

# 無線アドホックネットワークにおける 分散型 SIP サーバシステムの提案と実装

福井 淑郎† 塚田 晃司†† 泉 裕††† 齋藤 彰一††

† 和歌山大学大学院システム工学研究科      †† 和歌山大学システム工学部  
††† 和歌山大学システム情報学センター

**概要** 本研究では、無線端末で構成されたネットワークである無線アドホックネットワークで SIP を用いた音声通信を実現するのに適した分散型 SIP サーバシステムの提案、およびその実装を行なった。このシステムは SIP サーバの持つ SIP アドレス情報をネットワークを構成する個々の端末が共有する。これにより、例えば無線アドホックネットワークのような、従来の中央管理型の SIP サーバでは運用が困難な通信環境でも個々の端末が SIP アドレス情報を問い合わせることができるようにした。

## Distributed SIP Server System on Wireless Ad-Hoc Network

Yoshiro FUKUI †      Koji TSUKADA ††      Yutaka IZUMI †††      Shoichi SAITO ††

† Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University  
†† Faculty of Systems Engineering, Wakayama University  
††† Center for Information Science, Wakayama University

**Abstract** In this paper, we propose the distributed SIP server system suitable for the voice-data communication over wireless mobile ad hoc networks. This system enables each SIP terminal on unstable networks such as wireless ad hoc networks to share SIP address information with others, and to inquire it without use of traditional centralized SIP servers.

### 1 はじめに

近年、コンピュータは小型・軽量化し、モバイル機器として外出先で扱うことが増えている。加えてそれらのための無線通信インフラが充実してきているが、無線通信にはその電波を捨てる基地局が必須であり、基地局がなければ通信することは不可能である。モバイル機器には無線を用いて端末同士で直接通信する機能もあるが、それでも電波の届く範囲が限度である。そのため、最近では無線基地局を必要とせずに

ネットワークを構築できる無線アドホックネットワークが注目を集めている。

一方 IP ネットワーク上に音声を載せる技術である VoIP の発達により、音声網とデータ網の一元化が進められている。その技術を利用した IP 電話では、通話のコストを大幅に削減することができる。また PSTN 網との連携により外線も低コストで利用することができる。さらに IP 電話自体も小型化し、無線 LAN への対応に伴い、現在では携帯 IP 電話サービスも開始されている。

しかし、携帯 IP 電話も通常の無線通信と同じく電波を受信する基地局が必要であり、一般の携帯電話とさほど変わらない。そこで、携帯可能、無線 LAN への対応という利点をあわせて、無線基地局を必要としない無線アドホックネットワークでの携帯 IP 電話の運用が有用ではないかと考える。特に、限定空間内での内線的使用においては有効である。

この報告では、無線アドホックネットワークにおいて音声通信のセッションを確立するために使用される SIP アドレス情報を個々の端末で共有する分散型 SIP サーバシステムを提案、実装した結果について報告する。

## 2 研究の背景

### 2.1 無線アドホックネットワークにおける SIP の問題点

本研究では音声通信のセッションを確立するために SIP[1] を用いる。これは、現在使用されている多くの IP 電話が SIP を導入しているからである。ここで SIP について最も簡単な手法であるリダイレクトサーバの動作を例にとって電話をかける操作を説明する。

SIP では電話の相手を指定するのに、通常は SIP URI を用いて指定する。直接相手の IP アドレスとポート番号を指定しても通信できるのだが、相手の IP アドレスが不明の場合や、接続する端末が変わる場合にはいちいち相手に確認しなければならないので、非効率なためである。

図 1 のような構成の無線アドホックネットワークで、ClientA に接続した UserA から ClientB に接続している UserB に電話を掛けるとする。SIP サーバへの経路が確保されているのなら特に問題は起こらない。UserA は UserB に電話をかけるために、最寄の SIP リダイレクトサーバである SIPserver に UserB の SIP URI を用いて問い合わせる。そこで SIPserver は UserB の現在の IP アドレスなどに変換して UserA に返答し、UserA は改めて UserB を直接指定して電話をかける。

