

2010年度 修士論文

MANETにおけるSIPの利用に関する研究

—アドホックルーティングプロトコルの拡張による
SIPサーバレスシステム—

指導教授 大附 辰夫 教授

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科
情報理工学専攻

5109B046-6

下坂 知輝

2011年2月4日

目次

第1章 序論	1
1.1 本論文の背景と意義	2
1.2 本論文の概要	5
第2章 MANET における SIP の利用に関する研究動向	6
2.1 本章の概要	7
2.2 MANET と NGN	8
2.3 SIP	9
2.3.1 SIP サーバの役割	10
2.3.2 SIP における標準的なメッセージシーケンス	11
2.4 MANET における SIP 利用の問題点	12
2.5 MANET における SIP の利用に関する既存研究	13
2.5.1 全端末に SIP サーバ機能を実装する手法	14
2.5.2 P2P SIP に関する研究	15
2.6 本章のまとめ	21
第3章 SIP サーバレスシステム	22
3.1 本章の概要	23
3.2 想定する利用環境	24
3.3 システムの全体像	26
3.4 DSR-SIP : DSR を用いた SIP サーバレスシステムの実装	29
3.4.1 DSR	29
3.4.2 DSR 経路探索と提案システムにおける拡張	29
3.5 OLSR-SIP : OLSR を用いた SIP サーバレスシステムの実装	32
3.5.1 OLSR	32
3.5.2 TC メッセージの拡張	33
3.6 提案システムの SIP 処理シーケンス	36
3.7 本章のまとめ	38

第4章 シミュレーション	39
4.1 本章の概要	40
4.2 シミュレーション条件	41
4.2.1 シミュレーション1	41
4.2.2 シミュレーション2	43
4.3 シミュレーション結果と評価	45
4.3.1 セッション確立の成功率	45
4.3.2 総制御パケット数	46
4.3.3 シグナリング遅延時間	48
4.3.4 SIP サーバレスシステムの評価	51
4.4 本章のまとめ	52
第5章 結論	53
謝辞	57
参考文献	58
本論文に関する発表業績	61

第1章

序論

1.1 本論文の背景と意義

近年，携帯電話をはじめとして，モバイルPC やスマートフォンなど無線通信機器の小型・軽量化が進み，外出先での利用が増えてきている．それに加えて，携帯端末の高機能化や，無線通信インフラの発展により高速・大容量通信が可能となり，携帯通信端末でも映像や音楽配信などのマルチメディア通信を利用する機会が増えてきている．しかし，無線通信インフラを利用するには基地局が必須である．そのため，大規模災害によりインフラが利用できなくなったり，北極や南極，砂漠，宇宙空間といった現在の技術ではネットワークインフラ整備が困難な場所では，通信が出来ない状況が懸念されている．そのため，基地局などのネットワークインフラを利用せず，移動する無線通信端末同士で自律的にネットワークトポロジを形成し，全ての端末がルータ機能を持つ MANET (Mobile Ad-hoc Network) が近年注目されている．MANET は，高価なインフラを敷設する必要が無く，コストを掛けずに迅速にネットワークが構築可能である．

さらに，NGN (Next Generation Network) と呼ばれる固定・移動体通信を統合し，音声・通信・放送の融合を目的とした超高速・広帯域の次世代通信網の普及が見込まれている．日本では2008年3月末から NTT が「フレッツ 光ネクスト」という名前で NGN の商用サービスを始めた．世界でも2000年代に入り，イギリスのブリティッシュテレコム，ドイツのドイツテレコム，大韓民国の韓国通信，台湾の中華電信などが公衆交換電話網の IP 化を進めている．この NGN では通信方式として SIP (Session Initiation Protocol) [19] を標準プロトコルに採用している．SIP とはマルチメディア通信を行う前段階に，通信相手を呼び出すための呼制御を行うプロトコルである．既に，IP 電話に代表される VoIP (Voice over IP) でも，セッション制御のプロトコルとして利用されている．つまり，NGN の普及が見込まれる状況において，NGN の一部としての MANET でも SIP を利用することが想定される．

MANET 上で SIP を利用する例として，限られた範囲の中で移動を伴うグループ作業（災害現場での救助活動や無線通信インフラが利用できない海上や森林といった場所での作業など）を行うときに，インフラが無いもしくはインフラ整備が困難な状況で，作業する個人が所持する無線移動通信端末どうしで MANET を構築し，音声通話やチャット，動画配信などのマルチメディア通信を行う状況が考えられる．

しかし，現状では MANET 上で SIP の動作が保証されていないという問題がある．MANET の性質上，クライアントサーバモデル上での利用を想定している SIP の動作を保証することが出来ない．仮に MANET 上に SIP サーバを配置したとしても，SIP サーバの役割を担うノードが移動によりネットワークから離脱してしまうと，MANET 上では SIP を利用することが出来なくなってしまう．

ここ数年で MANET 上で SIP の動作が保証されないことを指摘し，これを解決するよう

な研究 [1, 5, 7, 10, 13, 14] が行われ始めている。こうした研究の多くでは、ネットワークに参加する全端末に SIP サーバ機能を持たせてこの問題を解決するという手法が一般的となっている。しかし、こうした既存の解決手法では制御パケットの増大によるネットワーク効率の低下、SIP サーバ機能を各端末に持たせることによるリソースの増大、それに伴い各端末の負担が増大するといった問題がある。

