様に宛先 IP アドレスに従ったルーティングを行う (図 4)。

4. ANTS の拡張方式

4.1 ANTS の概要

ANTS (Active Node Transport System) は MIT で開発され、AN ルータに任意のプロトコル処理プログラムを実装できる、Java 言語で記述されたアクティブネットのプラットフォームである。なお、開発者の異動により最新版はワシントン大学よりリリースされている¹³⁾。

(1) ANTS の基本処理方式 (図 5)

ANTS のプログラム・ローディング方法の考え方は、受信したカプセル (パケット相当) の処理プログラムがルータにない場合には、送信元の方に対してカプセルコード配送要求 (DL Request) を行うというものである。送信側ノードは本カプセルを受信すると、対応するプログラムをカプセルコード配送応答 (DL Response) にて配送する。受領したプログラムコードはコードキャッシュと呼ぶキャッシュ領域に格納され、LRU (Least Recently Used) 方式により領域管理が行われる。

(2) カプセルの階層構成と識別チェック (図 6)

プログラムコードは、プロトコル、コードグループ、カプセルコードの 3 階層で構成され、改ざんの防止を

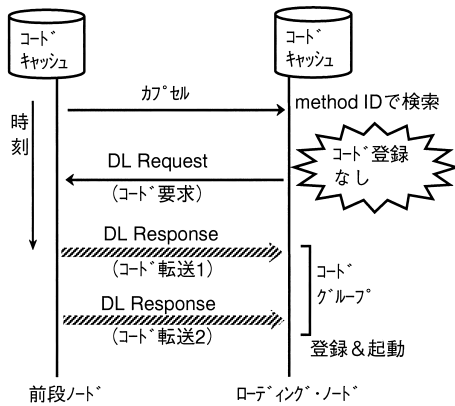


図5 ANTSのプログラムコード転送
Fig. 5 Program loading on ANTS.

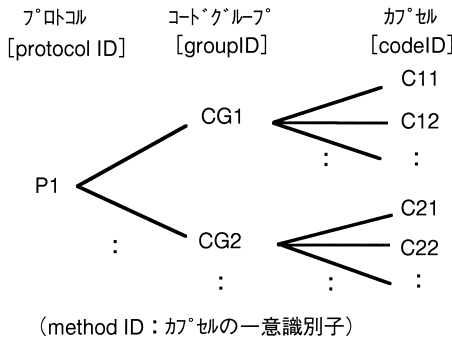


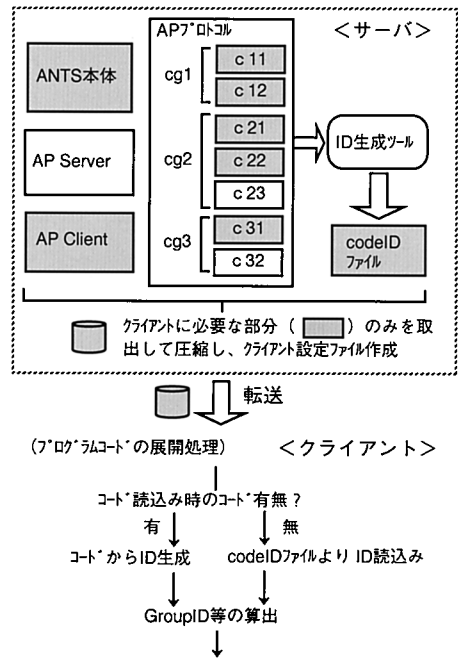
図6 カプセルの階層構成とID

Fig. 6 Capsule composition hierarchy and identifier.

図するため MD5 (Message Digest 5) により生成された ID を持つ .

カプセルコードは 1 つのカプセル処理に対応した基本単位であり、カプセルコードから MD5 により生成される codeID で識別する . コードグループは関連するカプセルコードの集合で、コード 配送時の単位であり、配下の codeID から MD5 により生成される groupID で識別する . プロトコルは複数のコードグループから構成され、配下の groupID , codeID から MD5 により生成される protocolID で識別する . また、カプセル種別を一意に識別するための MethodID があり、protocolID , groupID , codeID から MD5 により生成する .

カプセルコード 配送応答によりコードグループに属する全カプセルコードが集まると、カプセルコードのバイト列から、protocolID , groupID , codeID , methodID が MD5 によって算出され、送られてきた各 ID と一致するかチェックする . エンドであるクライアント端末においても、初期設定処理において上記の ID チェックを行う .



[備考] cxx : コード、cgxx : コードグループ

図7 クライアント所要コード転送

Fig. 7 Program downloading for client.

