

# アドホックネットワークにおけるサービス発見方式の提案

茂木 信二<sup>†</sup> 吉原 貴仁<sup>†</sup>  
堀内 浩規<sup>†</sup> 小花 貞夫<sup>††</sup>

無線を通信に用いるノードの集まりで形成し、固定的に設置される施設を用いないために集中的な管理を行うことが困難となるアドホックネットワークにおいて、サービスの迅速な利用開始を可能とするためにはネットワーク上で提供されているサービスを自動的に発見するサービス発見方式が必要となる。これまでにアドホックネットワークを対象として、サービス発見のためにブロードキャストするメッセージ数の削減を目的とする方式が提案されている。しかしながら、ブロードキャストを行うメッセージ数の削減を図る一方で、本来発見されるべきサービスを発見することができなくなってしまう問題があった。そこで本稿では、その従来方式にあらたな手順を拡張することで発見できるサービスの数の増加を図ったアドホックネットワークにおけるサービス発見方式を提案する。また、提案方式の有効性を検証するためシミュレーション評価を行い、従来方式と比べサービス発見方式に必要なメッセージ数および応答時間を同程度に抑制しつつ、発見できるサービス数を増加させることを明らかにする。

## Proposal of Service Discovery for Wireless Ad Hoc Networks

SHINJI MOTEGI,<sup>†</sup> KIYOHITO YOSHIHARA,<sup>†</sup> HIROKI HORIUCHI<sup>†</sup>  
and SADA OOBANA<sup>††</sup>

Wireless ad hoc networks can be formed by a group of wireless nodes without requiring the use of any preexisting infrastructure. Therefore such an ad hoc network is not administered and applications cannot assume they know which services are exist and where they are hosted. A service discovery method that provides automatic discovery of desired services is particularly important to save user from the trouble of configuration and quick access to services. Recently, a service discovery method that uses broadcast has been proposed. It enables minimization of broadcast; however, the method potentially has a drawback that it decreases the number of discoverable services. In this paper, we propose a new service discovery method for wireless ad hoc networks, that extend a new process to the existing method for increase the number of discoverable services. We evaluate the proposed method through a simulation study. The result shows that the proposed method achieves better service discovery rate than those of the existing methods while keeping the same amount of control message and response time.

### 1. はじめに

アドホックネットワークは、固定的に設置されるルータ、ノードおよび基地局などのあらかじめ用意される施設を用いることなく、可動性のあるノードの集まりのみで形成するネットワークである。一般にネットワークを用いるアプリケーションは、他のノード上で提供されるサービスの利用を必要とするクライアントとしてモデル化することができる<sup>1)</sup>。アドホックネットワークでは固定的な施設で構成した固定ネットワー

クのように管理を行うことは困難となるため、クライアントはどのようなサービスがネットワーク上で提供されており、そしてそのサービスを提供しているノードをあらかじめ把握することはできない。そのため、クライアントが要求するサービスを自動的に発見するサービス発見方式は、サービスを利用するための煩わしい設定の手間からユーザを解放するとともに、サービスの迅速な利用開始を可能とするために必要となる。

サービス発見方式として、SLP (Service Location Protocol<sup>1)</sup>、Salutation<sup>2)</sup>、Jini<sup>3)</sup>などは基本的にネットワーク上で提供されているサービスの、たとえば IP (Internet Protocol) アドレス、ポート番号、および設定パラメータなどからなる構成情報を集めたセンタサーバをあらかじめ設け、クライアントがセン

<sup>†</sup> 株式会社 KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

<sup>††</sup> KDDI 株式会社  
KDDI CORPORATION

タサーバに問い合わせることでサービスの発見を行う。この固定的に設置されるセンタサーバを用いる方式は一般にアドホックネットワークには適用することが困難となる<sup>4),5)</sup>。そこでセンタサーバを用いずに、クライアントがサービスの発見要求をブロードキャストしサービスを提供するノードが応答する方式が提案されているが、サービス発見要求を行うクライアント数の増加にともないブロードキャストするメッセージ数が増大し輻輳の原因になってしまう問題があった。そこでサービス発見要求に対する応答メッセージを中継するノードがメッセージ内の構成情報を蓄積し、あらたなサービス発見要求を受信した場合に蓄積を元に応答することでブロードキャストするメッセージ数を削減する方式が提案されている<sup>6)</sup>。しかしながら、メッセージ数の削減を図る一方で本来発見されるべきサービスを発見できなくなってしまう問題があった。

そこで本稿では、従来方式よりも発見できるサービス数の向上を図るため蓄積を用いる方式にあらたな手順を拡張したアドホックネットワークにおけるサービス発見方式を提案する。また、提案方式の有効性を検証するため、シミュレーション評価と考察を行う。以下、2章では従来のサービス発見方式とその問題を述べる。3章ではあらたなサービス発見方式を提案する。4章では提案方式のシミュレーション評価と考察を行い5章でまとめとする。

## 2. 従来のサービス発見方式とその問題

### 2.1 サービス発見方式を用いるシナリオ例

アドホックネットワークが形成する形態として、宅内、オフィスおよびカンファレンス会場などで用いられる遅い速さで移動するノードの集まりにより形成する形態や速く移動するたとえば車などで用いられるノードにより形成する形態があげられる。ここでは、サービス発見方式を用いる例としてカンファレンス会場において発表者がプレゼンテーション資料を聴講者に提供するシナリオを示す(図1)。

カンファレンス会場に到着した聴講者のノードは、たとえばアドホックネットワークの経路制御に用いられるメッセージを受信することでアドホックネットワークに参加したことを検知する。ここで、聴講者のノードが持つアプリケーションがたとえばFTP( File Transfer Protocol )を用いて電子ドキュメントの取得を行うものであるとする。この時点では聴講者のノードは、アドホックネットワーク上で電子ドキュメントの提供を行っているサービスの有無およびサービスがある場合はその構成情報を保持していない。そのため、

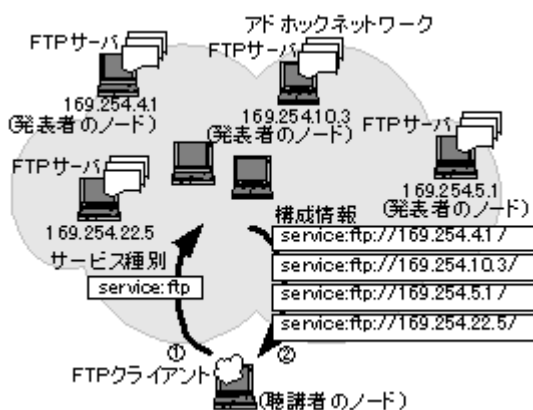


図1 サービス発見を用いるシナリオ例

Fig.1 Example scenario using service discovery.

