

# モバイルアドホックネットワークのための動的サービス提供グループに基づくサービス発見プロトコル

白 雪峰<sup>†a)</sup> 大田 知行<sup>†</sup> 角田 良明<sup>†</sup> 伊藤 篤<sup>††</sup>

A Service Discovery Protocol Based on Dynamic Service Provision Groups  
for Mobile Ad Hoc Networks

Xuefeng BAI<sup>†a)</sup>, Tomoyuki OHTA<sup>†</sup>, Yoshiaki KAKUDA<sup>†</sup>, and Atsushi ITO<sup>††</sup>

あらまし アドホックネットワークでは、ユーザはどのようなサービスがネットワーク上のどのノードで提供されているかを把握することが困難である。そのため、ユーザ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、サービスの迅速な利用を可能とするために必要となる。従来では、ブロードキャストを用いる方式とキャッシュ機能を導入した方式が提案されていたが、サービス発見要求を行うユーザ数の増加に伴いメッセージ数が増大しふくそうの原因となってしまうという問題があった。本論文では、メッセージ数を削減することを目的として、サービス提供グループ動的構成を特徴と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し、シミュレーション実験により提案法の効果を示す。

キーワード アドホックネットワーク、サービス発見方式、動的サービス提供グループ

## 1. ま え が き

モバイルアドホックネットワークとは、アクセスポイントなどの交換機や基地局を必要とすることなく、交換機能をもつモバイル端末だけで、一時的かつ、動的に構築される自律分散型ネットワークのことをいう[1]。アドホックネットワークでは、端末自体が交換機機能を有しているため、移動端末は固定インフラに依存しないで、自由に動かすことができる。遠くに離れたユーザとの通信は、相手のユーザの途中にいるユーザの端末を経由することにより行うことができる。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ユーザとしてモデル化することができる。固定ネットワークでは、どのようなサービスがどのノードで提供

されているかを把握することは比較的容易である。一方、アドホックネットワークでは、ユーザ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、どのノードがそのサービスを提供しているかをあらかじめ把握することはできない。そのため、ユーザ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、サービス設定手順を簡略化するだけでなく、サービスの迅速な利用を可能とするために必要となる[2]。サービスは、人がソフトウェアプログラムで使用することができる計算、ストレージ、別のユーザへの通信チャネル、ソフトウェアフィルタまたはハードウェアデバイスであるかもしれない。

現在サービス発見方式としては、SLP (Service Location Protocol)[3]、Salutaion [4]、Jini [5]、UPnP [6]、UDDI [7]などが提案されている。これらのプロトコルは集中的 (centralized)、サービス登録指向 (registration-oriented) のプロトコルで、基本的にネットワーク上で提供されているサービスの、例えばIPアドレス、ポート番号、及び設定パラメータなどから構成情報を集めたセンタサーバをあらかじめ設け、ユーザがセンタサーバに問い合わせることでサービスの発見を行う、すなわち、あらゆるノードから集結さ

<sup>†</sup> 広島市立大学情報科学部, 広島市

Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University,  
3-4-1 Ozuka-Higashi, Asa-Minami-ku, Hiroshima-shi, 731-  
3194 Japan

<sup>††</sup> KDDI 株式会社, 東京都

KDDI Corporation, 3-10-10 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo,  
102-8460 Japan

a) E-mail: bai@pe.ce.hiroshima-cu.ac.jp

れたサービスのデータベース（センタサーバ）を維持し、アクセスすることができるという仮定で設計されている [8]。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適用することは困難となる [9], [10]。その理由は、まず、アドホックネットワークでは、ノードがランダムにネットワークに加わる、去ることができるので、したがって、永久に、どんなノードもネットワークの一部ではない。そのようなネットワークでは、最初に集結されたサービス情報などもつサーバを維持することが難しい。次に、アドホックネットワークのダイナミックな本質のために、サービスが去るとき、ネットワークに加わる時に、常に自分の存在に関する情報をセンタサーバに通知しなければならないので、これはスケーラビリティの問題になる [11]。これらの要素を考えると、アドホックネットワークでは分散的（decentralized）なサービス発見方式が適切である。

この問題を解決するいくつかの簡単な方法が提案されてきた。まず Push-Based 型、この方式では、サービスを提供するノードが自分自身のサービス情報を定期的にネットワーク上でブロードキャストする。ユーザはこのブロードキャストメッセージを受信することによって、サービスを発見できる。この方式では集中的（centralized）アプローチと同様な問題、また迅速なサービス発見はできないなどの問題がある。もう一つは Pull-Based 型である。この方式ではユーザがアクティブにサービス発見要求をネットワークにブロードキャストし、サービス提供者がこのサービス発見要求メッセージを受信し、応答メッセージに返信することによって、サービスを発見できる。そこで、センタサーバを用いず、ユーザ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ユーザ数の増加に伴いブロードキャストするメッセージ数が増大し、ふくそうの原因となってしまう問題がある。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キャッシュし、新たなサービス発見要求を受信した場合にキャッシュをもとに返信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 [10]。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、本論文では、Pull-Based 型の従来方式よ

りもサービス発見要求を行うためのブロードキャストメッセージ数を削減することを目的として、動的サービス提供グループに基づく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。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では、従来のサービス発見方式について説明する。3. では、提案手法について説明する。4. では、シミュレーション実験によって提案手法を評価する。5. では、将来課題とともにまとめを述べる。