4.2 モバイル端末への適用性向上方式

AN の広範な普及を図るためにはモバイル端末 (PDA , 携帯を含む) への適用性向上が必要である .

4.2.1 クライアント 所要コードのみ保持の対処

ANTS ではエンド (サーバ , クライアント) は、AN ルータで必要となるカプセル処理プログラムをすべて保持していることを前提としている . しかし、モバイル端末によるクライアントでは、メモリ量の制約があるため不要なプログラムの保持は回避したい . クライアントが必要コードのみを保持するためには、前節で示したプログラムコードの ID チェック方法への対応が必要となる .

このためサーバ側に、クライアントに必要なプロトコルの全 codeID を算出して ID ファイルに書き出す ID 生成ツールを設ける . そして、ANTS 本体のモジュールとともに、ID ファイルを含めたクライアント設定ファイルを作成する . クライアント側では、カプセルコードのファイル読み込み時、コードが存在しない場合、カプセルコードから codeID を算出するかわりに ID ファイルから読み込む (図 7) .

4.2.2 コード 要求転送方向の拡張

現 ANTS 仕様では AN ルータにおいて、受信カプセルの対応処理プログラムコードがない場合には、カプセル送信元の方へコード要求する . しかし、前述

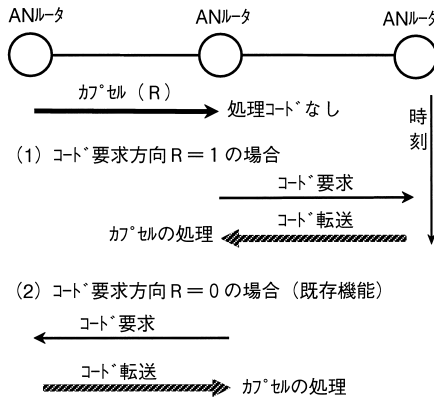


図 8 コード転送要求方向の拡張

Fig. 8 Extension of code request direction.

のとおりクライアントが必要なコードのみを保持するため、AN ルータの処理コードを有しない場合があること、また、クライアントと AN ルータで共通のコードを有していても帯域制約のある無線を使用するモバイル端末から AN ルータへのプログラム転送は回避したいことから、サーバ方向へのコード要求が必要となる。

そこでカプセルにコード要求方向表示 R を設ける。具体的には ANTS ヘッダの Option 部の下位 1 ビットで「0: source 方向 (既存機能), 1: destination 方向」を表示する (図 8)。

4.3 複数アプリケーションの制御機能

現 ANTS ではサーバ上の JavaVM で複数のアプリケーションを任意に起動・停止させる一元的な仕組みがない。もちろん、アプリケーションごとに VM を起動し、UDP ポートで振り分けを行う方法がある。しかし、JavaVM の複数起動は CPU 負荷が高くなること、メモリ量が増加すること、複数の UDP ポートの設定が必要 (AN ルータ間を UDP で結び、ルーティングするので同一ノード間で UDP ポートが複数あるとルーティング管理が複雑) の問題がある。

そこで、サーバにおいてアプリケーション個別の起動/停止、ANTS の終了を行う管理機能とサーバ運用者への GUI を提供するアプリケーション状態管理機能を設ける。アプリケーション状態管理機能の位置付けを図 9、アプリケーション管理 GUI 例を図 10 に示す。

5. オンラインクイズサービスとプロトコル

本章では 3 章の AN ルート設定方式と 4 章の ANTS 拡張方式の評価と、AN 技術によるサービス実現例を示すため、情報配信/集信の具体例であるオンライン

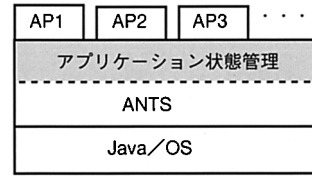


図 9 複数アプリケーションの管理

Fig. 9 Management of multiple applications.

アプリケーション情報		状態	
スペークイズ		起動中	起動
歴史クイズ		停止処理中	
自動車クイズ		停止中	停止
骨董品クイズ		起動処理中	
全体終了			

図 10 サーバ上のアプリケーション管理 GUI

Fig. 10 GUI for application management on server.