ここで問題となるのは、無線アドホックネットワークにおいてはその性質上サーバ・クライ

アントモデルの動作を保障できないことである。仮に無線アドホックネットワーク上に SIP サーバを配置したとしても、端末の移動により SIP サーバまでの経路が切断される可能性がある。そうなれば SIP サーバを利用できない。つまり図 1 においては ClientC を含むグループは SIP サーバを利用することができない。

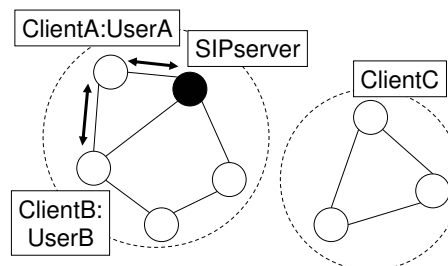


図 1: リダイレクトサーバを通した SIP の通信

### 2.2 関連研究

本研究は SIP を無線アドホックネットワーク上で運用するものであるが、無線アドホックネットワークでは個々の端末が P2P で接続し、直接接続していない端末同士では中継ノードを経由してマルチホップで通信する。これらの関連研究として、以下のものが挙げられる。

P2P による情報共有においては、Gnutella[2] や Napster[3] が挙げられる。Gnutella は純粋型 P2P 方式であり、情報を管理するサーバがなくすべての情報がバケツリレー式に利用者間を流通する方式である。Napster は中央サーバ型 P2P 方式であり、接続しているユーザの情報やファイルのリストを中央サーバが管理し、ファイルの転送のみを利用者間で直接行なう方式である。

マルチホップ通信を行なうコミュニケーション支援の研究としては、PacketHop[4] が挙げられる。PacketHop は無線端末や無線基地局を利用しメッシュ状のネットワークを構築するものである。米 Golden Gate Safety Network (GGSN) と提携し、サンフランシスコの広いエリアでのフィールドテストに成功している。

しかしこれらの研究においては、無線アドホックネットワークにおける SIP の動作の問題点については検討されていない。

### 3 分散型 SIP サーバシステム

それぞれの端末が対等であるということ考慮に入れて、2.1 節で述べた問題点を解決する分散型 SIP サーバシステムを提案する。

#### 3.1 システム構成

分散型 SIP サーバシステムは SIP サーバが所持する SIP アドレスや接続先などの情報を各端末で共有する方式を採用している。そのため各ノードは図 2 のように、SIP アドレス情報を連ねたリスト、ユーザエージェント (UA) からの登録を受け付ける SIP サーバモジュール、各ノード間でその情報をやり取りするための情報共有モジュールで構成される。

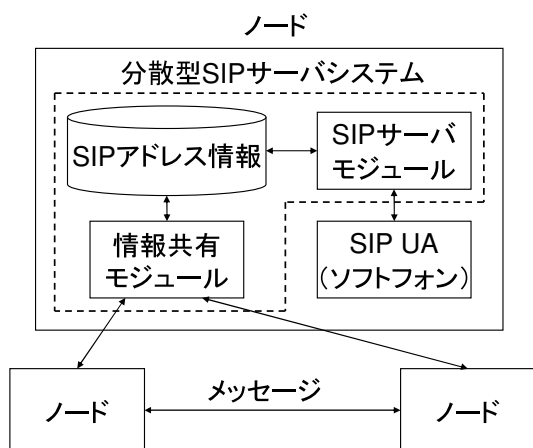


図 2: システム構成

#### 3.2 メッセージ

システムを構成する各ノード間でやり取りされるメッセージについて説明する。

**リスト登録** リストへの登録は、本システムを使用する SIP ソフトフォンなどの UA から REGISTER メッセージを受け取ることにより所持リストへ登録する。この REGISTER メッセージは SIP のフォーマットに準じる。

**リスト要求 (LIST\_REQUEST)** 隣接ノードに新しいノードを発見したときに LIST\_REQUEST メッセージを送信する。ネットワークに参加したばかりなどでリストをまったく所持していない場合は、空のリストを返信する。返信されたリストは自

分の所持リストと比較し、足りないもののみを追加する。通常この操作は新ノード発見をしたノード同士で同時に行なわれるので、双方で足りないリストを補完しあうことになる。