クライアントサーバモデルでは無い SIP の通信方法として、P2P SIP (Peer-to-Peer SIP) と呼ばれる P2P 上で SIP を実現するオーバーレイネットワークもしくはそれを実現するプロトコルがあげられる。1996 年に IETF に SIP の原案が提出されて以降、盛んに SIP の研究が行われると共に、P2P の分野では P2P のプロトコルともいえる DHT¹ アルゴリズムの提案が 2001 年頃相次いだ。さらに 2003 ~ 2004 年頃には P2P を使った Skype²[25] が流行した。この流れを受け 2005 年頃、IETF に複数の P2P SIP に関する Internet Draft が公開され議論が活発化し、2007 年には IETF に P2PSIP ワーキンググループが設立された。MANET 上で SIP の動作が保証されないといった問題も、MANET 上で SIP の代わりに P2P SIP を用いることで解決することが出来ると考えられる。しかし、P2P SIP は MANET 上での利用を想定されたプロトコルではないため、P2P SIP と MANET それぞれで、位置情報 (IP アドレス) を取り扱う制御パケットを生成することになり、経路制御のオーバーヘッドが必要以上に大きくなることが予想される。

以上の背景から、本論文では SIP サーバ上で行う位置情報の更新・管理をアドホックルーティングプロトコルの経路構築機能に委託することで、SIP サーバレスで MANET 上での SIP の動作を保証するシステムを提案する。MANET 上で SIP の動作を保証する。さらに、全端末に SIP サーバを持たせる既存手法や、MANET 上での P2P SIP の利用に比べ、制御パケット削減による高効率な通信と各端末上での低リソース化を実現するシステムを実装し評価する。

SIP サーバの役割には、「登録サーバ」「プロキシサーバ」「リダイレクトサーバ」の3つの機能と SIP の位置情報を管理する「ロケーションサーバ」が RFC3261[19] で規定されている。MANET 上で SIP の動作が保証されない原因は、SIP サーバが持つ登録機能と SIP 端末情報が登録されているロケーションサーバが、MANET 上で利用できなくなる可能性があるからだ。そこで本システムでは、ノードが SIP 情報を SIP サーバに登録する際に送る REGISTER メッセージの情報を、アドホックルーティングプロトコルの経路構築で用いられるメッセージに付加することで、全端末に通知する。これにより、各端末で IP アドレスと SIP 端末情報を関連づけされた位置情報を各端末で保持する。この情報を利用することで SIP サーバ無しに、通信相手である SIP 端末の位置情報を把握することが可能となる。これにより SIP

¹Distributed Hash Table (分散ハッシュテーブル)。アドホック性とスケーラビリティの両立を目指す探索手法で、オーバーレイネットワークの一つといえる。

²Skype 社が提供する P2P を利用したインターネット電話サービス。

サーバを経由することなく通信端末間で直接 SIP メッセージのやりとりが可能となる。このシステムにより既存研究よりも、ネットワーク全体として制御パケットが削減でき、さらに個々の端末に SIP サーバの機能を加えるためのリソースの削減も見込むことが出来る。拡張するアドホックルーティングプロトコルとして、リアクティブ型のプロトコルである DSR (Dynamic Source Routing) [12] と、プロアクティブ型である OLSR (Optimized Link State Routing) [6] で実装を行った。拡張したプロトコルをそれぞれ、DSR-SIP, OLSR-SIP として提案する。

1.2 本論文の概要

本論文では、アドホックルーティングプロトコルを拡張することで、MANET 上での SIP の利用を保証し、制御パケット削減による高効率な通信と各端末上での低リソース化を実現するシステムとして SIP サーバレスシステムを提案する。ネットワークシミュレータ ns-2[22] を用いてシミュレーションを行い、SIP サーバレスシステムが有効であることを示し、今後の課題について説明する。以下に、本論文の構成を示す。

第2章「MANET における SIP の利用に関する研究動向」では、MANET と SIP の概要について説明し、MANET 上での SIP 利用の問題点を示す。さらに、この問題点を解決するような既存研究として、「全端末に SIP サーバもしくはサーバ機能を持たせる諸手法」、「P2P SIP に関する研究」を紹介する。

第3章「SIP サーバレスシステム」では、MANET 上での SIP 利用が保証されない問題を解決するシステムとして、SIP サーバレスシステムを提案する。まず、SIP サーバレスシステムが実際にどのような環境で利用することを想定したものかを示す。次に、SIP サーバレスシステムの全体像について説明する。システムはアドホックルーティングプロトコルを拡張することで実装する。拡張するルーティングプロトコルとして DSR と OLSR を用いて実装を行う。DSR を拡張して実装したルーティングプロトコルを DSR-SIP、OLSR を拡張して実装したルーティングプロトコルを OLSR-SIP として提案する。DSR-SIP、OLSR-SIP それぞれの詳細な実装方法、及び提案システムにより SIP メッセージの削減が可能なことを示す。

第4章「シミュレーション」では、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて、「SIP サーバレスシステム」を「全端末に SIP サーバを持たせる手法」、「MANET 上での P2P SIP 利用」と比較することで評価する。提案システムとして「DSR-SIP」と「OLSR-SIP」、比較手法として「全端末に SIP サーバを持たせる手法 (DSR)」、「全端末に SIP サーバを持たせる手法 (OLSR)」、「P2P SIP を用いた手法 (DSR)」、「P2P SIP を用いた手法 (OLSR)」の6つを ns-2 によるシミュレーションで比較する。比較する指標として、「セッション確立の成功率」、「総制御パケット数」、「シグナリング遅延時間」の3項目について解析を行う。以上の結果より、SIP サーバレスシステムが MANET 上での SIP 利用を保証し、既存手法に比べ総制御パケット数を抑え、シグナリング遅延時間を短縮できることを示す。以上の結果より、SIP サーバレスシステムの有効性を示す。