## 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の利用に適する状況例として、様々な場所、不特定な人数での速やかな情報共有環境の構築「災害現場」「車々間ネットワーク」「ゴルフ場、ハイキング」。半固定的に設置されたセンサ情報の収集などが挙げられる。端末同士が通信することにより、収集エリアの簡便な構築/変更（エリア拡大・縮小・移動）が可能となる。ここでは、サービス発見方式を用いる例として、国際会議、展示場、ポスター/デモセッションにおいて、発表者、及び展示者が聴講者向け情報を聴講者に提供するシナリオを示す（図 1）。

会議場では、展示者とユーザのもつ端末によってアドホックネットワークが構築される。ユーザは展示場に到着すると、まず会場の入口で登録を行うことで、自分のもつ端末が会場にあるアドホックネットワークに参加することを承知する。結果として、端末は会場にあるアドホックネットワークの一つのノードになる。ユーザはアドホックネットワーク上に存在するサービス（展示情報）を利用する際、そのときに会場でどんな展示や、デモの提供が行われているのかを知るため

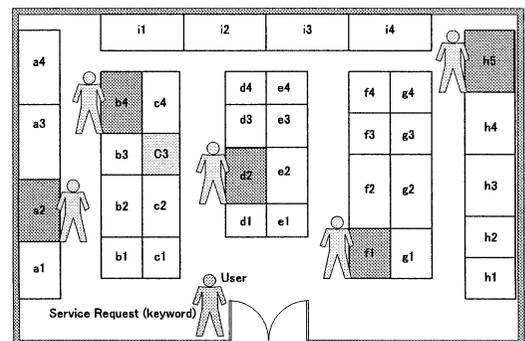


図 1 サービス発見を用いるシナリオ例

Fig. 1 Scenario of service discovery protocol.

にサービス発見方式を活用する。

ユーザは自分が興味をもつ展示を聞くために、聞きたい展示の展示資料をダウンロードする。ユーザは展示場にあるキーワードに関連する展示資料をダウンロードする。一般的にユーザがもつ端末は、サービス発見するために Service Request メッセージをアドホックネットワーク上にブロードキャストする。ユーザの要求を満たすサービスプロバイダ(展示者)のノードは Service Reply メッセージをユーザに返答する。もし同じ興味をもつユーザが複数存在する場合、同じサービスを発見するときにユーザの要求に応じてサービスプロバイダはサービス提供グループを形成する、例えば (a2, b4, d2, f1, h5) である。新たなユーザが同じサービスを要求すると、サービス提供グループが存在することにより、ユーザは速やかにサービスを発見できる。サービス提供グループの中で Service Reply メッセージをユーザに返答するサービスプロバイダを特定せず、サービス提供グループに含まれるいずれかのサービスプロバイダが Service Reply をユーザに返答することにより、応答性が高くなる。また、ユーザの興味が変化するので、これに伴い、サービス提供グループは動的に構成することができる。

2.2 従来のサービス発見方式

アドホックネットワークは、ルータ、ノード及び基地局などを固定的に設置でき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は困難となる。そこで、センタサーバを用いない分散的 (decentralized) 方式がアドホックネットワークでは必要となり、最も有効な Pull-Based 型で以下に示す方式が提案されている。

2.2.1 ブロードキャストを用いる方式

SLP, Salutation 及び Jini はセンタサーバを用いる方式に加え、以下のようなセンタサーバを用いない方式がある。ユーザ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方式がある。ユーザは発見するサービスを特定するための情報、例えば SLP では、“http”, や “FTP” などの IANA 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 メッセージをブロードキャストする [12]。Service Request を受信したノードは、受信した Service Request 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 Service Request のブロードキャストを続け

る。Service Request 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 Service Request を受信するまで Service Request の受信とブロードキャストは繰り返される。このようなサービスを提供するノードが Service Request 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 メッセージを返信する。なお、Service Reply の返信を行ったノードは Service Request のブロードキャストを停止する。ユーザは、Service Reply を受信することにより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ユーザ数の増加に伴いブロードキャストするメッセージ数が増大しふくそうが起こるといった問題がある。またサービスを提供するノードは Service Request のブロードキャストを行わないため、同じサービスを提供する別のノードが Service Request を受信できなくなるという問題がある。この場合、Service Request を受信しないサービスを提供する他のノードは Service Reply を応答しないため、ユーザはそのサービスを発見することができない。

2.2.2 キャッシュ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を抑制するためにキャッシュ機能を導入した方式が提案されている [13]。図 2 に従い説明する。C1 はサービス種別を指定した Service Request をブロードキャストする (図 2: 1, 2, 3)。Service Request 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 はユニキャストにより構成情報を含む Service Reply を返信する (図 2: 4, 5, 6)。なおこのとき S2 は Service Reply を C1 に着信させるための経路が N2 を通過することを示す経路情報を用いて N2 に Service Reply を送信する。経路情報は AODV [14] などのルーチングプロトコルにより提

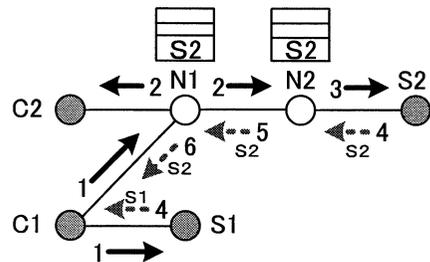


図 2 キャッシュ機能を用いる従来のサービス発見方式  
Fig. 2 Process of introduced the cache function.