構成情報を取得しサービスを提供するノードとの通信を開始するためにサービス発見方式を活用する。

聴講者のノードのアプリケーション(図1 FTPクライアント)は、発見するサービスを特定するための情報となるサービス種別を指定してサービスの発見要求を行う(図1①)。この要求に対する応答として、発表者のノード上でFTPを用いて電子ドキュメントの提供を行っているサービス(図1 FTPサーバ)の構成情報を取得する(図1②)。これより、聴講者のアプリケーションは参加したアドホックネットワーク上で提供されているサービスを発見し、取得した構成情報を元に発表者のノードにアクセスしてプレゼンテーション資料の取得を行うことが可能となる。

このようにアドホックネットワークでは、FTPやHTTP(Hyper Txt Transfer Protocol)などのプロトコルを用いてたとえば電子名刺や電子ドキュメントなどのデータを相互に提供するアプリケーションが利用されることが予想される<sup>5)</sup>。それは各ノードには相互にデータを提供するためのサービスの存在が必要となり、同一のサービス種別となるサービスが複数存在することを意味する。したがって、サービス発見方式は同一のサービス種別を持つより多くのサービスを発見することが求められる。

### 2.2 従来のサービス発見方式

アドホックネットワークでは、あらかじめ固定的に設置されるルータ、ノードおよび基地局などは一般に与えられないためネットワーク上で提供されているサービスの構成情報を集めたセンタサーバを設ける方式を用いることが困難となる。そこで、センタサーバを用いない方式がアドホックネットワークでは必要となり以下に示す方式が提案されている。

(A) ブロードキャストを用いる方式

SLP, Salutation および Jini はセンタサーバを用いる方式に加え, クライアントがブロードキャストを用いて行ったサービスの発見要求に対しサービスを提供するノードが応答することでサービスを発見するセンタサーバを用いない方式がある. クライアントは発見するサービスを特定するための情報, たとえば SLP では “http” や “ftp” などの IANA ( Internet Assigned Number Authority ) で規定される文字列となるサービス種別を指定しサービス発見要求を行う Service Request メッセージ ( 以下, SrvRqst と呼ぶ ) をブロードキャストする. SrvRqst を受信したノードは, 受信した SrvRqst に指定されるサービス種別と一致するサービス種別のサービスを提供していない場合, 受信した SrvRqst のブロードキャストを行う. この SrvRqst の受信とブロードキャストは SrvRqst に指定されたサービス種別と一致するサービスを提供するノードが SrvRqst を受信するまで行われる. SrvRqst に指定されたサービス種別と一致するサービスを提供するノードが SrvRqst を受信した場合, 提供しているサービスの構成情報を含む Service Reply メッセージ ( 以下, SrvRply と呼ぶ ) を応答する. なお, SrvRply の応答を行ったノードは SrvRqst のブロードキャストを行わない. クライアントは, SrvRply を受信することで要求したサービスを発見する.

しかしながら, サービス発見要求を行うクライアント数の増加にともないブロードキャストするメッセージ数が増大し輻輳の原因となってしまう問題があった. またサービスを提供するノードは SrvRqst のブロードキャストを行わないため, サービスを提供する他のノードが SrvRqst を受信することができなくなってしまう場合がある. この場合, SrvRqst を受信しないサービスを提供する他のノードは SrvRply を応答しないため, クライアントはそのサービスを発見することができなくなってしまう問題があった.

#### (B) 蓄積機能を導入した方式

ブロードキャストを用いる方式で問題となるブロードキャストするメッセージ数の抑制を目的に蓄積機能を導入した方式が提案されている<sup>6)</sup>. 図 2 (a) に示すように, クライアント C1 は発見を要求するサービス種別を指定した SrvRqst をブロードキャストする ( 図 2 (a) ①, ②, ③ ). SrvRqst 内に指定されたサービス種別のサービスを提供する S1, S2 は構成情報を含む SrvRply をユニキャストにより応答する ( 図 2 (a) ④ ). なおこのとき S1 は SrvRply を C1 に着信させるための経路が N2 となることを示す経路情報を用いて N2 に SrvRply をユニキャストする. 経路情報は AODV

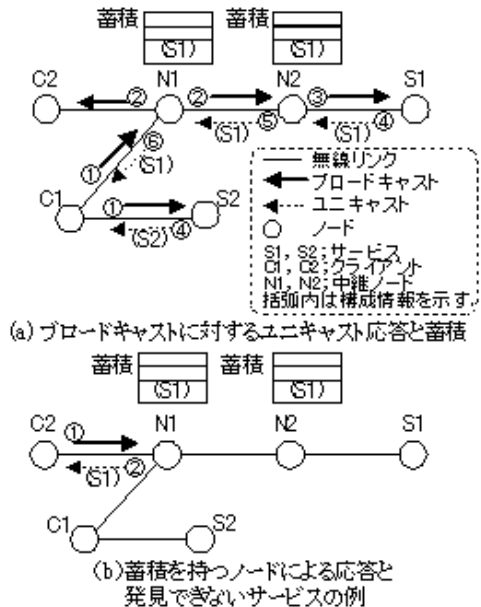


図 2 蓄積機能を用いる従来のサービス発見方式  
Fig. 2 Traditional service discovery method using cache mechanism.

( Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Protocol )<sup>7)</sup>などの経路制御プロトコルにより提供される. SrvRply を受信した N2 は, SrvRply に含まれる構成情報 ( S1 ) を蓄積し経路情報を用いて C1 に至る経路となる N1 に SrvRply をユニキャストする ( 図 2 (a) ⑤ ). N1 も N2 と同様に蓄積を行い C1 に SrvRply をユニキャストする ( 図 2 (a) ⑥ ).

あらたにクライアント C2 が C1 と同一のサービス種別を指定して SrvRqst をブロードキャストした場合 ( 図 2 (b) ① ), N1 は受信した SrvRqst に指定されるサービス種別の構成情報を蓄積しているため SrvRply を応答し ( 図 2 (b) ② ), 受信した SrvRqst のブロードキャストは行わない.