第5章「結論」では、本論文を総括し、今後の課題について述べる。

第2章

MANETにおけるSIPの利用に関する研究動向

2.1 本章の概要

本章では，MANET と NGN，SIP の関係性について解説することで研究背景を説明する．さらに，SIP サーバレスシステムが解決する問題として，MANET 上で SIP の利用が保証されない理由と，その問題を解決するような関連研究について説明する．

第 2.2 節では，MANET と NGN の関係について説明する．MANET と NGN，さらに SIP との関係性を説明することで，研究背景を説明する．

第 2.3 節では，SIP の概要について説明する．特に，SIP サーバレスシステムを実装するにあたり必要となる，SIP サーバの役割と SIP メッセージの処理手順について説明する．

第 2.4 節では，SIP サーバレスシステムが解決しようとしている，MANET 上で SIP の利用が保証されない理由について説明する．

第 2.5 節では，第 2.4 節で示した問題点を解決するような既存研究を紹介する．

2.2 MANET と NGN

アドホックネットワークとは、基地局などのネットワークインフラを利用せず、無線通信端末同士で自律的にネットワークを形成し、全ての端末がルータ機能を持つネットワークである。「無線アドホックネットワーク」、「自立分散型無線ネットワーク」とも言われている。特に、ノードが移動し動的なトポロジ変化を伴うことを意味する「Mobile」をつけたものを「Mobile Ad-hoc Network (MANET)」という。

ラップトップや Wi-Fi¹による無線ネットワークの普及により、1990 年代中ごろ以降 MANET が研究テーマとして浮上してきた。特に、アドホックルーティングプロトコルの評価やネットワークのスケラビリティ、モビリティなどが主要テーマとなっている。パケットロス率やスループットに基づきプロトコルを比較したり、ルーティングプロトコルのオーバーヘッドに関する研究がされている。

MANET の利用形態として、MANET 単体で運用されることもあれば、MANET の一部の端末がインターネットと MANET を繋ぐインフラ (Internet Gateway : IG) となって運用されることもある。さらに、次世代ネットワークとよばれる NGN が普及すれば、インターネットと MANET の関係と同じように、図 2.1 に示すような、NGN の一部として MANET を利用することが想定される。

NGN (Next Generation Network) とは固定・移動体通信を統合し、電話・データ通信ストリーミング放送の融合 (トリプルプレイ) を目的とした次世代通信網の事である。2003 年から欧州連合の標準化機関である ETSI²、2004 年から ITU-T³で標準化が行われている。2006 年には ITU-T において NGN に関するリリース 1 の様々な勧告が制定されている。現在日本では、2008 年 3 月末から NTT が「フレッツ 光ネクスト」という名前で NGN の商用展開を始めている。世界でも 2000 年代に入り、イギリスのブリティッシュテレコム、ドイツのドイツテレコム、大韓民国の韓国通信、台湾の中華電信などが公衆交換電話網の IP 化を進めている。

NGN の標準化では、「通信網として IP、通信プロトコルとして SIP」を利用することを定めている。つまり、NGN の整備が進んでいくと予想される今後の通信網において、図 2.1 のように、NGN の一部としての MANET でも SIP を利用することが想定される。

¹Wi-Fi Alliance によって、通信規格である IEEE 802.11 シリーズを利用した無線 LAN 機器間の相互接続性を認証されたことを示す名称・ブランド。

²European Telecommunications Standards Institute : 欧州電気通信標準化協会

³International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector : 国際電気通信連合電気通信標準化部門

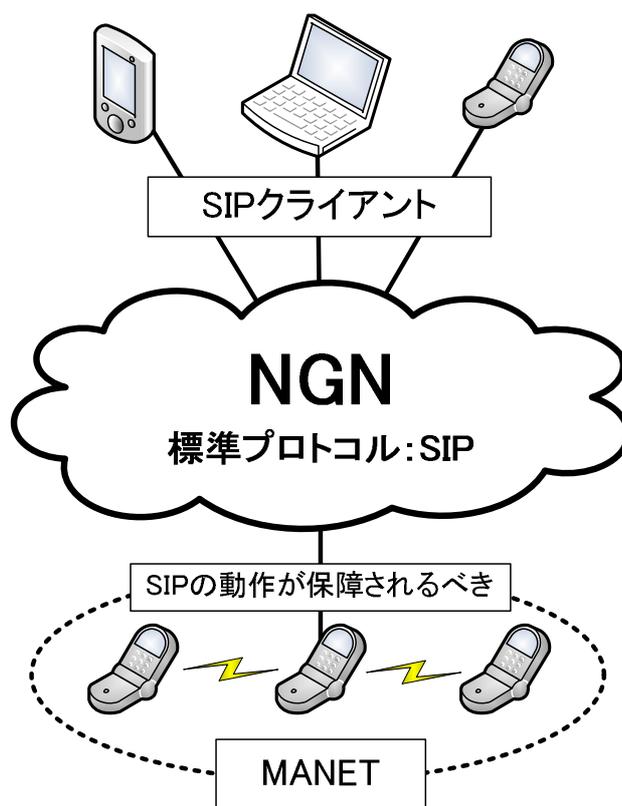


図 2.1: NGN と MANET

2.3 SIP

SIP (Session Initiation Protocol) は、端末 (User Agent: UA) 間でセッションの生成・変更・切断を行うのみのプロトコルである。セッションとは、アプリケーション間の関連付け (接続) である。例えば、図 2.2 の用に Alice から Bob に IP 電話をかけるとする。このとき、発信者 Alice は SIP により IP 電話というアプリケーションで通信を行いたいことを着信者 Bob に伝える。その要求を受けると IP 電話というアプリケーションが関連付けされ、通話が成立する。こうした関連付けを「セッション」と言う。