クイズを対象に、アプリケーションプロトコルの設計と適用方法を述べる。AN ルータでの分散処理により、回線の有効利用、サーバの負荷分散、ユーザへのレスポンス向上が図れる。

5.1 サービスシステム概要

クイズサーバが問題を配布し、クライアントはそれに対する回答を送信する。AN ルータは回答のチェックと集約を行い、上位 AN ルータ/サーバへ通知する。サーバは全体の回答状況をまとめ、クライアントへ配布する。

サーバにオンラインクイズのホームページを設け、分野別のクイズサービスを実行する。サーバ、クライアント、AN ルータは Java を実装済みとする。AN ルータは ANTS 本体部と ANTS 共通カプセルの処理プログラムを事前に設定しておく。サーバは ANTS とアプリケーションプログラムを保持している。またサーバでは、クライアントに必要な ANTS 本体、ANTS 共通カプセル、クライアント用アプリケーションのプログラムを、転送時間の削減を図るため圧縮して 1 つのファイル (クライアント設定ファイル) を作成して保持しておく。

参加するクライアントは、まず上記のクライアント設定ファイルをホームページからダウンロードして解凍し、ANTS/Java を起動する。

5.2 ルーティング情報設定とサービス参加

AN の最大の特徴はプログラマビリティであり、これによりルーティングに関しても適用対象に応じた設定が可能となることである。3 章ではルーティング情

報設定の基本的な方式を述べたが、本節ではオンラインクイズの実現に必要な、マルチキャスト（情報の配信）/マルチコレクト（情報の収集）のためのツリー構造へ適用した場合の方法を述べる。

次に、クライアントがサーバのクイズアプリケーション・サービスに参加する、すなわちセッションを設定する手順を述べる。

クライアントはサービス参加要求時に AN ルーティングテーブルにサーバ宛のルートが設定されているかチェックし、設定済みならただちにサービス参加要求のカプセルを送信する。未設定ならば、まずルート設定を行い、ルーティング情報の設定が終了したらサービス参加要求を行う。

また、イーサネットに收容された端末への効率的な配信を実現するための IP マルチキャスト機能との連動方法を述べる。

(1) ルーティング情報設定

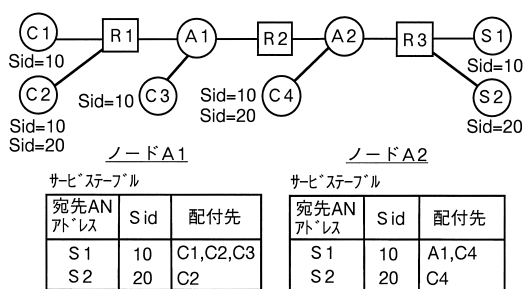
3章で述べたルート設定方法と基本的には同じであり、違いは AN ルーティングテーブルの設定情報である。マルチキャストなので、クライアントからサーバ方向（上り）はサーバ宛とし、またサーバからクライアント方向（下り）は隣接 AN ルータ宛および直下のクライアント宛を対象とする。

なお、AN ルーティングテーブルに設定後は、一定時間ごとにルート維持要求カプセル RouteKeep を送信するとともに、隣接の AN ルータ/クライアント/サーバからの本パケットの受信を待ち、一定時間内に受信できなかったら不要になったものとして AN ルーティングテーブルから当該ルート情報を削除する。

(2) サービス参加（セッション設定）

サーバ上の各アプリケーションはサーバの AN アドレスと ANTS ポート番号で一意に識別される。AN ルータでは、各クライアントごとの情報の集配信管理と同一ツリー上での複数サービスの提供のために、AN モジュールにサービステーブルを設ける。本サービステーブルは、宛先サーバ AN アドレス、ANTS ポート番号（Sid）と情報の配付先（隣接 AN ルータ/クライアント）の項目からなる（図 11）。

- (i) クイズサービスに参加したいクライアントは、隣接 AN ルータに対して、宛先 AN アドレス、Sid を指定した QuizEntry カプセルを送信する。
- (ii) AN ルータはサービステーブルに Sid に一致するエントリがあるかチェックし、有なら当該テーブルの情報配付先に AN ヘッダの隣接 AN アドレス（AN.P）の値を追加し、応答を示す QuizEntryAck カプセルを返送する。無なら仮サービス



【備考】 Ax: アクティブルータ、Rx: 従来ルータ、C: クライアント、Sx: サーバ、Sid: サービス識別のための ANTS ポート番号

図 11 セッションサービステーブルの例
Fig. 11 Example of session service table.