**リスト追加 (LIST\_ADD)** 上記のリスト登録やリスト要求により新たなリストが追加された場合、周囲のノードに LIST\_ADD メッセージを配信する。送信予定のノードはパケットヘッダに追加され、同じノードに送信しないようにする。隣接していないノードには中継ノードが送信を肩代わりする。図 3 においてはノード c から LIST\_ADD メッセージを配信するが、d には直接届かないので b が代わりに送信する。

リストの削除には 2 通りの方法がある。UA から登録を削除されるか、通信状況の変化により対象ノードに到達できなくなるため削除されるかである。

**登録削除 (LIST\_DEL)** UA からの登録削除の場合、まず接続していた UA から REGISTER メッセージを受け取り、リストから削除する。その後周囲のノードに LIST\_DEL メッセージを配信する。図 4 においてはノード c が UA から REGISTER メッセージを受け取り、自リストを削除してから LIST\_DEL メッセージを配信する。

**切断** 通信状況の変化によりリンクが切断された場合、隣接していたノードがリンクの切断を検知し、リストから削除し、周囲のノードに LIST\_DEL メッセージを配信する。検知方法は切断前後でネットワークの経路表を見比べて、経路表から削除されたノードが切断されたと判断する。単にノードが移動して隣接ノードでなくなった場合なら切断したとみなさない。図 5 においては a-c 間、b-c 間のリンクが切断され c がすべてのノードから到達不能となるので、a、b は LIST\_DEL メッセージを配信する。このとき b のほうが切断検知が早ければ a はリストが削除されているので配信しない。

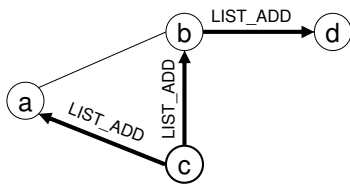


図 3: リスト追加

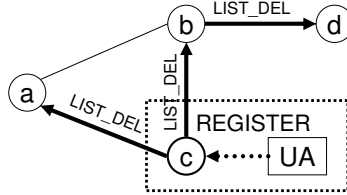


図 4: UA からの登録削除

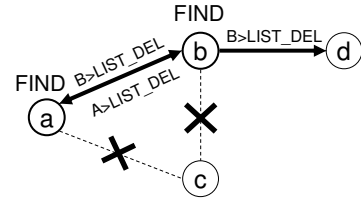


図 5: 切断によるリスト削除

### 3.3 動作概要

分散型 SIP サーバシステムの動作概要を簡単に説明する。

**新規ノード参入** 図 6 のようなネットワーク構成でノード a が新しく追加されたとする。a はまず隣接するノードのひとつに LIST\_REQUEST メッセージを送信する。ここでは b と c が a に隣接しているが、経路表を参照するなどして a は b を先に発見したとする。そこで a は b に LIST\_REQUEST メッセージを送信し、b は a に現在所持しているリストを LIST\_ADD メッセージとして送信する。

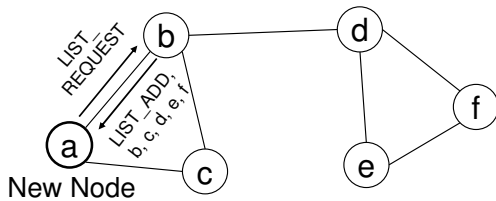


図 6: 新しいノードが参入

**UA からの登録要請** 図 7 のようにノード c に接続している SIP ソフトフォンなどの UA が REGISTER メッセージを送信し、新たに c のリストに登録する。c は新しい情報をリストに追加するので、接続しているすべてのノードに新しく追加したリストのみを LIST\_ADD メッセージとして配信する。ここで c が直接送信するノードは隣接する a, b だけである。d, e, f には c からは直接届かないので、d に対しては b に、e, f に対しては d に送信を肩代わりしてもらおう。これにより c に追加したリストはすべてのノードに追加される。

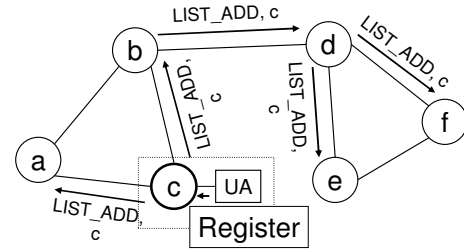


図 7: UA からの登録要求

**ノード移動によるリンク切断** 図 8 のように何らかの理由で b-c, b-d 間のリンクが途切れたとする。このことは各ノードが更新された経路表を見ることにより発見するが、はじめに検知するのは隣接していた b と d である。そこで b からは到達できなくなった d, e, f を、同様に d からは a, b, c をリストから削除し、それぞれ到達できる範囲に、b からは a, c に、d からは e, f に LIST\_DEL メッセージを送信する。実際には b-c 間のリンクも途切れているが、c への経路は a を経路することにより到達できるので、リストの削除はされない。