SIP では、セッション上で交換されるデータそのものについては定められていない。つまり、アプリケーションが SIP によって制御されたセッション上で、音声のやりとりを行えば IP 電話、音声と映像ならばテレビ電話、テキストメッセージならばインスタントメッセージというように幅広い応用が可能となる。

UA はそれぞれ SIP URI とよばれるアドレスを持ち、これにより UA を識別する。これはメールアドレスと似ており、SIP URI は以下のように表される。

sip:[ユーザ名]:[パスワード]@[ホスト]:[ポート番号]

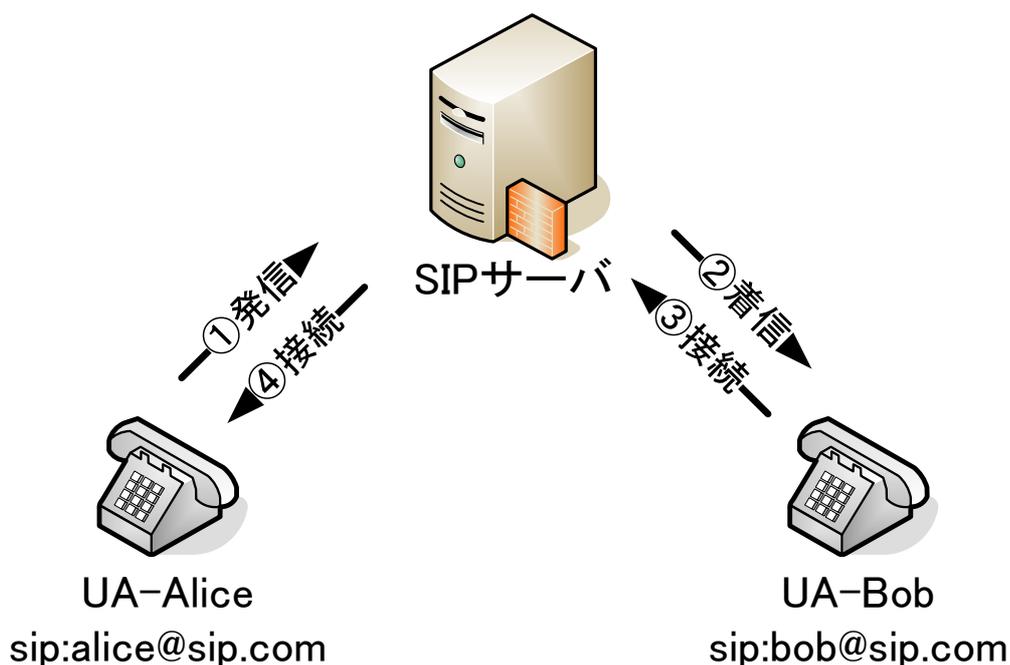


図 2.2: SIP の発信から接続までの流れ

- ・パスワードを URI に含めることが出来るが、セキュリティ上の問題から含めることを推奨されていない。
- ・ホストは FQDN (Fully-Qualified Domain Name: 絶対ドメイン名) 形式で指定する。ホスト名、ドメイン名、ドットで構成された文字列か、IP アドレスが入る。

UA が属する SIP サーバを中継することで、目的の UA とセッションを確立する。SIP サーバを介することによって SIP URI から IP アドレスをもとめる操作を UA が行う必要がなくなり、通信相手が移動するなどして IP アドレスが変化してもそれを意識せずに通信することができる。UA である Alice (sip:alice@sip.com) と Bob (sip:bob@sip.com) の IP 電話での発着信の様子を図 2.2 に示す。

2.3.1 SIP サーバの役割

SIP サーバにはリダイレクトサーバ、プロキシサーバ、登録サーバの 3 種類の役割がある。実際には、3 種類すべての機能を SIP サーバが備えている必要はなく、必要に応じて採用することになる。