テーブル（項目はサービステーブル同様）をチェックし、すでに登録されていたら、配付先に追加する。また未登録ならば仮サービステーブルに新規に登録し、QuizEntry カプセルのヘッダ情報を AN.P=自 AN アドレスに変更して、AN ルーティングテーブルに基づき宛先側の上位 AN ルータへ向けて送信する。

- (iii) AN ルータは、QuizEntryAck カプセルを受信すると、仮サービステーブルの内容をサービステーブルへ登録するとともに、QuizEntryAck カプセルを配付先に従い送信する。
- (iv) クイズサービスからの離脱は QuizLeave カプセルで行い、サービステーブルから当該クライアントが削除される。

(3) IP マルチキャスト機能の利用

本論文では 2章で示したモデルにより UDP/IP 上に、AN による情報集配信機能を実現するものであるが、IP レイヤで提供される IP マルチキャスト機能を有効に利用することが望ましい。具体的には、AN ルータ間あるいは AN ルータとエンド（クライアント、サーバ）間で、IP マルチキャスト機能を利用することになる。

IP マルチキャスト機能は、マルチキャストアドレスの指定（クラス D アドレス）、イーサネット部分でのグループメンバシップ制御、ルータ間の IP マルチキャストルーティング制御により実現される。既存ルータの混在環境で、AN ルータ間あるいは端末-AN ルータ間でのマルチキャストツリーの構成手順が必要となるが、これについては今後の課題とし、本論文の対象外とする。本論文では AN ルータにイーサネットで直接收容されたクライアント端末のみに対して、IP クラス D アドレスによるマルチキャスト送信機能を利用する。このとき IP マルチキャスト機能のグループメンバシップ制御は使用せず、AN でのサービス参加手順

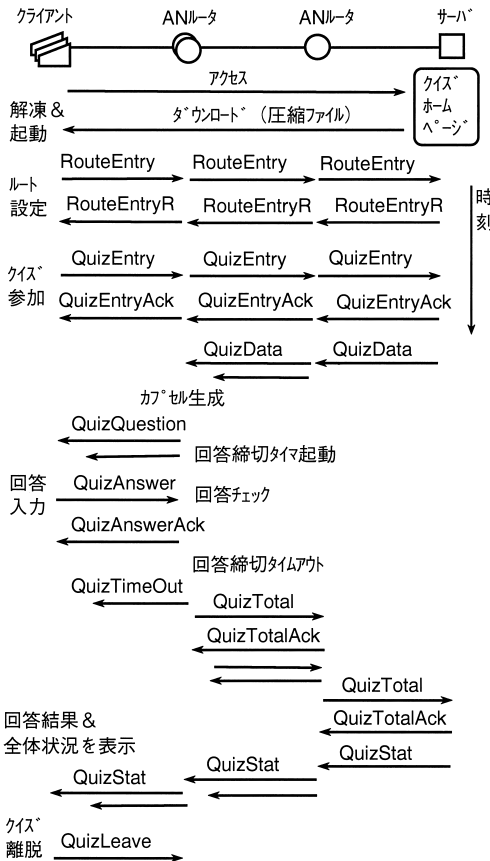


図 12 通信概要フロー
Fig. 12 Capsule sequence on quiz application.

によりクライアントの加入管理を行うことができる。

5.3 データ送信手順

サーバは問題と正答を設定した QuizData カプセルを送信する。AN ルータは QuizData カプセルを受信するとサービステーブルを参照して、配下の AN ルータへは QuizData カプセルを、クライアント端末へは問題のみからなる QuizQuestion カプセルを作成して送信する。そして回答締め切タイマを起動する。クライアントは回答を QuizAnswer カプセルにて AN ルータへ返送する。AN ルータはクライアントの回答を正答と比較し、結果を一時的に保持しておく。また一定時間後（回答締め切タイマのタイムアウト）に、配下のクライアントおよび AN ルータからの回答状況を集約して、上位の AN ルータへ QuizTotal カプセルにて通知する。上位の AN ルータは QuizTotal カプセルを受信すると、受信通知としての QuizTotalAck カプセルを返送する。サーバは QuizTotal カプセルを受信すると QuizTotalAck カプセルを返送する。そして、すべての配下の AN ルータからの QuizTotal カプセル

表 1 カプセル種別と機能一覧

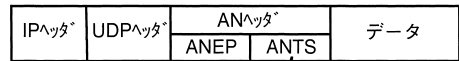
Table 1 Types and features of capsules.

No	種別	機能概要
ルート	1 RouteEntry	AN ルーティングの探索・設定要求
	2 RouteEntryR	RouteEntry の応答
	3 RouteKeep	Route の維持要求
アプリケーション	4 QuizEntry	クイズサービスへの参加要求
	5 QuizEntryAck	QuizEntry の受信通知
	6 QuizData	クイズ問題・正答を AN ルータへ配布
	7 QuizQuestion	クイズ問題のクライアントへの配布
	8 QuizAnswer	クイズの回答
	9 QuizAnswerAck	QuizAnswer の受信通知
	10 QuizTimeOut	クイズの回答締切の通知
	11 QuizTotal	回答状況のサーバへの集計通知
	12 QuizTotalAck	QuizTotal の受信通知
	13 QuizStat	クライアントへ正答と回答状況を通知
	14 QuizLeave	クイズサービスからの離脱

表 2 カプセルのパラメータの具体例

Table 2 Examples of capsule parameters.