サービス発見方式に用いるメッセージ数の削減を図る観点からは, このようにサービスを提供するノード以外に蓄積を持つノードが応答し, なおかつ他のノードにブロードキャストを行わない蓄積機能を導入した方式は有効といえる. しかしながら, この方式は蓄積を元にクライアントに回答した構成情報が示すサービスのほかに同一のサービス種別のサービス ( 図 2 (b) S2 ) がある場合, そのサービスを発見することができなくなってしまう問題があった. これは, 導入した蓄積機能が本来発見することができるサービスの数を減少させる原因となってしまうことを意味する. なお, ブロードキャストを用いる方式と同様に SrvRqst を

応答するサービスを提供するノードが SrvRqst のブロードキャストを行わないことからクライアントが発見できないサービスが生じてしまう問題があった．たとえば、図 2 (a) の S2 の右側に S3 がある場合、S2 は SrvRply を応答し C1 から受信した SrvRqst のブロードキャストを行わない．そのため S3 は SrvRqst を受信しないため SrvRply の応答を行わないことからクライアント C1 は S3 を発見することができなくなってしまうことになる．そこで次章では、サービス発見方式に用いるメッセージ数を抑制しつつ本来発見されるべきサービス数の向上を図るサービス発見方式をあらたに提案する．

### 3. サービス発見方式の提案

#### 3.1 基本方針

前章で示した問題に対し以下の基本方針に従って対処し、アドホックネットワークにおけるサービス発見方式をあらたに提案する．

- (1) サービス発見に必要なとなるメッセージ数の削減を図るため蓄積機能を用いる方式を拡張する．
- (2) サービス発見に用いるメッセージは SLP で規定される SrvRqst および SrvRply のメッセージ・フォーマットを拡張する．
- (3) 従来方式に比べ発見することができるサービス数の向上を図るために新たな手順を導入する．導入する手順において用いるメッセージ・フォーマットは、サービスを提供するノードおよび蓄積を持つノードが応答に用いる SrvRply と同一のメッセージ・フォーマットとする．手順が加わるためサービス発見に必要なとなるメッセージ数が蓄積機能を用いる従来方式<sup>6)</sup> に比べ多くなってしまうが、これは発見することができるサービス数の増加とトレードオフとなる．
- (4) サービスを提供するノードが SrvRqst のブロードキャストを行わないために発見することができなくなってしまうサービスが生じてしまう問題を解決するため、サービスを提供するノードは受信した SrvRqst のブロードキャストを行うこととする．なお、サービスを提供するノードが他のノードが提供する構成情報を蓄積している場合は、蓄積を持つノードと同様に SrvRqst のブロードキャストは行わないこととする．
- (5) SrvRply を中継する各ノードはメッセージを転送する次ホップの決定に従来方式と同様に経路情報を活用する．ここで経路情報は、たとえば AODV などの経路制御プロトコルによって作

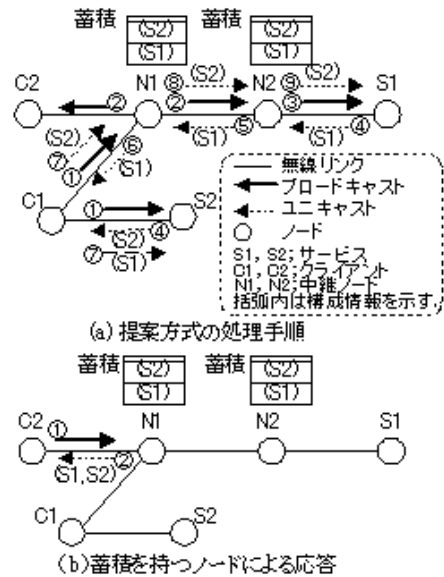


図 3 提案方式の処理手順の概要  
Fig. 3 Overview of proposed method.

成されるため、その作成方法については本研究の対象外とする．

#### 3.2 サービス発見方式の処理手順の概要

前節の基本方針 (1), (3) に従い、クライアントによる SrvRqst のブロードキャストとサービスを提供するノードもしくは蓄積を持つノードによる SrvRply の応答からなる手順に、クライアントが SrvRply の応答をしたノードに向かってサービス発見要求の結果取得した構成情報を送信する手順をあらたに導入する．

##### 3.2.1 サービス発見方式の処理手順

###### (1) SrvRqst のブロードキャスト

図 3 に示すように、クライアント C1 は発見を要求するサービス種別を指定した SrvRqst をブロードキャストする (図 3 (a) ①). SrvRqst を受信したノードが SrvRqst に指定されるサービス種別と一致する構成情報を保持していない場合、受信した SrvRqst をブロードキャストする (図 3 (a) ②, ③).

###### (2) SrvRply の応答

受信した SrvRqst 内に指定されたサービス種別のサービスを提供する S1 は構成情報を含む SrvRply をユニキャストにより応答する．このとき 2.2 節 (B) で述べた従来方式と同様に S1 は経路情報を用いて N2 に SrvRply をユニキャストする (図 3 (a) ④). 経路情報は基本方針 (5) に従い、AODV などの経路制御プロトコルにより提供される情報を用いる．SrvRply を受信した N2 は、SrvRply に含まれる構成情報 (S1) を蓄積し経路情報を用いて C1 に至る経路となる N1

に SrvRply をユニキャストする (図 3(a)⑤). N1 も N2 と同様に蓄積を行い C1 に向かって SrvRply をユニキャストする (図 3(a)⑥). また, S2 も S1 と同様に C1 に向かって SrvRply をユニキャストする (図 3(a)④). なお, 図 3(a) の例では S1 および S2 は SrvRqst を受信したときに他のノードが提供するサービスの構成情報を蓄積していないため基本方針 (4) に従い SrvRqst のブロードキャストを行う.

### (3) クライアントによる構成情報の送信

C1 は S1 が応答した SrvRply により構成情報 (S1) を取得し S2 が応答した SrvRply により構成情報 (S2) を取得する. 基本方針 (3) に従い C1 は SrvRply の応答を行った S1 に向かって構成情報 (S2) を送信し, S2 に向かって構成情報 (S1) を送信する (図 3(a)⑦, ⑧, ⑨). なお C1 は SrvRply と同一のメッセージ・フォーマットを用いて構成情報を送信し, SrvRply を中継する N1 および N2 は C1 から送信された SrvRply に含まれる構成情報を蓄積する. C1 が送信した SrvRply を受信した S1, S2 も同様に SrvRply に含まれる構成情報を蓄積する. これより, サービス発見要求を行った C1 が取得したすべての構成情報を他のノード N1, N2, S1, S2 に提供可能となる.

あらたに C2 が C1 と同一のサービス種別を指定してブロードキャストした SrvRqst を N1 が受信した場合 (図 3(b)①), N1 は構成情報 (S1) に加え蓄積機能を導入した従来方式では提供することができなかった構成情報 (S2) を含む SrvRply を応答することが可能となる (図 3(b)②). これより C2 は S1, S2 の双方のサービスを発見することができる.