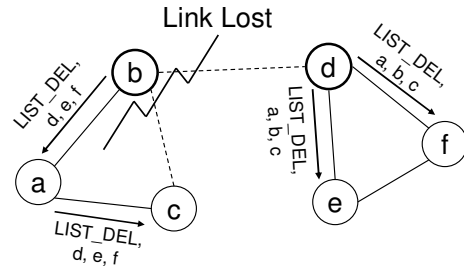


図 8: ノード移動によるリンク切断

**ネットワークの結合** 図 9 のように、ノードが移動してネットワーク同士が隣接した場合を考える。ここでは NetworkA に所属

するノード a1 と NetworkB に所属するノード b1 が隣接し、リンクが確立したとする。片方のネットワークのノード、例えば a1 が先に b1 を発見した場合、a1 はリスト要求を行ない、b1 からリストを、NetworkB のリストを得る。その後、a1 は NetworkB を含むすべてのノードに追加したリストを配信する。ここで NetworkA 内には NetworkB のリストが追加されるが、NetworkB 内には b1 に届いた時点で無視されるため、追加されない。同様に b1 もリスト要求を行ない、a1 からは NetworkA を含むすべてのリストを得る。ここで b1 が実際に追加するリストは NetworkA のものだけであり、b1 の配信するリストは NetworkB 内のみで追加され、NetworkA 内には a1 に届いた時点で無視されるため、追加されない。

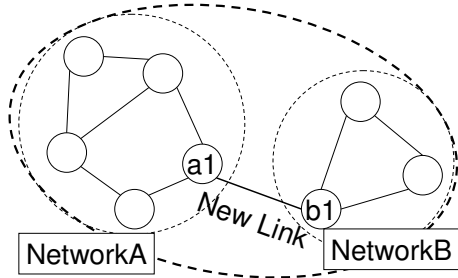


図 9: ネットワーク同士が結合する場合

ネットワークの分裂 図10のように、経路が途切れてネットワークが分裂する場合を考える。ここではノード a1 と b1 との間のリンクが切れ、NetworkA と NetworkB に分裂したとする。a1 からは NetworkB のノードには到達できなくなるので、経路表から削除され、結果リストからこれらを削除する。そして自分の到達できる範囲、NetworkA 内に削除したリストを配信する。同様に b1 からは NetworkA のノードには到達できなくなるので、NetworkB 内に削除した NetworkA のリストを配信する。

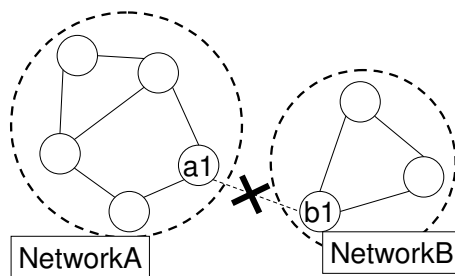


図 10: ネットワークが分裂する場合

## 4 プロトタイプシステムと評価

### 4.1 プロトタイプシステム

分散型 SIP サーバシステムの動作を確認するため、プロトタイプシステムを Linux 上で開発した。図 11 はその動作画面である。

```

flag: LIST_ADD LIST_REQUEST (0x0003)
sent_no: 3
sent[0]: 10.0.1.106
sent[1]: 10.0.1.106
sent[2]: 10.0.1.103
dque_len: 2
----- dque[ 0] -----
Create: Sun Feb 27 08:36:04 2005 / 965188 usec
SIP: adhoc3@localdomain
IP: 10.0.1.103
Port: 5062
----- dque[ 1] -----
Create: Sun Feb 27 08:36:04 2005 / 965201 usec
SIP: adhoc2@localdomain
IP: 10.0.1.102
Port: 5062

*--:2005/02/27 08:33:17:RECV: from 11 size 1408 bytes
*--:2005/02/27 08:33:17:RECV: last access: Sun Feb 27 08:33:17 2005
*--:2005/02/27 08:33:17:CLASS: list_add
*--:2005/02/27 08:33:17:CLASS: ADD: adhoc3@localdomain(10.0.1.103:5062)
*--:2005/02/27 08:33:17:CLASS: list_add
*--:2005/02/27 08:33:17:CLASS: ADD: adhoc2@localdomain(10.0.1.102:5062)