カプセル種別	パラメータ
QuizData	問題番号、問題、選択肢数、正解、締め切りタイマ値、等
QuizAnswer	回答
QuizTotal	参加者数、正解者数、不正解者数、等



< ANTS >

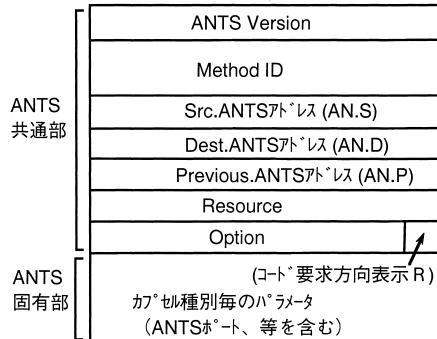


図 13 カプセルフォーマット

Fig. 13 Capsule format.

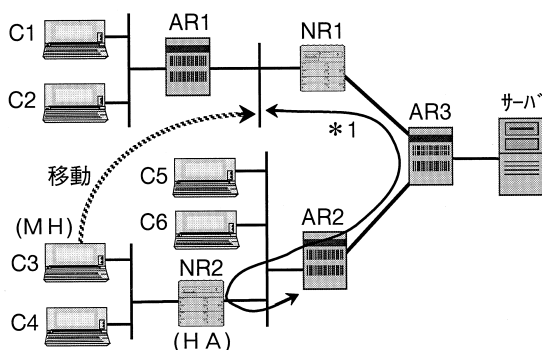
の受信が完了すると、正答者/不正解/無回答の集約を行い、この情報を QuizStat カプセルでクライアントへ向けて配布する。通信の概要フローを図 12 に示す。

5.4 カプセル種別

新規の各カプセルの機能一覧を表 1、パラメータの具体例を表 2、カプセルフォーマットを図 13 に示す。

6. 実装評価

5 章で述べたオンラインクイズ・サービスを対象として実装評価を行った。評価実験システム構成を図



[凡例] AR: ANルータ、NR: 既存ルータ、C: クライアント

*1: C3 がNR1 配下へ移動後のAR2へのパス

図 14 評価実験システム構成

Fig. 14 Experimental network.

14に示す。ANTSはVer1.3.1, JavaはJava2(JDK-1.2.2), OSはTurboLinux Ver.6.0とした。また, モバイルIPはStanford大学のMosquitoNet Mobile IPv4(Release 2.0beta¹⁸)を使用し, 移動ホスト(MH)をクライアントC3に, ホームエージェントHAを既存ルータNR2に設定した。ルータ, クライアント, サーバともにPC(PentiumIII 600MHz, Memory: 128MB)で実現し, PC間はFastEther接続した。

6.1 実装上のポイント

(1) IP情報の取得

ANアドレスとしては, 標準デバイスeth0のIPアドレスを代表として使用するが, 最新のIPルーティングテーブル情報に基づいてANルーティングテーブルを設定する必要がある。このためルート設定要求カプセルRouteEntryの処理において, Linuxが提供するnetstatコマンド(DestinationとMaskからデバイス名を取得)とifconfigコマンド(デバイス名からIPアドレスを取得)を用いてIPのルーティングテーブル情報を読み出すようにした。

(2) MulticastSocketの使用

カプセルの送受信のため, ANルータでの複数デバイス(IPアドレス)への対応, IPマルチキャスト(クラスDアドレス)機能の適用を考慮する必要がある。ANTSではユニキャスト対応のSocket機能のみのサポートであるため, Java提供のMulticastSocketを使用したインタフェース・モジュールを新たに設けた。本Socket機能により, クラスDアドレスパケットの送受信, 当該ANルータの全デバイスからのIP受信が可能となる。

(3) コードグループの設定

コードグループ設定に際しては, カプセルからカプセルを生成する関係にあるものは同一グループとする

必要がある。また, コード配送時の一括転送の単位(最大値は64KB)なので, 不要なコード転送を避け, またローディングによる遅延を小さくできるほうがよい。そこで, 一括転送のサイズを32KB以下におさえて, おおむね, 主にクライアントで必須のものをグループ1(CG1), サーバで必須のものをグループ2(CG2), 他カプセルの生成等のない単独で扱えるものをグループ3(CG3)とした(表5)。