供される。Service Reply を受信した N2 は、Service Reply に含まれる構成情報 (S2) をキャッシュし経路情報を用いて C1 に至る経路となる N1 に Service Reply を送信する。N1 も N2 と同様にキャッシュを行い C1 に Service Reply を送信する。

新たなユーザ C2 が C1 と同じサービス種別を指定して Service Request をブロードキャストした場合、N1 は受信した Service Request に指定されるサービス種別の構成情報をキャッシュしているため直ちに Service Reply を返信し、受信した Service Request のブロードキャストは行わない。

このようにサービスを提供するノード以外にキャッシュをもつノードが応答し、なおかつ他のノードにブロードキャストを抑制するキャッシュ機能を導入した方式は、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、有効といえる。しかし、アドホックネットワークでは、ノードが移動するために、キャッシュ機能を導入することが難しいという問題がある。キャッシュする中継ノードの密度、中継ノードの更新頻度によって、古くて正しくないサービス情報を取得する可能性がある。また、キャッシュをもつ中継ノードが応答した場合 Service Request の再ブロードキャストは行わないので、蓄積をもとにユーザ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があっても、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る。結果的に、ブロードキャスト方式と同様、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起こる [15]。

### 2.2.3 他のアプローチ

アドホックネットワークにおけるサービス発見方式では、様々な研究が提案されている。[16] では、サービス情報を広告に返答がない間、ルーチングに地理的な情報を使用するアプローチである。サービス提供者は定期的にサービス構成情報を地理的な軌道キャッシュに沿って広告を送る。ユーザがサービス要求するとき、そのサービス要求メッセージにこたえるのは、サービス構成情報を広告するルートとサービス要求メッセージを広告するルートの交差するノードである。この方式では、ノードの密度が十分高いと仮定して、更に多くのノードがサービス構成情報の広告をキャッシュする必要がある。したがって、無線かつリソース制約されたアドホックネットワーク上のリソース消費の問題が存在する。リソース消費は地理的な位置（例えば、GPS）の必要なサポートで更に上がる。

## 3. 提案するサービス発見方式

### 3.1 提案方式によるサービス発見

提案方式の最大の特徴は、ユーザからのサービス発見要求によるサービス提供グループ動的構成である。既存方式（図 3(a)）では、ユーザがサービス種別を指定しサービス発見要求を行う Service Request メッセージをブロードキャストする。Service Request を受信したノードが、受信した Service Request に指定されるサービス種別と一致するサービスを提供していない場合、受信した Service Request を更にブロードキャストする。この Service Request の受信と再ブロードキャストは Service Request 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 Service Request を受信するまで行われる。Service Request 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（サービスプロバイダ）が Service Request 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 メッセージをユーザに対して返信する。既存方式（図 3(a)）では、ユーザのサービス要求 A, B, C に対して、サービスプロバイダ SP(A), SP(B), SB(C) のそれぞれがユーザからのサービス発見要求を受信し、ユーザへ Service Reply を返信している。提案方式（図 3(b)）でも既存方式と同様にユーザがサービス種別を指定しサービス発見要求を行う Service Request メッセージをブロードキャストする。提案方式では、サービスプロバイダがユーザからのサービス発見要求に応じて、サービス提供グループを動的に構成する。したがって、サービス提供グループのサイズ、つまりグループのメンバ数

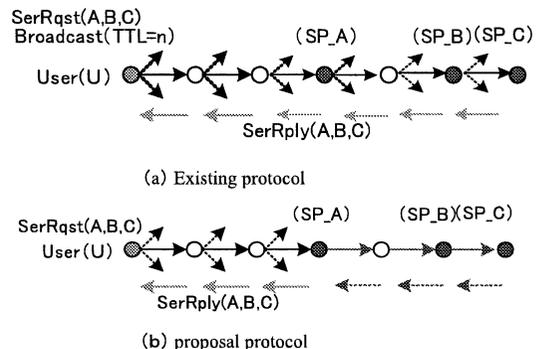


図 3 既存方式と提案方式によるサービス発見  
Fig. 3 Service discovery by existing protocol and proposed protocol.

は、Service Request によるユーザの要求に応じて増減する。サービス提供グループを初期構成するときには Service Request を複数のユーザから一定回数受信した場合、Service Request に含まれたサービス数がサービス提供グループのメンバ数となる。再構成するときには既に構成されたサービス提供グループのメンバ数と Service Request に含まれたサービス数の差が増減されるメンバ数となる。詳しくは、3.2 で述べている。結果として、他のユーザが同じサービスを要求するために Service Request メッセージをブロードキャストするとき、既に構成されたサービス提供グループのメンバの一つがこのメッセージを受信することにより、サービス発見のためのブロードキャストメッセージを削減することができる。提案方式 (図 3 (b)) では、ユーザのサービス発見要求 A, B, C に対して、サービスプロバイダ SP(A), SP(B), SP(C) がサービス提供グループを構成していれば、サービス要求を受信したサービスプロバイダ SP(A), SP(B), SP(C) のうちの一つがユーザからのサービス発見要求を受信するだけで、ユーザへ Service Reply を返信する。

ユーザのサービス発見要求のときに、すべてのサービスを探す必要がないため、サービス発見時のブロードキャストメッセージの削減を実現することができる。これは、アドホックネットワークの大規模化に伴い、ブロードキャストメッセージの削減効果が大きくなると考えられる。また、既存方式より短時間でサービスを発見することができる。具体例 (図 4) を用いてサービス提供グループの効果を示す。ユーザのサービス発見要求によって、サービス a, b, c, d, e の 5 種類のサービスによって構成されているサービス提供グループ G が構成されているとする。ユーザが TTL=n で Service Request(G) をブロードキャストする (図 4 :