リダイレクト SIP リクエストを受け取り、着信側の現在のアドレスを発信側に返すサーバ
プロキシ SIP リクエストを転送したり、代理送信するサーバ

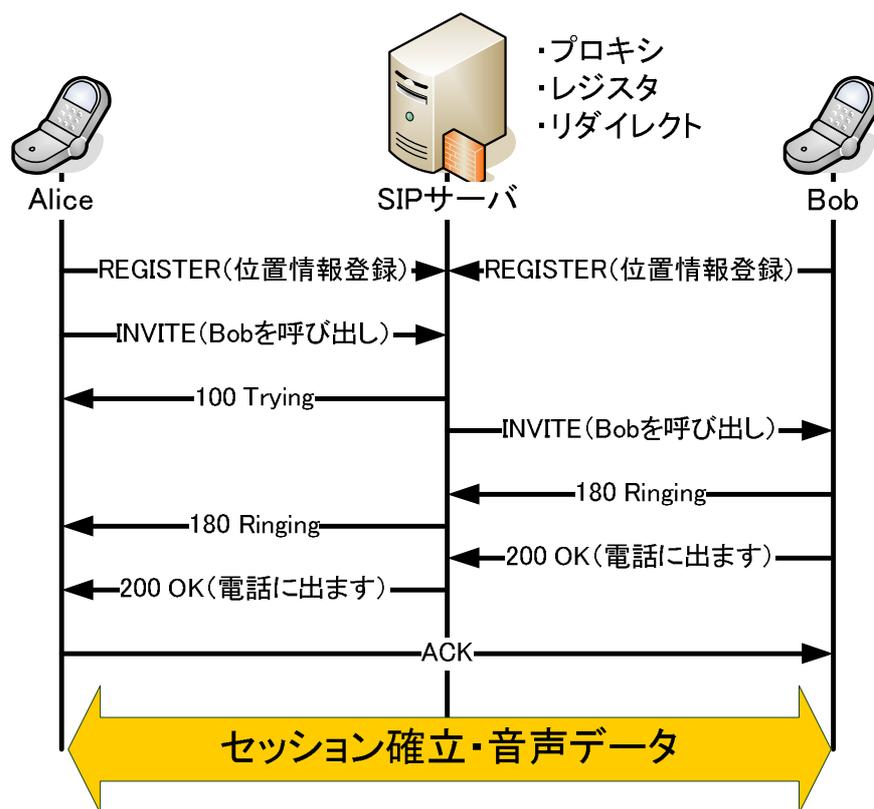


図 2.3: 標準的な SIP 処理シーケンス

登録 UA の現在位置を登録するリクエスト (REGISTER リクエスト) を受け取り, 登録されている情報を更新するサーバ

無線アドホックネットワークでの SIP の利用の際に想定している SIP サーバの機能は, リダイレクトと登録サーバ機能である. アドホック上での内線的な利用方法を前提とすれば, 異なる SIP ドメイン間の通信で必要となるプロキシ機能の必要性は低い.

2.3.2 SIP における標準的なメッセージシーケンス

クライアントサーバモデル上で利用される標準的な SIP の構成における, SIP メッセージ処理シーケンス (図 2.3 参照) では, 最初に SIP サーバに REGISTER メッセージを使って位置情報を登録する. Alice から Bob へ電話を掛けようとする際は, Bob を呼び出すために SIP サーバへ INVITE メッセージが送られる. このメッセージを受けた SIP サーバはアドレス解決を行い, Bob へメッセージを転送する (プロキシ). また, Alice に Bob の位置情報 (IP アドレス) を通知する (リダイレクト). さらに, Bob が電話に出る場合は, 暫定応答 (180 Ringing), レスポンスメッセージ (200 OK) を SIP サーバが中継する. 最後に, レスポンスメッセージを受けた Alice は Bob へその応答 (ACK) を返す. 以上のようなメッセージのやり取りによりセッションが確立され, 通話が始まる.

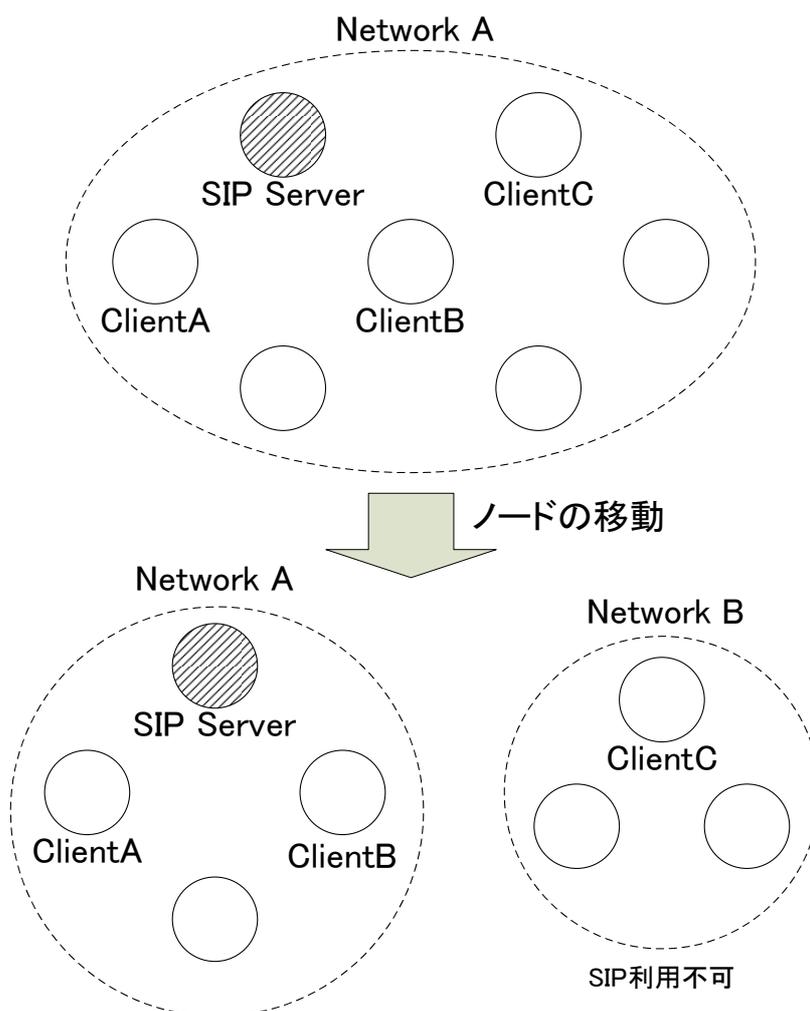


図 2.4: MANET 上での SIP 利用の問題点

2.4 MANET における SIP 利用の問題点

現在広く利用されている SIP サーバとクライアントによる SIP の構成をそのまま MANET 上で利用しようとする、SIP の動作が保証されないという問題がある。図 2.4 に示すような MANET (Network A) があるとする。MANET 上で SIP を利用するには、少なくとも 1 台 SIP サーバがネットワーク上に存在する必要がある。しかし、MANET ではノードが移動することがあるため、ノードの移動により SIP サーバがノードとして含まれない MANET (Network B) が出来ることが想定される。そうした MANET (Network B) では SIP が利用出来なくなってしまう。