6.2 評価結果

AN技術の導入展開のためには従来方式に対するオーバヘッドや定量的評価情報(処理時間, メモリ量)を明らかにしておくことが重要である。現状では, ANのプラットフォームであるANTSの定量的評価は少ないので, 具体的なアプリケーションで, 処理時間とメモリ量についてどの程度になるかを中心に実測・評価した。また, 本論文での提案方式の基本特性に関し, ルート設定方式のルート設定要求カプセルとアプリケーションカプセルの処理時間との比較を, また, モバイル端末への適用性向上方式の狙いである端末側保持メモリ量の削減効果の評価を行った。

また, 図14のシステム構成で6台のクライアント端末からサーバにアクセスし, オンラインクイズ・サービスが動作することをルート設定方式を含めて確認した。

(1) カプセル処理時間

ANルータでの分散処理により, サーバが直接に配信・集信するパケット数を大幅削減でき, 回線の利用率向上と輻輳回避, およびサーバの負荷集中回避を図れ, スケーラブルなサービスシステムの実現が可能となるが, このときANルータでのオーバヘッドがどのようなものになるのか, カプセル処理時間を評価する。

カプセル処理は, アプリケーションカプセル固有の処理(固有処理), ANTSのカプセル共通処理(共通処理), カーネル処理(OS処理)からなる。これらの処理時間およびANルータへ入ってから出までの時間(ルータ転送)の測定結果を表3に示す。マイクロ秒単位の精度が必要なため, 固有処理と共通処理はJavaソースプログラム中に実時間を読み出すシステムコールgettimeofdayを呼び出すプログラムを組み込み測定した。ANルータ転送の測定は回線モニタSnifferにより測定し, またOS処理は, ルータ転送時間から固有処理と共通処理とを差し引いて求めた。ANルータ転送時間は平均2.74msec(RouteEntryを除く)であり, 一方, カプセルが通常のIPルータで転送されるときIP転送時間の測定値は平均0.04msecであるため, ANルータによる転送は約68倍の時間を要

表 3 カプセル処理時間 (msec)

Table 3 Processing times of capsules.

カプセル種別	固有処理	共通処理	OS 処理	ルータ転送
RouteEntry	30.9 (5.09)	2.02 (0.025)	1.34 (0.021)	34.3 (5.08)
QuizEntry	0.28 (0.015)	0.95 (0.017)	1.29 (0.048)	2.52 (0.057)
QuizData	0.22 (0.017)	2.03 (0.042)	1.03 (0.244)	3.28 (0.284)
QuizStat	0.24 (0.001)	1.33 (0.020)	1.18 (0.027)	2.75 (0.044)
QuizLeave	0.25 (0.001)	0.92 (0.001)	1.25 (0.096)	2.42 (0.096)

[備考] 測定 5 回の平均値, () は標準偏差を示す.

図 14 でクライアント C1 のみがサーバに接続時の
アクティブルータ AR3 での測定値である.

することになる.

また, アプリケーション固有処理に対する ANTS でのオーバーヘッドについては, アプリケーション固有のカプセル処理時間は平均 0.25 msec であり, この固有処理と従来の IP 転送時間 (0.04 msec) を 2.74 msec から除くと 2.44 msec であり, 分散処理の実現のために, 約 10 倍のオーバーヘッドが必要となっている. これは ANTS は UDP 上に位置すること, ユーザ空間で走行すること, および Java コードの実行によることに起因しており, オーバヘッド削減方法が今後の課題である.

なお, RouteEntry の固有処理時間が他のカプセル処理の約 100 倍と非常に大きいのは, AN ルート設定処理において, IP アドレス情報取得のため netstat コマンドと ifconfig コマンドを用いて IP のルーティングテーブルへのアクセスを行うことによるものである (6.1 節「実装上のポイント (1) IP 情報の取得」を参照).

(2) 既存 IP パケット処理への影響

Linux カーネルの IP 処理モジュールに AN パケットの検出ロジックを組み込んだことによる, 既存 IP パケットへの影響を調べた. 既存ルータと AN ルータの場合の既存 IP パケットの通過時間を, ルータへの入出力の時刻を回線モニタ sniffer を使用して測定して求めた. パケット長=1KB, 1000 パケットの平均は, 従来ルータ=91.8 マイクロ秒, AN ルータ=93.6 マイクロ秒となり, AN ルータの方が 2% 大きい, 影響はほとんどないといえる.

(3) メモリ量

サーバ, クライアント, AN ルータで必要となる AN プログラムの総ファイル量 (Java のバイトコード量) を表 4 に示す. ANTS 改造機能であるモバイル端末への適用性向上方式により, 具体例であるオンライン

表 4 所要総ファイル量 (Kbyte)

Table 4 Total file sizes.