1)。この Service Request メッセージを受信した G のメンバノード d は、この Service Request メッセージを他のサービス提供グループメンバに送信する (図 4 : 2)。各メンバの状態を確認した後に、メンバノード d がユーザに Service Reply を返信することにより、ユーザはサービスを発見できる (図 4 : 3)。

### 3.2 サービス提供グループ動的構成

本節では、アドホックネットワーク上でのサービス提供グループの初期構成と再構成の方法を示す。

#### 3.2.1 サービス提供グループの初期構成

サービスプロバイダ  $SP\{SP(1), SP(2), \dots, SP(n)\}$  がそれぞれサービス  $S\{s(1), s(2), \dots, s(n)\}$  を提供しているとする。ユーザがサービス発見するために、Service Request  $\{S(r)\}$  をブロードキャストする。ここで、 $S(r) = \{s(i), \dots, s(j), \dots, s(k)\}$  とする。S(r) の構成要素である s(i) サービスを提供している SP(i) が同じ Service Request  $\{s(r)\}$  を複数のユーザから d 回受信した場合、動的にサービス提供グループを初期構成する。その手順を以下に示す。

1. SP(i) は Invite メッセージをブロードキャストする。
2. Invite メッセージを受信した S(r) のサービスを提供しているサービスプロバイダは Join メッセージを SP(i) に返信する。
3. SP(i) がすべてのメンバから返信を受け取って、サービス提供グループを構成する。このとき、グループメンバ間の経路をマルチキャストルーティングプロトコル MAODV の手順に従いトリーを構成する [17]。

トリー上の親ノードと子ノードの間に論理リンクを保持し、Service Request メッセージ及び Service Reply メッセージは論理リンクを通過する。実際には、論理リンクは物理リンクの列で構成されているが、MAODV の手順に従い親ノードから子ノードへマルチキャストするため、ノードが移動しても論理リンクが接続されている限りメッセージの送受信に支障はない。

複数の SP(i) が Service Request  $\{S(r)\}$  を受信した場合、Service Request  $\{S(r)\}$  を含むサービス  $s(i), \dots, s(j), \dots, s(k)$  は、各サービスに優先度を付け、優先度の高いサービスプロバイダは優先的にサービス提供グループを構成する。例えば、SP(i), SP(j) が同じサービス提供グループを二つ構成しようとするときに、ユーザの要求に応じて、例えば、要求する順位など、優先度の低い SP(j) を廃棄する。

Service Request メッセージはトリー上の親ノード

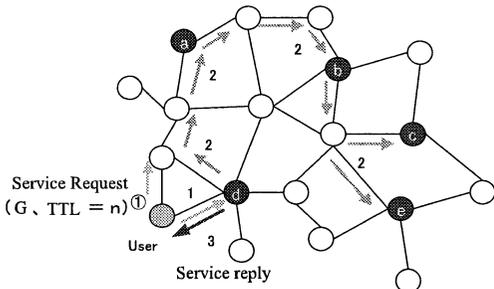


図 4 提案方式によるサービスの発見手順  
Fig. 4 Process of proposed protocol.

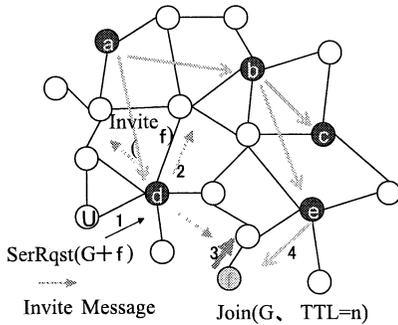


図 5 グループメンバの追加  
Fig. 5 Addition of group member.

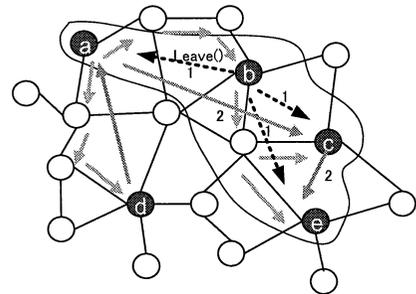


図 6 グループメンバの削除  
Fig. 6 Deletion of a group member.

から MAODV [17] を利用し子ノードに転送する，同時にトリー構成情報を更新する．この処理によって，中継ノードで Service Request の再ブロードキャストを行わないことによってサービス発見できないというキャッシュ方式の問題を解決できる．

### 3.2.2 サービス提供グループ再構成

ユーザのサービス発見要求に対して柔軟に対応するため，サービス提供グループに対して新たなサービスの追加，及びサービスの削除を行う必要がある．ユーザのサービス発見要求に応じて，サービス提供グループ内のサービスの追加と削除を行うことにより，サービス提供グループの再構成を行う．

#### サービス提供グループのサービスの追加

アドホックネットワーク上でサービス提供グループ  $G(a, b, c, d, e)$  が存在する．ユーザが新たなサービス  $(G+f)$  を要求すると，サービス提供グループ  $G$  はこの要求に対応する必要がある．追加の手順は以下のとおりである．