#### 3.2.2 あらたに導入した手順の詳細

クライアントがブロードキャストした SrvRply に対し複数のノードが SrvRply を応答する場合, クライアントは各 SrvRply をそれぞれ異なる時刻に受信することになる. 受信した SrvRply に含まれる構成情報が, それまでに受信した SrvRply の応答を行ったノードが保持していない構成情報となる場合, クライアントはその構成情報を保持していない SrvRply の応答を行ったノードに向かって構成情報を送信する. 図 3(a) の例では C1 はまず S2 が送信した SrvRply により構成情報 (S2) を取得し (図 3(a)④), 次に S1 が送信した SrvRply により構成情報 (S1) を取得する (図 3(a)⑥). C1 は S1 が送信した SrvRply により取得した構成情報 (S1) が, 先に S2 から受信した SrvRply に含まれていなかったことから S2 が S1 の構成情報を保持していないと判断する. そこで S2 に向かって構成情報 (S1) を含む SrvRply を送信す

る. 同様に, C1 は S1 に対して構成情報 (S2) を含む SrvRply を送信する.

このようにクライアントが SrvRply を受信するたびにそれまでに受信した SrvRply の応答を行ったノードに構成情報を送信する. この手法は, SrvRply を応答するノード数に応じてクライアントが送信する SrvRply 数が増加することになる.

なお, この手法に対し SrvRply を受信してから一定期間の間待ちその間に受信した複数の SrvRply に含まれる複数の構成情報を 1 つにまとめた SrvRply を送信する手法が考えられる. しかしながら, この手法は一定期間待つ間は蓄積を用いる従来方式と同様の状態となるため, 発見することができなくなってしまうサービスが生じてしまう問題がある. たとえば図 3(a)において, C1 は S1 からの応答である SrvRply (図 3(a)⑥) を受信後にただちに (S2) を含む応答 (図 3(a)⑦) を行わずに一定期間待つことになる. その間に C2 がサービス発見要求を行った場合, クライアント C2 は従来方式と同様に S2 を発見することができなくなってしまう.

これより, 発見することができるサービス数の増加を図るため提案方式では一定期間待ち構成情報を 1 つにまとめる手法ではなく, クライアントが SrvRply を受信するたびにそれまでに受信した SrvRply の応答を行ったノードに構成情報を送信する手法を用いる.

次節では, 上記の手順を実現するために必要となる情報を SLP のメッセージ・フォーマットに追加拡張したあたらしいメッセージ・フォーマットを示し, その追加拡張した情報を用いた処理手順の詳細を述べる.

#### 3.3 メッセージ・フォーマットの拡張

基本方針 (2) に従い, SLP における SrvRqst および SrvRply に対して以下のとおり追加拡張する. なお SrvRqst および SrvRply は UDP (User Datagram Protocol) を用いて送受信され通常の IP ヘッダが付加される.

##### (1) SrvRqst の拡張

サービスの発見要求を行ったノード (以下, 要求元ノードと呼ぶ) の IP アドレスを記述する項目を SrvRqst にあらたに追加する. これはたとえば図 3(a) の要求元ノード C1 がブロードキャストする SrvRqst の IP ヘッダの送信元アドレスは C1 の IP アドレスとなり, N1 および N2 がブロードキャストする SrvRqst の IP ヘッダの送信元アドレスはそれぞれ N1, N2 の IP アドレスとなる. これより, S1 は N2 から受信した SrvRqst の IP ヘッダからは SrvRqst の要求元のノードを判定することができず SrvRply を要求元ノード

に向かって送信することができなくなってしまう．そこで S1 は追加した SrvRqst 内の要求元ノードの IP アドレスを用いて SrvRply を応答する．

SLP では、同一内容のサービス発見要求を再び行う場合、SLP のメッセージヘッダに付加されるメッセージ識別子 (XID と呼ばれる) を同一の値を用いることに規定されている．これに対しここでは、同一内容のサービス発見要求を再び行う場合は XID を 1 増加させることとする．これによりブロードキャストされた SrvRqst を受信したノードは、XID と SrvRqst 内の要求元ノードの IP アドレスの組の情報を元に受信した SrvRqst がすでに受信しているものと同一か否かを判断することができ、重複する SrvRqst を再びブロードキャストしてしまうことを防止することができる．また受信した SrvRqst のブロードキャストを行う場合、受信した SrvRqst の IP ヘッダ内に示される TTL (Time To Live) を 1 減らしてブロードキャストする．

(2) SrvRply の拡張

要求元ノードの IP アドレスを記述する項目を SrvRply にあらたに追加する．この項目は SrvRply を中継するノードが SrvRply を要求元ノードに向かって転送するための次ホップのノードを決定するために用いる．また、サービス発見要求に対して応答を行ったノード (以下、応答元ノードと呼ぶ) の IP アドレスを記述する項目を SrvRply にあらたに追加する．この項目は、要求元ノードがサービス発見要求の結果取得した構成情報を応答元ノードに向かって送信するために応答元ノードを特定するために用いる．

3.4 拡張したメッセージ・フォーマットを用いた処理手順の詳細

前節であらたに拡張した SrvRqst および SrvRply を用いた処理手順を以下に示す (図 4)．

1) SrvRqst によるサービス発見要求

クライアント C は、発見を要求するサービス種別 (図 4: Type) およびあらたに拡張した要求元ノードの IP アドレスを示す項目に自身の IP アドレスを記述した SrvRqst をブロードキャストする (図 4①)．なお発見を要求するサービス種別と一致する構成情報をすでに蓄積している場合は、SrvRqst のブロードキャストを行わずその構成情報内の URL (Uniform Resource Locator) などの情報を用いてサービスを提供するノードとの通信を開始する．

2) SrvRqst を受信したノードの処理

SrvRqst メッセージを受信した S2, N1 は、SrvRqst のヘッダに含まれる XID と SrvRqst 内の要求元ノ

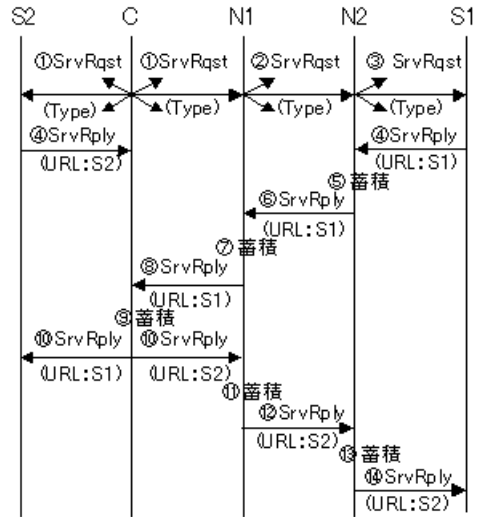


図 4 拡張したメッセージ・フォーマットを用いた処理手順 Fig. 4 Operation using the extended message format.