分類	サーバ	クライアント	AN ルータ
アプリケーション部	21.6	22.2	—
アプリケーションカプセル	69.3	44.5	オプション*
ANTS 本体部	161.1	同左	同左
ANTS 共通カプセル	14.5	同左	同左
合計	266.5	242.3	175.6

表 5 各カプセルの処理コード・メモリ量 (byte)

Table 5 Code sizes of capsules.

カプセル分類	種別	メモリ量	ロードグループ	クライアント要否
ANTS 共通 (*1)	RouteEntry	5801	---	---
	RouteEntryR	5298	(事前にロード)	---
	RouteKeep	2600	---	---
アプリケーション	QuizEntry	8375	cg1	○
	QuizEntryAck	6605		○
	QuizAnswer	6878		○
	QuizAnswerAck	2438		○
	QuizLeave	5351		○
	QuizData	12454	cg2	×
	QuizQuestion	3402		○
	QuizTimeOut	2418		○
	QuizTotal	10033		×
	QuizTotalAck	2248		×
	QuizStat	8140		cg3

(*1) ANTS のオプションカプセル(ロード転送関係)を除く新規分.

クイズではアプリケーション・カプセルのためのメモリ量は 36% 削減 (69.3 KB → 44.5 KB), 全ファイル量では約 9% 削減され, その効果が確認された.

また, アプリケーションカプセルの処理コードのメモリ量を表 5 に示す. QuizData, QuizTotal, QuizStat はアプリケーション固有処理やカプセル生成処理のために, また QuizEntry はサービス参加 (セッション設定) 処理のために, ほかに比較してメモリ量は大きいことが分かる. また, ルート情報設定のための新規カプセルの処理コードは ANTS 共通カプセルとして, 事前に各 AN ノードに設定されるが, そのメモリ量を表 5 にあわせて示す.

また, 3 章で述べた AN ルータ向けの IP モジュールの改造は, 本実装の Linux カーネルでは, チェックサム再計算も含め約 60 ステップ (C ソース) である.

(4) モバイル IP 対応のルート設定方式の評価

モバイル IP 対応のルート設定方式の拡張方法の動作確認は, 図 14 でクライアント C3 を既存ルータ NR1 配下へ移動させることで行った. オンラインクイズ・サービスが継続して利用できることの確認とともに, 移動先の経路上の新たな AN ルータ AR1 をスルーしていること, および送信パケットが HA (NR2) から MH (C3) へ転送され, AN カプセルを移動先で受信していることを ANTS のログ情報と tcpdump 情報に

より確認した。このとき最初に設定されたルートの維持は AN ルータで処理矛盾を起ささないために必要であるが、宛先サーバに向けた経路上に新たな AN ルータがある場合でもそれを使用せず、遠回りのルートとなるため、回線資源の無駄とレスポンスの低下を招く恐れがある。なお、端末利用が終わってクローズした後、新たに接続したときには新規にルート設定が行われるので、迂回することはない。

7. おわりに

次世代インターネットの構築技術の有力候補であるアクティブネットについて、導入展開のための移行技術として重要なアクティブルータと既存ルータの混在環境でのルート情報の設定方式、アクティブネット・プラットフォーム ANTS のモバイル端末への適用性向上方式とシステム構築の観点からの拡張方式を提案し、情報配信/集信(マルチキャスト/マルチコレクト)の具体例であるオンラインクイズへの適用方法と実装評価結果を示した。

AN ルータと既存ルータが混在するネットワーク環境での AN ルーティング情報の設定方式については、宛先へのルート上の直近の AN ルータのアドレス情報を取得する基本方式を提案し、またモバイル IP を使用する場合の拡張方法を示した。ANTS の改良方式については、モバイル端末への適用性向上のため、クライアント側のプログラムコード削減とコード転送要求の方向指定を可能とした。また、システム構築の観点から、ANTS 上で複数アプリケーション動作環境の提供のために、アプリケーションの起動・停止等を行うアプリケーション状態管理機能を設けた。オンラインクイズへの適用については、マルチキャスト/マルチコレクトのための AN ルーティングテーブル設定法とサービス実現のプロトコル設計を示し、ANTS 上で実装し評価した。その結果、本例ではクライアントの所要プログラムメモリ量は既存の ANTS 方式に比較して、約 9%削減された。カプセル転送時間は通常のパケットと比較して約 68 倍であり、またアプリケーション固有処理に対する ANTS でのオーバーヘッドは約 10 倍となったが、AN ルータによる分散処理により、スケーラブルなサービスシステムの実現が可能となる。

今後の課題として、IP マルチキャスト機能の AN ルータ間への適用方法、カプセル処理時間の削減方法、AN 上で複数の AN ルーティングテーブルを設定し利用するための指定方法、等がある。