ユーザが新たな Service Request  $(G+f)$  をブロードキャストする (図 5 : 1)．サービス提供グループ  $G$  のメンバノード  $d$  がこの Service Request メッセージを受信したときに，サービス提供グループ  $G$  には，サービス  $f$  が含まれていないことを認識する．このとき， $d$  は Invite  $(f)$  メッセージをブロードキャストする (図 5 : 2)．サービス  $f$  を提供するノード  $f$  が Invite  $(f)$  メッセージを受信した場合，ノード  $f$  はサービス提供グループ  $G$  に参加するために Join  $(G)$  メッセージを  $TTL=n < H(d, f)$  でブロードキャストする (図 5 : 3)．ここで， $H(d, f)$  はノード  $d$  とノード  $f$  間のホップ数とする．この処理によって，ノード  $f$  に一番近いサービス提供グループ  $G$  のメンバノードに対して Join メッセージを返信する (図 5 : 4)．この処理によって，

トリー上に論理リンクを容易に追加することができる．

#### サービス提供グループのサービスの削除

サービス提供グループのメンバ  $b$  がサービスを提供できなくなる．また，ユーザからのサービス発見要求に含まれなくなった場合， $b$  を削除することにより，サービス提供グループ  $G$  を再構成する必要がある．この処理は以下のとおりである．

まず，メンバノード  $b$  は Leave メッセージを隣接のグループメンバに送信する (図 6 : 1)．Leave メッセージを受信したノード  $a$  は，その情報に基づいてノード  $c$  と  $e$  に対してのみ，Invite  $()$  メッセージを送ることによって，局所的にトリーを再構成する (図 6 : 2)．

削除されたノードがトリーの末端ノード (次数 1 のノード) の場合，末端ノードとその親ノードの間の論理リンクが削除されるだけであり特に問題はない．削除されたノードがトリーの間ノード (次数 2 以上のノード) の場合，中間ノードの親ノードと中間ノードの (1 個以上の) 子ノードの間，あるいは，中間ノードの子ノードと中間ノードの他の子ノードの間に論理リンクを接続し直すだけである．このように局所的にトリーを再構成するためサービス提供グループの動的構成は効率的である．

Algorithm1 はサービス提供グループ  $G$  を動的に再構成する追加，削除処理を示している．

### 3.2.3 サービス提供グループの消滅

サービス提供グループは生存時間をもっているため，ある時間内利用されない場合，サービス提供グループは自動的に消滅する．

## 4. シミュレーション評価

提案方式の有効性を確認するために，ネットワークシミュレータ ns を用いて評価を行う [18]．各ノードの

*Algorithm 1: Reconfiguration pseudo-code*

```

1: /*Invite SP(a) to Service Provision Group G*/
2: Invite(G, SP(a))
3:
4: /*Join(G) by a service provider SP(a) with ttl = n*/
5: Join(G, ttl=n, SP(a))
6:
7: /*Leave(G) by a service provider SP(a); */
8: Leave(G, SP(a))
9:
10: /*Reconfiguration: Add f to Service Provision Group G*/
11: Reconfiguration(G)::add(f)
12: {
13: if SP(i) received service request (G+f), i ∈ G then
14:   Broadcast Invite(G, SP(f)) message;
15:
16: if SP(f) received Invite(G, SP(f)) then
17:   Broadcast Join(G, ttl=n, SP(f));
18:
19: if SP(j) received Join(G, ttl=n, SP(f)), j ∈ G then
20:   add logical links from SP(j) to SP(f);
21: }
22:
23: /* Reconfiguration: Delete b from G */
24: Reconfiguration(G)::delete(b)
25: {
26: if SP(i) received Leave(G,SP(b)) message, i, b ∈ G
27:   then send Invite(G, SP(b->children) ) message;
28:
29: if SP(k->children) received Invite(G,SP(k->children)) then
30:   broadcast Join(G, ttl=n, SP(k->children));
31:
32: if SP(i) received Join(G,ttl=n,SP(k->children)) then
33:   add logical links from SP(i) to SP(k->children);
34:
35: }
36:

```

電波の到達距離は 250 m とし通信帯域を 2 Mbit/s とする。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 [19] とする。ノード数 50 で、各ノードは 1500 m × 300 m の領域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。ここで、移動する速さは 0 ~ 1 m/s とする。評価結果は各条件で 10 回のシミュレーションを試行した結果の平均値とする。提案方式の比較対象としては、従来方式のブロードキャスト方式とする。キャッシュ方式では、キャッシュの管理及び更新にオーバーヘッドがかかる上に、キャッシュする中継ノードが多く、中継ノードの更新頻度が低いと、古くて正しくないサービス情報を取得する可能性が高まる。提案方式では、サービス提供グループの動的構成によって、キャッシュ方式の問題を解決できる。したがって、本論文では、キャッシュ機能を導入した方式を比較評価の対象としないことにする。

サービス発見手順に依存するルーチング技術は以下のとおりである。ユーザは Service Request メッセージをブロードキャストする。ここで Service Request

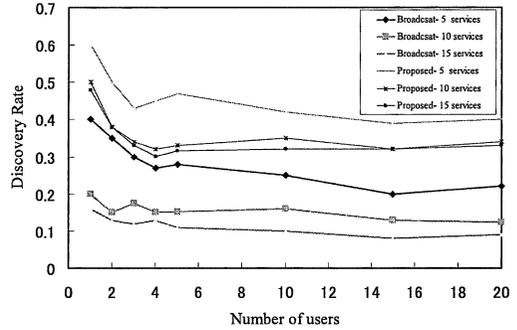


図 7 サービス発見率  
Fig. 7 Simulation results on the rate of service discovery.