ドの IP アドレスの組がすでに受信している SrvRqst における組と同一か否かを判断する．その組がすでに受信している SrvRqst と同一の場合メッセージを破棄し、組が同一でない場合は SrvRqst 内に指定されるサービス種別の構成情報を蓄積しているか否かを確認する．蓄積していない場合は、TTL を 1 減らしてブロードキャストする (図 4②, ③)．蓄積している場合もしくは自身がそのサービス種別のサービスを提供している場合 (S1, S2 の場合) は、あらたに拡張した SrvRqst のサービス発見の要求元ノードの IP アドレスを記述する項目に受信した SrvRqst 内に示される要求元ノードの IP アドレスを記述し、また、応答元ノードの IP アドレスを記述する項目には自身の IP アドレスを記述した SrvRply を作成する．経路情報を参照し、SrvRqst に記述されている要求元ノードへの経路となる N2, C に対して SrvRply を送信する (図 4④)．

3) SrvRply を受信したノードの処理

SrvRply を受信した N1, N2 は、メッセージに示される要求元ノードの IP アドレスが自身の IP アドレスと同一か否かを確認する．同一でない場合は、まずメッセージ内の構成情報を蓄積する (図 4⑤, ⑦)．次に経路情報を参照し、SrvRply に記述されている要求元ノードへの経路となる次ホップのノードに対して SrvRply を転送する (図 4⑥, ⑧)．また同一の場合は、次に示す 4) の処理となる．なお、蓄積した構成情報は受信した構成情報内に示される有効期限の間保持される．

4) クライアントによる構成情報の送信

SrvRply を受信した要求元ノード C は、まず受信した SrvRply に含まれる構成情報を蓄積する(図 4⑨)。次に構成情報を含み、要求元ノードの IP アドレスを記述する項目に応答元ノードの IP アドレスを記述した SrvRply を作成する。経路情報を参照し、応答元ノードへの経路となる次ホップの S1, N1 に対して SrvRply を送信する(図 4⑩)。なお、このクライアントにより送信された SrvRply に対する処理は 3) と同様の処理となる(図 4⑪~⑬)。

#### 4. シミュレーション評価

##### 4.1 評価方式と評価項目

提案方式の有効性を検証するためにシミュレーション評価を行う。提案方式および次に示す方式を評価対象とする。

(方式 A) SLP においてセンタサーバを用いずにブロードキャストを用いる方式<sup>1)</sup>

(方式 B) 蓄積機能を導入した方式<sup>6)</sup>

以下に示す項目について評価を行う。

##### (1) サービス発見率

サービス発見要求の結果発見したサービス数をアドホックネットワーク内のサービス数で正規化した値とする。この評価項目は、サービスの発見を目的とするサービス発見方式において最も重要な項目となる。

##### (2) メッセージ数

サービス発見方式に用いる SrvRqst 数、および SrvRply 数の評価を行う。

##### (3) 応答時間

サービス発見要求のため SrvRqst をブロードキャストした時刻から SrvRply を受信する時刻までの時間を応答時間とする。複数の SrvRply を受信した場合は平均値とする。

##### 4.2 シミュレーション設定

###### ● シミュレーションモデル

アドホックネットワークにおけるサービス発見方式を評価するためのシミュレーションモデルをネットワークのシミュレーションモデル開発実行環境を提供する OPNET<sup>8)</sup> を用いて実装した。各ノードの電波の到達距離は 250m とし通信速度を 2Mbps とする。媒体アクセス制御には、IEEE802.11 DCF (Distributed Coordination Function) を用い、IP パケットの経路制御には AODV を用いる。サービス発見方式に用いるメッセージは UDP ヘッダおよび IP ヘッダが付加された後、送信バッファに格納する。格納したパケットは、AODV が提供する経路情報を用いてパケットの宛先への経路となる次ホップのノードに送信する。格納

時に経路情報がない場合、AODV により経路情報を作成した後にパケットを送信する。送信バッファに格納する最大パケット数は、ノードの性能や本シミュレーションと同様のアドホックネットワークの規模を想定した場合に一般に用いられる 64 パケットとし<sup>10),11)</sup>、最大格納数を超える場合は古いパケットから順に破棄する。

###### ● 移動モデル

クライアントの移動モデルは、ランダムウェイポイントモデル<sup>9)</sup> とする。各ノードは 1500m × 300m の領域内をランダムに選択した位置から移動先の位置をランダムに選択し、あらかじめ指定する速さの中からランダムに選択した速さで移動する。移動先の位置に到着した場合、指定する“停止時間”の間停止した後、再び移動先をランダムに選択して移動を繰り返す。

###### ● サービスの提供とサービス発見要求モデル

あらかじめ指定する数のサービスを全ノードからランダムに選出したノードに割り当てる。サービス発見の要求を行うクライアントは、あらかじめ指定する数のクライアントを 1 秒ごとに全ノード中からランダムに選出する。選出されたクライアントは、サービス発見要求のための SrvRqst のブロードキャストを行う。

###### ● 評価条件

移動モデルおよびサービスの提供とサービス発見要求モデルに用いるパラメータを表 1 の評価条件に示す。評価条件 A, B および C は、ノードが移動しない条件である。これは宅内やオフィスで日々用いられる無線を通信に利用するノードのように可動性はあるものの数分の時間を基準とすると停止していると見なすことができるアドホックネットワークを想定してい

表 1 評価条件  
Table 1 Evaluation condition.