2.5 MANET における SIP の利用に関する既存研究

前節で説明した MANET 上での SIP 利用の問題点を解決しようといった研究が 2005 年頃より行われ始めている。

全端末に SIP サーバ機能を搭載するアプローチ

Chang の手法 [7, 8] では、疑似 SIP サーバと呼ばれシステムを MANET を構成する全端末に乗せることでこの問題にアプローチしている。福井らの手法 [11] や Fudickar らの手法 [10] でも、全端末に分散 SIP サーバシステムやローカル SIP サーバサービスといったシステムを全端末に組み込むことでこの問題に取り組んでいる。このように、全端末に SIP サーバ、もしくはそれに準ずる機能を持つシステムを実装する手法が既存手法として一般的である。また、SIP メッセージ (SIP REGISTER) の全端末への通知方法として Leggio らの研究 [14, 15] に見られるように、ブロードキャスト (またはマルチキャスト) で一斉に SIP メッセージを投げることで位置情報を取得・更新する手法が多く使われている。Fu らの手法 [9] では、MANET のクラスタリングによりブロードキャストにおけるオーバヘッドの低減といった工夫がなされている。

その他のアプローチ

全端末に SIP サーバの機能を載せない研究としては、Banerjee らの研究 [1, 2, 3] があげられる。Banerjee らは、SIP 端末発見のために二つのアプローチを行っている。一つは LCA (Loosely coupled approach) と呼ばれる疎結合アプローチ、もう一つが TCA (Tightly coupled approach) と呼ばれる密結合アプローチである。LCA では、アドホックのルーティング処理と SIP 端末の発見処理とを別けてアプローチする手法である。それに対して TCA は、ルーティングプロトコルをベースとした完全分散クラスタによって構築される仮想トポロジと SIP 端末発見の処理を統合したアプローチである。

SIP の代わりに P2P SIP を利用するアプローチ

クライアントサーバモデルでは無い SIP の通信方法として、P2P SIP (Peer-to-Peer SIP) と呼ばれる P2P 上で SIP を実現するオーバーレイネットワークもしくはそれを實現するプロトコルがあげられる。MANET 上で SIP の動作が保証されないといった問題も、MANET 上で SIP の代わりに P2P SIP を用いることで解決することが出来ると考えられる。しかし、MANET 上での動作を考慮する P2P SIP に関する研究は現在のところ行われていないようである。

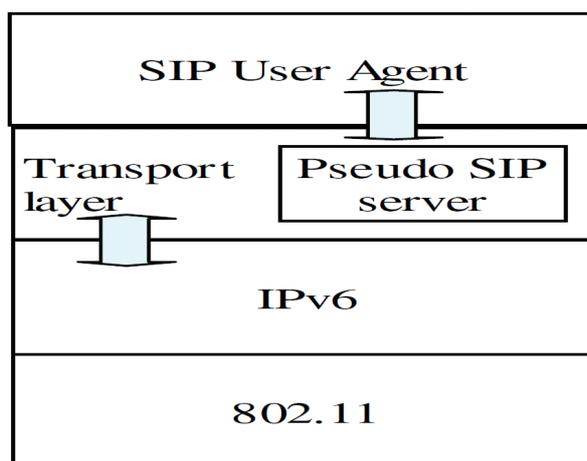


図 2.5: 疑似 SIP サーバのシステム構成

以下の節で、MANET 上での SIP 利用の問題点を解決しようといった研究を「全端末に SIP サーバ機能を実装する手法」、「P2P SIP を利用した手法」に大別し説明する。この二つの手法は第3章で提案する「SIP サーバレスシステム」の比較対象として、第4章の「シミュレーション」で実装し評価している。

2.5.1 全端末に SIP サーバ機能を実装する手法

全端末に SIP サーバ機能を実装する手法として、Chang らの手法 [7, 8]、福井らの手法 [11] や Fudickar らの手法 [10] などが挙げられる。細かな違いはあるが、全端末に SIP サーバ、もしくは SIP サーバ機能を実装することで問題を解決するという考え方は同じである。全端末に SIP サーバ機能を実装する手法として Chang らの研究 [7, 8] を例に説明する。

Chang らの研究 [7] では、アドホックネットワークの特性を考慮した、モビリティ管理機能をもった“Pseudo SIP Server”とよばれる疑似 SIP サーバをトランスポート層に実装している。疑似 SIP サーバをアドホックネットワークに参加する全てのノードに実装することで、アドホックネットワーク上での SIP によるセッション確立手法を提案している。疑似 SIP サーバは標準的な SIP プロトコルにも基づく SIP プレゼンス機能を持っている。また、モビリティ管理機能を実装することで、アドホックネットワークの特性であるノードのモビリティ問題へ対応している。

疑似 SIP サーバを含むシステム構成を図 2.5 に示す。システムは以下のように構成される。

- アプリケーション層：SIP UA
- トランスポート層：疑似 SIP サーバ
- ネットワーク層：IPv6 (Internet Protocol version 6)