メッセージの有効ホップ数は 3 とする。サービス提供グループのメンバ  $S_m$  が Service Request メッセージを受信し、他のメンバに MAODV を利用して、Service Request メッセージを送信する。他のメンバはこのメッセージに対して、ユニキャストで Service Reply メッセージを  $S_m$  に返信する。最後に、Service Request メッセージを受信した  $S_m$  が代表として、ユーザに Service Reply メッセージをユニキャストで返信する。

4.1 評価結果

4.1.1 サービス発見率の評価結果

図 7 では、サービス数 5, 10, 15, ユーザ数 1 から 20 の提案方式とブロードキャスト方式のサービス発見率を示した。ここで、サービス発見率は Service Request メッセージ総数に対する Service Reply メッセージ総数の割合とする。図 7 に示すとおり、ブロードキャスト方式では、提案方式に比べサービス発見率が低く、ユーザ数の増加に従いサービス発見率が減少してしまっている。これに対して、提案方式はブロードキャスト方式に比べ、ユーザ数が増加しても、発見率の大幅な減少はなかった。これは、Service Request メッセージが動的サービス提供グループのいずれかのメンバに届けば、そのグループのすべてのメンバでサービスを提供できるという提案方式の特長に起因している。

4.1.2 応答時間の評価結果

図 8 のとおり、ユーザ数を 10, 20, 30 に固定するとき、ブロードキャスト方式と提案方式の応答時間を示した。ここで、ブロードキャスト方式の応答時間は、複数のサービスを発見した時間の最長時間とする。提案方式はブロードキャスト方式より応答時間が短い。またサービス提供グループのサービスの増加により、

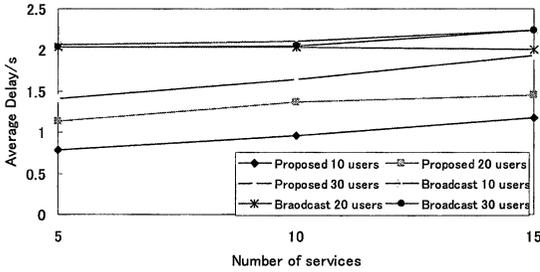


図 8 応答時間：サービス数の増加  
Fig. 8 Simulation results on response time: Increment with number of services.

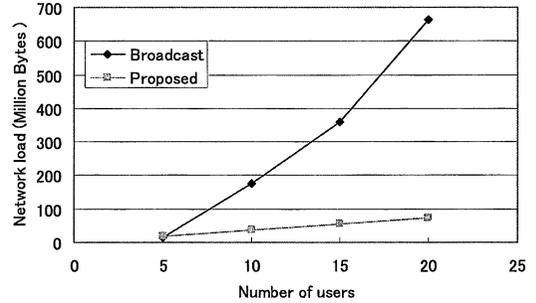


図 10 ネットワーク負荷  
Fig. 10 Simulation results on the network load.

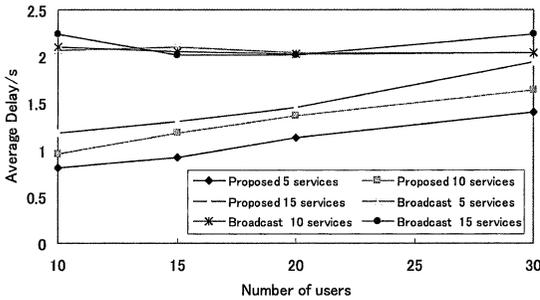


図 9 応答時間：ユーザ数の増加  
Fig. 9 Simulation results on response time: Increment with number of users.

表 1 MAODV にかかるネットワーク負荷  
Table 1 Network load of MAODV.

|                    | 5 user | 10 user | 15 user | 10 user |
|--------------------|--------|---------|---------|---------|
| ネットワーク負荷全体         | 36.59  | 47.63   | 56.01   | 72.68   |
| MAODV にかかるネットワーク負荷 | 35.39  | 44.35   | 54.99   | 62.69   |

unit: MByte

サービス発見の応答時間は、大きく変化することはない。原因としては、サービス提供グループの一つのメンバが代表としてユーザに返信をすること、及びサービス提供グループのトリー構造によって各メンバ間のメッセージの送受信が効率的であることが考えられる。

図 9 に示すとおり、サービス数を 5, 10, 15 に固定するとき、ユーザ数の増加に伴い、応答時間は緩やかに増大することが分かった。これはユーザが同時に Service Request メッセージをサービス提供グループに送信するが、ユーザとサービス提供グループの間の最短ホップがユーザ数の増加とともに長くなるからである。また、Service Request メッセージの有効ホップ数は 3 のため、既存のブロードキャスト方式では、発見できたサービスは、ユーザの近くにいると考えられる。これに対して、提案方式は、サービスはユーザの近くにいるとは限らないが、提案方式の応答時間はブロードキャスト方式より短い。

#### 4.1.3 ネットワーク負荷の評価結果

図 10 では、サービス数 10, ユーザ数 5, 10, 15, 20 の提案方式とブロードキャスト方式のネットワーク負

荷を示した。ここで、ネットワーク負荷は MAC 層の転送パケットの総数とする。ユーザ数の増加に従い提案方式のネットワーク負荷はブロードキャスト方式に比べ著しく小さい。ブロードキャスト方式では、すべてのサービスを提供するノードは Service Request メッセージを受信したときに、受信した Service Request を更にブロードキャストし、Service Reply メッセージをユーザに対して返信する。一方、提案方式では、サービス提供グループのメンバが Service Request メッセージを受信したら、再ブロードキャストしない。これによって、提案方式のネットワーク負荷は既存ブロードキャスト方式より大きく削減することができたと考えられる。