参考文献

- 1) Wetherall, D., et al.: Introducing New Internet Services: Why and How, *IEEE Network Magazine*, July/August (1998).
- 2) Psounis, K.: Active Networks: Applications, Security, Safety, and Architectures, *IEEE Communications Surveys*, First Quarter (1999).
- 3) Campbell, A.T., et al.: Understanding Programmable Networks, *Computer Communication Review*, Vol.29, No.2 (1999).
- 4) 小花貞夫, 杉山敬三: アクティブネットワーク: ネットワークをオーダメードに使う, 情報処理, Vol.40, No.6, pp.590-595 (1999).
- 5) 山本 幹, 池田博昌: アクティブネットワークの技術動向, 信学技報 IN99-117 (2000-02).
- 6) 阿野茂浩, 長谷川亨, 鈴木基広, 江川尚志, 植月修志, 久保田文人: 柔軟なネットワーク構築を目指すアクティブネットワークのテストベッドと広域実験, 情報処理, Vol.42, No.4, pp.376-381 (2001).
- 7) Sivakumar, R., et al.: A Scalable Architecture for Active Networks, *OpenArch 2000* (Mar. 2000).
- 8) 山口 誠, 橋本 隆, 山本 幹, 池田博昌: Active Network 技術を適用した信頼性マルチキャストプロトコルの性能評価, 信学論 B, Vol.J84-B, No.3, pp.334-343 (2001).
- 9) 田島佳武, 森川博之, 青山友紀: 適応型キャッシュを用いたリアルタイムマルチキャスト, 信学論 B, Vol.J84-B, No.3, pp.354-364 (2001).
- 10) Kiwior, D. and Zabele, S.: Active Resource Allocation in Active Networks, *IEEE J-SAC Special Issue on Active Networks*. <http://www.tascnets.com/panama/resourceAlloc.ps>
- 11) <http://www.isi.edu/abone/>
- 12) Wetherall, D., et al.: ANTS: A Toolkit for Building and Dynamically Deploying Network Protocols, *IEEE OPENARCH'98*, San Francisco, CA (Apr. 1998).
- 13) <http://www.cs.washington.edu/research/networking/ants/>
- 14) Caldeon, M., et al.: Active Network Support for Multicast Applications, *IEEE Network Magazine*, May/June (1998).
- 15) Kasera, S., et al.: Scalable Fair Reliable Multicast Using Active Services, *IEEE Network Magazine*, January/February (2000).
- 16) Alexander, D.S., et al.: Active Network Encapsulation Protocol (ANEP), Internet RFC DRAFT (July 1997).
- 17) IP Mobility Support, RFC2002.

18) <http://mosquionet.stanford.edu/mip/>
 (平成 13 年 5 月 9 日受付)
 (平成 13 年 10 月 16 日採録)



渥美 幸雄 (正会員)

昭和 50 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和 52 年同大学大学院修士課程修了。同年電電公社(現 NTT)横須賀電気通信研究所入社。主に通信プロトコル、通信制御ソフトウェアの研究開発に従事。平成 6 年(株)超高速ネットワーク・コンピュータ技術研究所。プロトコルアーキテクチャの研究に従事。平成 11 年(株)NTT ドコモ・マルチメディア研究所。次世代のモバイルインターネット方式の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



高橋 修 (正会員)

昭和 50 年北海道大学大学院工学研究科修了。同年電電公社(現 NTT)横須賀電気通信研究所入社。コンピュータネットワークアーキテクチャの研究開発および国際標準化に従事。平成 11 年(株)NTT ドコモ・マルチメディア研究所に異動。モバイルインターネットのサービスとプロトコルに関する研究開発に従事。平成 12 年情報処理学会標準化貢献賞受賞。著書に「コンピュータネットワーク」(共著, オーム社)等。電子情報通信学会会員。



西 正博 (正会員)

平成 7 年大阪大学工学部通信工学科卒業。平成 9 年同大学大学院工学研究科通信工学専攻博士前期課程修了。平成 11 年同大学院工学研究科通信工学専攻博士後期課程修了。同年広島市立大学情報科学部助手。次世代無線通信システム, 無線電波伝搬, 電波科学の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, IEEE 各会員。



吉田 彰顕 (正会員)

昭和 48 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。昭和 50 年同大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT)横須賀電気通信研究所入所。主にデジタル無線通信システムの研究開発に従事。平成 9 年超高速ネットワークコンピュータ技術研究所所長。平成 11 年広島市立大学情報科学部教授。現在, 通信・放送融合型情報ネットワークの研究に従事。電波伝搬, 電波科学にも興味を持つ。工学博士。電子情報通信学会, IEEE 等 6 学会の会員。