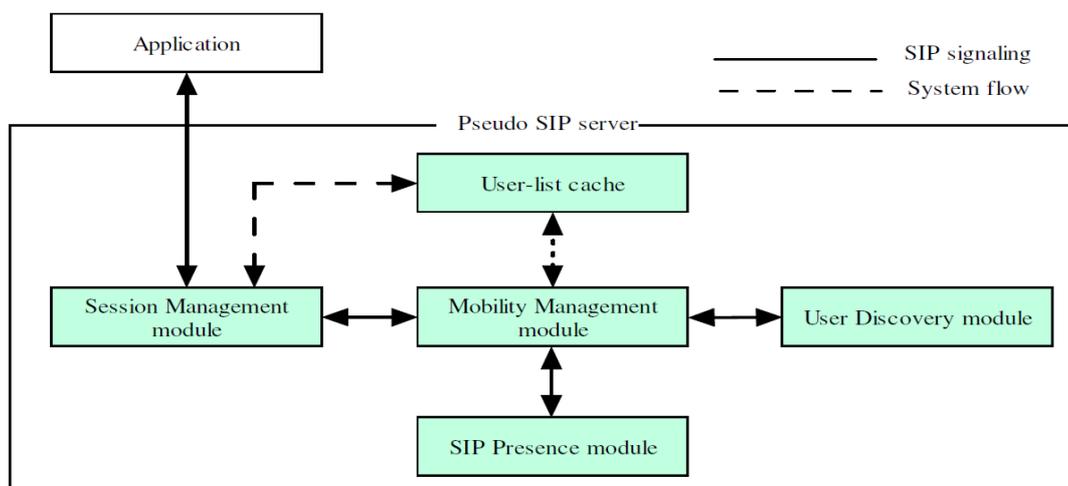


図 2.6: 疑似 SIP サーバのシステムモジュール構成

- 物理層：802.11

さらに、疑似 SIP サーバは図 2.6 で示されるように、ユーザリストキャッシュ、セッション管理モジュール、モビリティ管理モジュール、ユーザ探索モジュール、SIP プレゼンスモジュールの 5 つのモジュールにより構成される。

この疑似 SIP サーバシステムを SIP モジュールとして実装したアプリケーションとして、文献 [8] では PTT⁴システム [8] を実装しテストベッドでの評価している。

テストベッドによる評価ではノードが固定されている実験のみしか行われておらず、ノード移動がある場合、ユーザが発見できないたびにマルチキャストによる REGISTER メッセージの生成が起こり、REGISTER メッセージがネットワーク上に大量発生する恐れがある。MANET で扱うシステムとして疑問が残る。この点について、第 4 章の「シミュレーション」で、提案システムである「SIP サーバレスシステム」と総制御パケット数を比較することで、提案システムが「全端末に SIP サーバ機能を実装する手法」に比べ制御メッセージを削減できることを実証した。

2.5.2 P2P SIP に関する研究

本項では P2P SIP の要素技術である P2P と SIP について説明する。その後、P2P SIP の概要と研究動向について紹介し、モバイルネットワークと P2P SIP の関係について説明する。以上の内容を踏まえて、MANET 上での P2P SIP の利用について考察する。

⁴Push-to-Talk：トランシーバのように“ 押して ” 話す ” という通話スタイルを実現するための技術

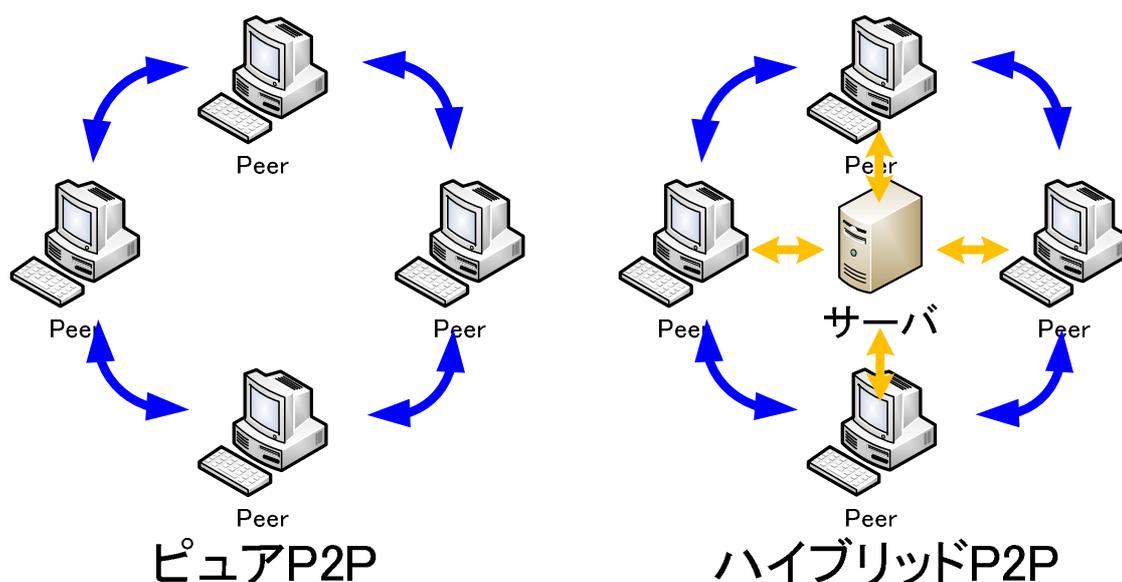


図 2.7: ピュア P2P とハイブリッド P2P

P2P と SIP

SIP とはマルチメディア通信を行う前段階に、通信相手呼び出すための呼制御を行うプロトコルである。既に、IP 電話に代表される VoIP (Voice over IP) でも、セッション制御のプロトコルとして利用されている。

P2P とは、Peer to Peer という名前の通り、Peer と呼ばれるクライアント同士が直接データをやり取りする通信方式、通信モデルの事である。そうした意味で、P2P はクライアントサーバ方式に相対する用語として使われる。インターネットを支える IP ネットワークは、基本的に P2P 方式を念頭に置いており、IP アドレスさえわかれば Peer 同士で通信が出来る。つまり、P2P では「どうやって相手の IP アドレスをしるか」がポイントとなる。そういった意味で、P2P 方式の通信網は、オーバレイネットワークとして見る事が多い。今回紹介する P2P SIP もオーバレイネットワークの一つといえる。

P2P では、「キーに対応するデータを持つものは誰か」という問いに応えるために、キーに対応するデータの場所の対応表 (インデックス) 情報を持っている必要がある。このインデックス情報の持ち方で P2P を以下のように分類することが出来る (図 2.7 参照)。