パラメータ名	条件A	条件B	条件C	条件D	条件E	条件F
ノード数	50					
移動する速さ (m/s)	0			0.20		
停止時間 (s)	0					
サービス発見を行うクライアント数(ノード数)	1	2	3	1	2	3
サービス種別数	1					
サービス数	30 <sup>※</sup>					
蓄積の有効期限 (s)	30					
SrvRqst の有効ホップ数	7					
シミュレーション時間	60					

(※上記に加えサービス数を変化させた評価を行う)

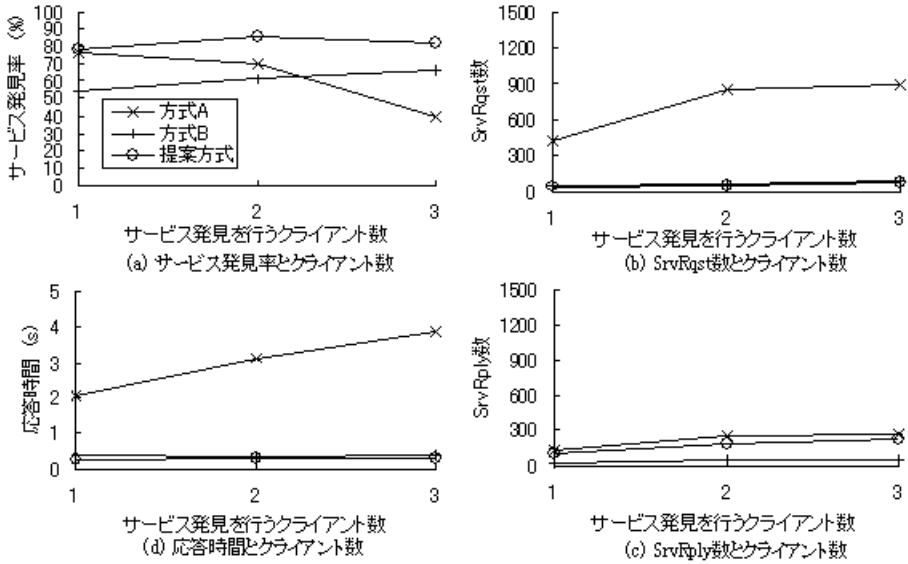


図 5 評価条件 A, B, C のシミュレーション結果  
 Fig. 5 Results of the evaluation condition A, B and C.

る．評価条件 D, E および F は速く移動するノードによるアドホックネットワークを想定している．移動する速さおよび停止時間は、同様の想定の下で経路制御プロトコルの評価を行っている文献 9), 10) と同一の値とする．サービス発見方式ではサービス種別ごとにサービス発見が行われるため 1 つのサービス種別に着目した評価を行う．ブロードキャストする SrvRqst の有効ホップ数は、アドホックネットワークに関するシミュレーション評価で一般に用いられる値とする．またシミュレーションにおいても実際に有効期限切れとなる構成情報が生じる条件とするため、有効期限をシミュレーション時間以下の値とし本評価では 30 s とする．なお、表 1 の評価条件に加えネットワーク内で提供されるサービス数を変化させた評価を行う．評価結果は移動するシナリオを変化させた 30 回のシミュレーションを試行した結果の単位時間あたりの平均値とする．

4.3 評価結果

(1) サービス発見率の評価結果 ( 図 5 (a), 図 6 (a) )  
 図 5 (a) に示すとおり、トポロジが変化しない評価条件 A, B および C においてサービス発見を行うクライアント数が小さい場合、方式 A と提案方式はほぼ同一のサービス発見率となっている．しかしながら、方式 A はクライアント数の増加に従いサービス発見率が大幅に減少してしまっている．また、方式 B は提案方式および方式 A に比べクライアント数が小さい場合サービス発見率が著しく小さく、サービス発見を

行うクライアント数の増加に従いサービス発見率が大きくなっているものの提案方式が達成しているサービス発見率には至っていない．

図 6 (a) に示すとおり、ノードが速く移動しトポロジが変化する評価条件 D, E, F において、方式 A はサービス発見を行うクライアント数が小さい場合においても提案方式に比べ大幅にサービス発見率が小さく、また、方式 B と比べてもサービス発見率が小さくなってしまっている．さらに、方式 A は、クライアント数の増加に従いサービス発見率が低下している．提案方式は方式 B に比べクライアント数の変化にかかわらず大きいサービス発見率を達成していることが分かる．なお、提案方式のサービス発見率が 100% に至らない理由として、クライアントがブロードキャストした SrvRqst がサービスを提供するノードに至る前に失われてしまう結果そのノードからの応答を得ることができない場合があることや SrvRply がクライアントに至る前に失われてしまう場合があることなどがあげられる．

(2) メッセージ数の評価結果

● サービス発見要求のメッセージ数 ( 図 5 (b), 図 6 (b) )

図 5 (b) および図 6 (b) に示すとおり、ともに蓄積機能を用いる提案方式と方式 B は方式 A に比べ大幅にブロードキャストする SrvRqst 数を削減し、クライアント数の増加にかかわらずその値はほぼ一定となっている．これはサービス発見要求のためブロードキャ



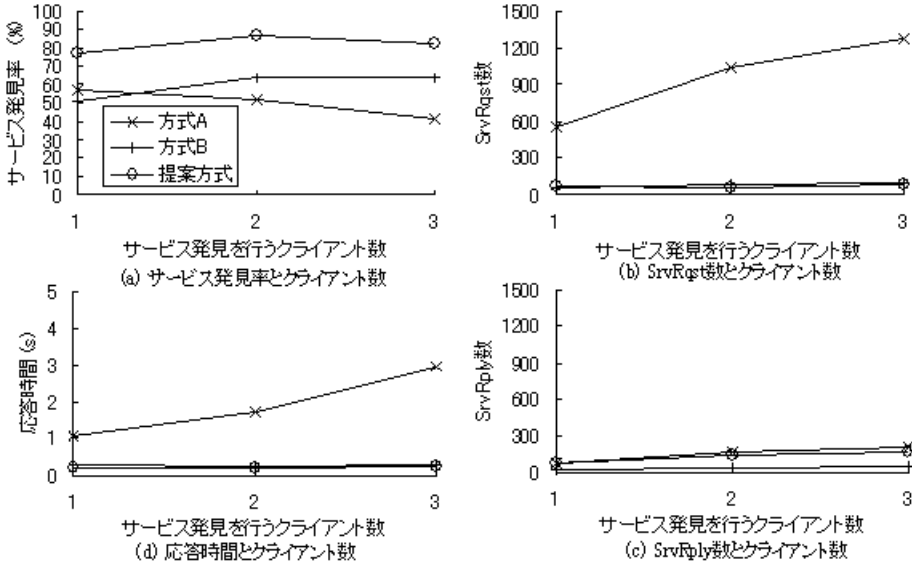


図 6 評価条件 D, E, F のシミュレーション結果  
Fig. 6 Results of the evaluation condition D, E and F.