表 1 は提案方式のネットワーク負荷全体と MAODV にかかるネットワーク負荷を示している。MAODV にかかるネットワーク負荷は、ネットワーク負荷全体の大部分を占めることから、ブロードキャストする Service Request メッセージによる負荷が、非常に小さいことが分かる。したがって、提案方式は Service Request メッセージの削減において有効であるといえる。

#### 4.1.4 サービス提供グループ再構成に関する評価

サービス提供グループ再構成を評価するため、ユーザ数 10 として、シミュレーション時間内に、ランダムに以下のシナリオで、サービスの追加、削除処理を行った。

- (a)  $5 \pm 1, 10 \pm 1, 15 \pm 1, 20 \pm 1$ : それぞれサー

ビス数は 5, 10, 15, 20 のときに 1 回のサービスの追加, 削除

(b)  $10 \pm 1, 10 \pm 2, 10 \pm 3$ : サービス数は 10 のときにそれぞれ 1, 2, 3 回サービスの追加, 削除

図 11 では, サービス数の増加に伴いネットワークの負荷の増加率のシミュレーション結果を示した. 図 12 では, サービス数一定で, 再構成の頻度の増加に伴いネットワークの負荷の増加率のシミュレーション結果を示した. 提案方式では, サービス提供グループのサービスの追加, 削除処理により, ネットワークの負荷がわずかに増加したが, ネットワークの全体の負荷に与える影響は少なかった.

ネットワーク再構成においてルーチングに関する部分の負荷量は, 10 ユーザ, 10 サービスのときのサービスの 1 回の追加と削除処理において, MAODV にかかるネットワーク負荷は 0.105 MByte である. したがって, サービス提供グループの動的再構成のとき, MAODV にかかるルーチングに関する部分のネットワーク負荷が, ネットワーク全体の負荷に与える影響

は少ないといえる.

## 5. むすび

本論文では動的サービス提供グループに基づくサービス発見プロトコルを提案した. 従来方式では, サービス発見要求を行うユーザ数の増加に伴いブロードキャストするメッセージ数が増大しふくそうの原因となってしまう問題があった. シミュレーション結果によって提案方式は従来方式に比べ, サービス発見率は大きく, 提案方式の有効性を示すことができる. また, 提案方式では, 応答時間は大きく変動することはなかった. ネットワークの負荷では, 提案方式のネットワーク負荷は既存のブロードキャスト方式より大きく削減することができた. 提案方式では, サービス提供グループのサービスの追加, 削除処理により, ネットワークの負荷がわずかに増加したが, ネットワーク全体の負荷に与える影響は少なかった.

本論文の提案方式では, サービス提供グループの動的構成を行っているので, アドホックネットワークの特徴であるネットワークポロジの変動に対して, 柔軟に対応できる. そのため, サービスを中心とした次世代ネットワークでは, 提案方式は, 迅速に複数のサービスを発見し, ユーザに満足度の高いサービスを提供できる.

今後の研究課題は次のとおりである. アドホックネットワークにおける MAODV などのマルチキャストルーチングは, ある程度コントロールメッセージが増加する問題がある. その対策として, ルーチングの効率向上を目的とし, ノードの移動に対して適応的に階層構造を構成する自律分散クラスタリングを提案している [20], [21]. この階層化クラスタリング技術を利用し, 大規模なネットワークに適用可能なサービス発見方式を検討する.

本論文では, Pull-Based 型の新しいサービス発見方式を提案したが, 今後, Push-Based 型と融合させ, 大規模なネットワークに適応できる, より有効なサービス発見方式の実現を目指していく.

謝辞 本研究の一部は, 総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE-C 052308002), 文部科学省研究費補助金 (基盤研究 (C) 課題番号 15500049, 若手研究 (B) 課題番号 16700075), 及び広島市立大学特定研究費 (一般研究費, 国際学術研究費 B) のもとに実施したものである. ここに記して謝意を表す.

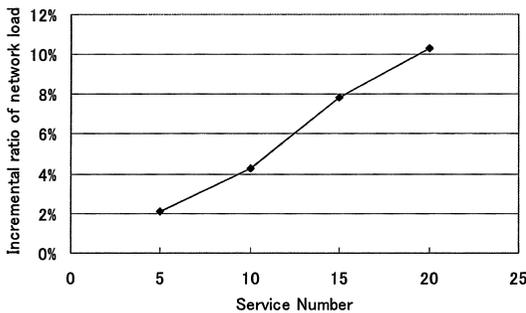


図 11 サービス提供グループ再構成の結果: サービス数の増加

Fig. 11 Simulation results on reconfiguration: Increment with number of services.

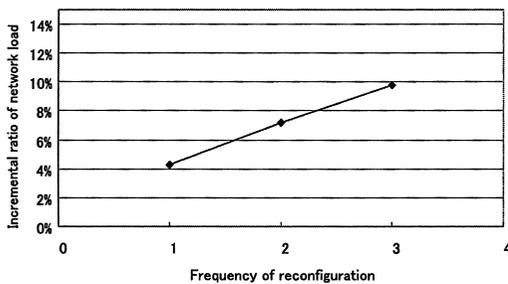


図 12 サービス提供グループ再構成の結果: 再構成頻度の増加

Fig. 12 Simulation results on reconfiguration: Increase with frequency of reconfiguration.