```

図 11: 動作画面

本システムでは無線アドホックネットワークを構築するため、そのためのルーティングプロトコルが必要である。無線アドホックネットワークのためのルーティングプロトコルはいくつかあるが、本システムは其中で OLSR[5] を採用した。これは、本システムでは経路表を元にリンクの確立、切断を判断するため、経路表の更新頻度が高いルーティングプロトコルが適切だからである。

### 4.2 評価

現状の SIP サーバは RFC3261 に記述された振る舞いに合致するように作られているので、サーバによる集中管理になっている。本研究で前提としている無線アドホックネットワークを共通条件とした比較評価が行なえなかった。そこで従来の一般的な SIP サーバとの機能の比較

表 1: 既存のものとの相違点

	従来の SIP サーバ	分散型 SIP サーバシステム
通信トラフィックの発生 サーバ停止時	問合せのたび発生 問合せ不可	情報共有時のみ発生 一つが停止しても問合せ可
ネットワークの動的変化	未対応 (人手による設定が必要)	対応済み

を行なった。その相違点を表 1 にまとめる。

従来のものとの相違点として、接続しているすべての端末はそれぞれで接続者のリストを持っているので、従来の SIP サーバのように相手を探すたびに問い合わせで通信トラフィックを発生させない。ただし、各端末間で情報を共有するときには通信トラフィックを発生させることになる。また従来の SIP サーバでは (本来はありえないことだが) サーバが停止すると問合せが行なえなくなるが、本システムでは各端末がサーバ機能を有しているため、一つが応答しなくなっても他の端末への影響はほとんどない。また無線アドホックネットワークでは動的にネットワークの構成が変わるが、本システムではそのような状況にも対応できる。

## 5 おわりに

### 5.1 まとめ

本研究では無線アドホックネットワークにおける分散型 SIP サーバシステムを提案、そしてその実装を行なった。

無線アドホックネットワークにおいては各々の端末が P2P で接続することになるので、従来の集中管理型の SIP サーバではサーバまでの経路を確保することが困難となり、結果同ネットワーク内での SIP によるセッション確立は困難となる。分散型 SIP サーバシステムはこれを克服するため、各々の端末で SIP アドレス情報を管理することにより、P2P の環境でも SIP によるセッション確立が可能になった。

### 5.2 今後の課題

今後の課題として以下の事柄がある。

まず、本研究で開発したシステムは、まだプロトタイプシステムを作成した段階なので、性能評価などを行っていない。今後、屋内・屋

外など実際の利用場面を想定した実環境での実験を行なうとともに、通信時間、パケットロス率などの定量的な性能評価を実施していく。

次に、本研究においては SIP の用途を音声通信のみに限定したが、SIP は何も音声通信のみのプロトコルではない。動画像やインスタントメッセージの送信、プレゼンスの表示などさまざまな用途に使用できる。ゆくゆくはそれらの機能も使用できるようにする。

これらの課題に関しては、今後改良を加えていく予定である。

## 謝辞

この研究は、(財) 情報通信研究機構 平成 16 年度 先進技術型研究開発助成金「携帯 IP 電話とそのセキュリティに関する研究開発」の補助を受け、アイピートーク (株) と共同研究した成果である。

## 参考文献

- [1] J. Rosenberg, et. al., "SIP: Session Initiation Protocol," in IETF RFC 3261, June 2002.
- [2] OSMB, LLC., "Gnutella.com," URL: <http://www.gnutella.com/>.
- [3] Napster, LLC., "Napster - All the music you want. Any way you want it.," URL: <http://www.napster.com/>.
- [4] PacketHop, "PacketHop," URL: <http://www.packethop.com/home.html>.
- [5] T. Clausen, Ed., P. Jacquet, Ed., "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," in IETF RFC 3626, October 2003.