ストした SrvRqst が サービスを提供する ノードに到達する以前に、蓄積を持つノードが応答することでブロードキャストするメッセージ数の削減を行っているためである。なお、方式 A はサービス発見を行うクライアント数の増加に従い SrvRqst 数は単調増加することになるが、図 5(b) に示すとおり、クライアント数が 2 の場合と 3 の場合では SrvRqst 数がほとんど変化していないことから、クライアント数が 3 の条件下では輻輳が発生していると考えられる。この輻輳の発生は、サービス発見方式に用いる SrvRqst および SrvRply が破棄されてしまうことを意味し、図 5(a) において方式 A がサービス発見を行うクライアント数の増加にともないサービス発見率が大幅に低下している原因と考えられる。

- 応答に用いるメッセージ数 (図 5(b), 図 6(b))

図 5(c) および図 6(c) に示すとおり、蓄積機能を用いる提案方式および方式 B は、方式 A に比べ応答のためユニキャストされる SrvRply 数が小さくなる結果となった。これは、蓄積機能を用いることでサービスを提供するノードのみならずその構成情報を蓄積する他のノードがサービス発見要求に対して応答可能となることからサービス発見の要求元ノードと応答元ノード間のホップ数が小さくなる結果、応答メッセージ数が減少するためと考えられる。また、提案方式は方式 B にあらたに手順を導入した方式であるため方式 B に比べ SrvRply 数が大きくなっている。しかしながら、その SrvRply 数は方式 A よりも小さく、方

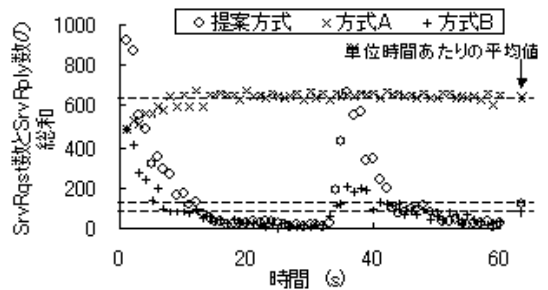


図 7 サービス発見に用いるメッセージ数の時間変化  
Fig. 7 Simulation time and service discovery messages.

式 B とほぼ同程度のメッセージ数といえる。

また、図 7 に評価条件 D におけるサービス発見に用いられるメッセージ数の時間経過にともなう変化を示す。なお、輻輳の発生により破棄されるメッセージ数は一般に送信バッファのサイズなどに依存するが、(2) の評価結果で示したとおり評価条件 D は輻輳がほとんど発生していないと考えられることから、図 7 は本シミュレーションで設定した送信バッファのサイズに依存しない結果といえる。メッセージ数の削減を図るために蓄積機能を用いる提案方式および方式 B は、図 7 において 0s から 14s および 36s から 50s において時間経過にともないメッセージ数が減少していることから、その間構成情報の蓄積を持つノード数が増加しているものと考えられる。提案方式は発見できるサービス数の増加を図るために方式 B に導入した手順があるためその間方式 B に比べメッセージ数が多

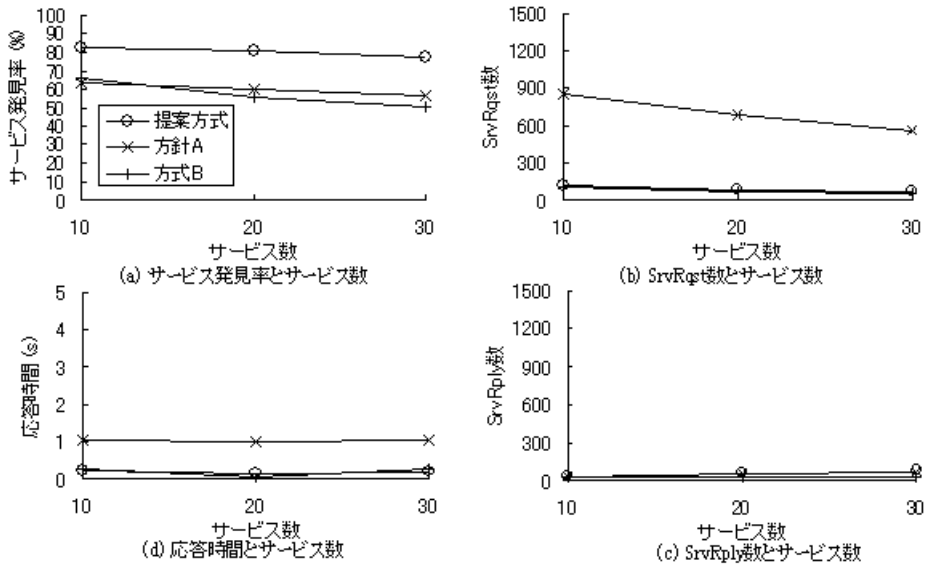


図 8 サービス数に対する評価結果  
Fig. 8 Results of the evaluation for number of services.

くなっているが、14s および 50s からは同程度となっている。なお、提案方式および方式 B の双方において 33s からメッセージ数が増加するのは、各ノードが構成情報を蓄積してから有効期限の時間が経過し蓄積している構成情報を破棄するため、蓄積を持つノード数が減少することを示している。また提案方式は方式 A と比べ、0s から 3s にかけてメッセージ数が多くなっているが、時間経過にともない大幅にメッセージ数は小さくなっており、方式 A のように継続的に多くのメッセージ数を必要としないことが分かる。

(3) サービス発見に要する時間 (図 5(d), 図 6(d))

図 5(d) および図 6(d) に示すとおり、蓄積機能を用いる提案方式と方式 B は、方式 A に比べ応答時間が小さく、方式 A はサービス発見を行うクライアント数の増加にともない応答時間が単調増加している。なお、図 6(d) よりノードが速く移動する評価条件 D, E, F で提案方式はサービス発見要求を行ってから応答を得るまでの時間は 200 msec 程度となる。

また方式 A においてトポロジが変化しない条件下の応答時間は、ノードが速く移動しトポロジが変化する場合に比べ大きくなることが明らかになった。これは、輻輳のためメッセージを伝送する時間が大きくなり、かつ、トポロジが変化しないために特定のノードにおいて生じた輻輳が継続的に続くためと考えられる。

(4) サービス数に対する評価結果 (図 8)

評価条件 D においてサービス数を変化させた場合の評価結果を図 8 に示す。提案方式はいずれのサービ

ス数においても方式 A および B に比べサービス発見率が大きくなっている。方式 A はサービスを提供するノードが SrvRqst のブロードキャストを行わないことから図 8(b) に示すとおりサービス数が増加するにともない SrvRqst 数が少なくなっている。なお方式 A のサービス発見率はサービス数の増加にともないわずかであるが減少している。これは、サービスを提供するノードが受信した SrvRqst のブロードキャストを行わないため発見することができなくなるサービスが生じたためと考えられる。提案方式の SrvRqst 数がサービス数の増加にともない多くなっているのは、3.2.2 項で述べたとおり提案方式は応答元ノード数に応じて要求元ノードが送信する SrvRply 数が多くなることを示していると考えられる。