## 文 献

- [1] MANET, <http://w3.antd.nist.gov/wctg/manet>
- [2] X. Bai, T. Ohta, Y. Kakuda, and A. Ito, "A service discovery protocol for mobile ad hoc networks based on service provision groups and their dynamic re-configuration," Lecture Notes in Computer Sciences (LNCS), vol.3794, pp.164-174, Springer, Dec. 2005.
- [3] E. Guttman, J. Veizades, C. Perkins, and S. Kaplan, "Service location protocol," Version 2,IETF, RFC2165, 1999.
- [4] The Salutation Consortium, Salutation Architecture Specification, <http://www.salutation.org>
- [5] Sun Microsystems, <http://www.jini.org>
- [6] UPnP, <http://www.upnp.org/>
- [7] UDDI, <http://www.uddi.org>
- [8] E. Guttman, C. Perkins, J. Veizades, and M. Day, "Service location protocol, version2," IETF RFC 2608, June 1999, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2608.txt>
- [9] M. Nidd, "Service discovery in DEAP space," IEEE Pers. Commun., vol.8, no.4, pp.39-45, Aug. 2001.
- [10] L.M. Feeney, B. Ahlgren, and A. Westerlund, "Spontaneous networking: An application-oriented approach to ad hoc networking," IEEE Commun. Mag., vol.39, no.6, pp.176-181, 2001.
- [11] F. Sailhan and V. Issarny, "Scalable service discovery for MANET," Proc. PerCom, 2005.
- [12] C. Bettstetter and C. Renner, "A comparison of service discovery protocols and implementation of the service location protocol," Proc. Sixth EUNICE Open European Summer School: Innovative Internet Applications, EUNICE 2000, pp.13-15, Twente, Netherlands, Sept. 2000.
- [13] B. Raman, P. Bhagwat, and S. Seshan, "Arguments for cross-layer optimizations in Bluetooth scatternets," Symposium on Applications and the Internet, pp.176-184, 2001.
- [14] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) Routing," RFC 3561, July 2003.
- [15] 茂木信二, 吉原貴仁, 堀内浩規, 小花貞夫, "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," 情処学論, vol.43, no.12, pp.3970-3981, Dec. 2002.
- [16] N. Klimin, W. Enkelmann, and H. Karl, "A hybrid approach for location-based service discovery in vehicular ad hoc networks," Proc. 1st Intl. Workshop on Intelligent Transportation (WIT), Hamburg, Germany, March 2004.
- [17] E. Royer and C. Perkins, "Multicast ad hoc on-demand distance vector (MAODV) routing," Internet-draft, July 2000, draft-ietf-manet-maodv-00.txt.
- [18] USB/LBNL/VINT Network Simulator ns (Ver. 2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [19] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multihop

wireless ad hoc network routing protocols," Proc. IEEE/ACM Mobicom'98, pp.85-97, 1998.

- [20] T. Ohta, M. Fujimoto, S. Inoue, and Y. Kakuda, "A hierarchical routing protocol based on clustering in ad hoc networks," IEICE Trans. Commun., vol.E86-B, no.10, pp.2902-2911, Oct. 2003.
- [21] T. Ohta, S. Inoue, Y. Kakuda, and K. Ishida, "An adaptive multihop clustering scheme for ad hoc networks with high mobility," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E86-A, no.7, pp.1689-1697, July 2003.

(平成 17 年 10 月 5 日受付, 18 年 1 月 12 日再受付)



白 雪峰 (学生員)

平 11 中国遼寧石油化工大・情報科学卒 .  
平 15 広島市立大大学院情報科学研究科博士前期課程了 . 現在, 同大学院博士前期課程在学中 . アドホックネットワークの研究に従事 .



大田 知行 (正員)

平 10 広島市大・情報科学卒 . 平 12 同大学院情報科学研究科修士課程了 . 平 14 同大学院情報科学研究科博士後期課程中途退学 . 同年広島市大情報科学助手 . アドホックネットワーク, P2P ネットワーク, モバイルエージェントに関する研究に従事 . 博士 (情報工学) . IEEE 会員 .



角田 良明 (正員)

昭 53 広島大・工卒 . 昭 58 同大学院工学研究科博士課程了 . 同年国際電信電話 (株) 入社 . 平 3 阪大・基礎工・助教授 . 平 10 広島市立大・情報科学・教授 . ネットワークソフトウェア, アシユアランスシステム, アドホックネットワークの研究に従事 . 平 1 電気通信普及財団賞, 平 4 本会情報ネットワーク研究賞受賞 . 工博 . 情報処理学会, IEEE 各会員 .



伊藤 篤 (正員)

昭 56 名大・工卒 . 昭 58 同大学院工学研究科情報工学専攻了 . 同年国際電信電話 (株) 入社 . 昭 60 ~ 平 11 KDDI 研究所にて仕様記述言語, 通信ソフトウェア開発環境, IN, インターネット等の研究に従事 . 平 3 ~ 4 スタンフォード大学 CSLI 客員研究員 . 現在, 技術開発本部開発推進部及び KDDI 研究所技術企画グループ所属 . アドホックネットワーク, ビデオ会議システム等の研究開発に従事 .