#### 4.4 考 察

提案方式は方式 B および蓄積機能を用いないために発見できるサービス数の増加の観点からは有効と考えられる方式 A の双方に比べサービス発見率が大きくなることが明らかになった。

方式 A はサービスを提供するノードから直接構成情報を取得するため順実時間でネットワーク上に提供されているサービスを発見することができる。これに対し提案方式においてクライアントが取得する構成情報には、サービスを提供するノードがその構成情報を応答後一定時間蓄積に保存された構成情報がある。したがって評価条件 D, E および F のようにノードが速く移動する場合、蓄積から構成情報を取得した時点で

クライアントはサービスを提供するノードと通信を行うことができない場合が考えられる。しかしながら、評価条件 D, E および F と同様の条件において誤り率 5% 程度で通信を行うことができることが報告されていることから<sup>9),10)</sup>, クライアントがサービス発見後そのサービスを提供するノードと通信を行うことができなくなってしまう場合は非常に少ないと考えられる。これより、蓄積している構成情報は、その構成情報を取得したクライアントがサービスを提供するノードと通信を行うことができる情報と考えることができる。

また、方式 A は、評価結果よりサービス発見要求を行ってから応答を得るまでの応答時間が蓄積を用いる提案方式および方式 B に比べ大きくなることが明らかになった。したがって、迅速にサービスを提供するノードと通信を開始するためには蓄積を用いる方式が有効といえる。

以上、本章で示した評価結果から、サービス発見に必要となるメッセージ数および応答時間を蓄積機能の導入を行った従来方式と同程度に抑制しつつサービス発見率を向上させる提案方式は有効といえる。

## 5. おわりに

本稿では、アドホックネットワークにおけるサービス発見方式を提案した。

従来、サービスの発見の要求を行うためにブロードキャストするメッセージ数の削減を目的として蓄積機能を導入した方式が提案されていた。しかしながら、ブロードキャストするメッセージ数の削減を図る一方で本来発見されるべきサービスを発見することができなくなってしまう問題があった。

提案方式では、蓄積機能を導入した方式にサービスの発見要求を行ったノードが取得した構成情報をその構成情報の提供元のノードに向かって送信する拡張を図った。また、提案方式の有効性を検証するため発見したサービス数の割合であるサービス発見率、サービス発見に必要なメッセージ数および応答時間についてシミュレーション評価を行った。その結果、サービス発見に必要なメッセージ数および応答時間を蓄積機能を導入した従来方式と同程度に抑制しつつサービス発見率を向上させる提案方式の有効性を明らかにした。

今後は、アドホックネットワークのためのサービス発見方式におけるセキュリティへの対策などが課題である。

謝辞 日頃ご指導いただく(株)KDDI 研究所浅見所長, 松島副所長, 水池取締役に感謝する。

## 参考文献

- 1) Guttman, E., et al.: Service Location Protocol, Version 2, IETF, RFC 2165 (1999).
- 2) Salutation Specification, 2.0b ed., The Salutation Consortium Inc. (1997).
- 3) Jini architectural Overview, Sun Microsystems Inc. (1999).
- 4) Nidd, M.: Service Discovery in DEAPspace, *IEEE Personal Commun. Mag.* (Aug. 2001).
- 5) Feeney, L.M., et al.: Spontaneous Networking: An Application-Oriented Approach to Ad Hoc Networking, *IEEE Commun. Mag.* (June 2001).
- 6) Sessa, S., et al.: Arguments for Cross-Layer Optimizations in Bluetooth Scatternets, *Symposium on Applications and the Internet (SAINT '01)* (2001).
- 7) Perkins, C.E., et al.: Ad Hoc On-Demand Distance-Vector (AODV) Routing, IETF Internet Draft (draft-ietf-manet-aodv-03.txt) (July 2001). work in progress
- 8) シミュレーションモデル開発実行環境 OPNET Modeler, OPNET Technologies, Inc. <http://www.opnet.com>
- 9) Broch, J., et al.: A performance comparison of Multi-hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols, *Proc. IEEE/ACM Mobicom '98* (1998).
- 10) Perkins, C.E., et al.: Performance Comparison of Two On-Demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks, *IEEE Personal Commun. Mag.* (Feb. 2001).
- 11) Johansson, P., et al.: Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks, *Proc. IEEE/ACM Mobicom '99* (1999).

(平成 14 年 3 月 26 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



茂木 信二 (正会員)

昭和 49 年生。平成 9 年筑波大学第三学群基礎工学類卒業。平成 11 年筑波大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, KDD (株) (現 KDDI (株)) 入社。以来, アドホックネットワーク, モバイルネットワーク, 分散処理に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



吉原 貴仁

昭和 45 年生．平成 5 年東京工業大学工学部情報工学科卒業．平成 7 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了．同年，国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社．以来，

ネットワーク管理，ネットワークアルゴリズム，分散処理の研究に従事．情報処理学会平成 9 年度全国大会大会優秀賞，電子情報通信学会平成 13 年度学術奨励賞を受賞．電子情報通信学会会員．



堀内 浩規

昭和 35 年生．昭和 58 年名古屋大学工学部電気工学科卒業．昭和 60 年名古屋大学大学院情報工学専攻修士課程修了．同年，国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社．現在，KDDI

研究所ネットワークサービスグループグループリーダー．工学博士．この間，ネットワークアーキテクチャ，通信プロトコルの形式記述，ネットワーク管理，分散処理の研究に従事．平成 4 年度電子情報通信学会学術奨励賞，平成 8 年度ならびに平成 12 年度情報処理学会全国大会優秀賞を各受賞．電子情報通信学会会員．



小花 貞夫

昭和 28 年生．昭和 51 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業．昭和 53 年慶應義塾大学大学院修士課程修了．同年国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社．平成 13 年まで KDDI

研究所にて，パケット交換方式，ネットワークアーキテクチャ，OSI プロトコル実装，データベース，ビデオテクス，分散処理，ネットワーク管理，ITS の研究・開発に従事．現在，KDDI(株)技術開発本部 ITS 開発部部長．工学博士．平成 13 年度文部科学大臣賞(研究功績者)受賞，本会理事(平成 11 年～12 年度)，本会フェロー，電子情報通信学会会員．