ピュア P2P インデックス情報を、各ノードが分散して持ち合う。インデックス情報の探索は、自分の知っているノードに行き、隣接ノードが知らない場合は転送する仕組みになっている。ノード数やインデックス数が膨大になっても、サーバで一括管理するわけではないので破綻することはなく、スケーラビリティが高い。しかし、インデックス情報が一括管理されていない分、探索はハイブリッドに比べ劣る。無線アドホックネットワーク (MANET) はピュア P2P の一種である。

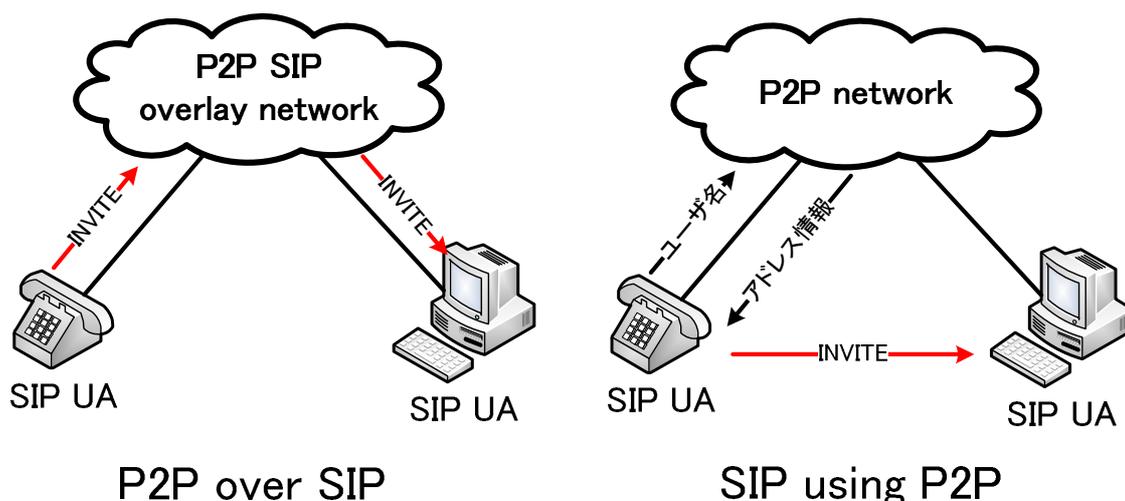


図 2.8: P2P SIP のモデル

ハイブリッド P2P インデックス情報をサーバが一括管理し，各ノードは情報をサーバに問い合わせ，実際のデータのやりとりはノード間で行う．サーバが故障するとシステム全体が止まってしまうが，探索はピュア P2P に比べ高速である．

P2P SIP とは

P2P SIP とは，P2P 上で SIP を実現するオーバレイネットワークもしくはそれを実現するプロトコルを指す．P2P SIP は，1996 年に IETF に SIP の原案が提出されて以降，盛んに研究が行われると共に，P2P の分野では P2P のプロトコルともいえる DHT アルゴリズムの提案が 2001 年頃相次ぎ，さらに 2003～2004 年頃には P2P を使った Skype が流行した．この流れを受け 2005 年頃，IETF に複数の P2P SIP に関する Internet Draft が公開され議論が活発化し，2007 年には IETF に P2PSIP ワーキンググループが設立された．

ここで「P2PSIP」と「P2P SIP」の違いを明確にすると「P2PSIP」とは前述した「P2P SIP」の IETF での固有名詞に当たり，この二つは違うものを指す．

P2P SIP のモデル

P2P SIP を実現するにあたり，大きく分けて二つのモデルがある（図 2.8）．IETF のワーキンググループで議論されている P2PSIP を例に挙げ，P2P SIP の二つのモデルについて説明する．

P2P over SIP SIP メッセージを用いて P2P プロトコルを実装する．つまり，P2P SIP オーバレイネットワークを介して，SIP メッセージを送受信するモデルである．

SIP using P2P SIP のロケーションサービスのみを P2P プロトコルに置き換える．つまり，SIP URI 情報のみ P2P のオーバレイネットワークで管理し，それ以外の SIP メッセージ

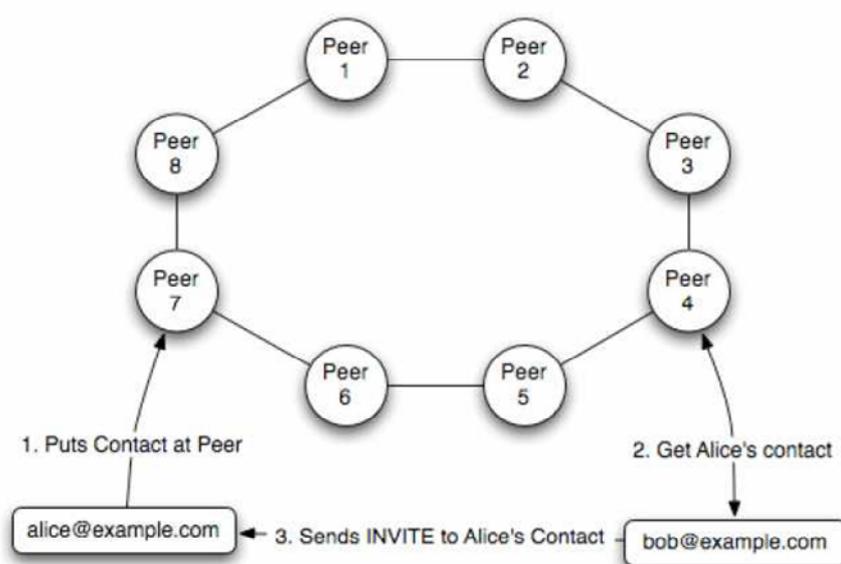


図 2.9: Overlay Stores Contact (SIP using P2P)

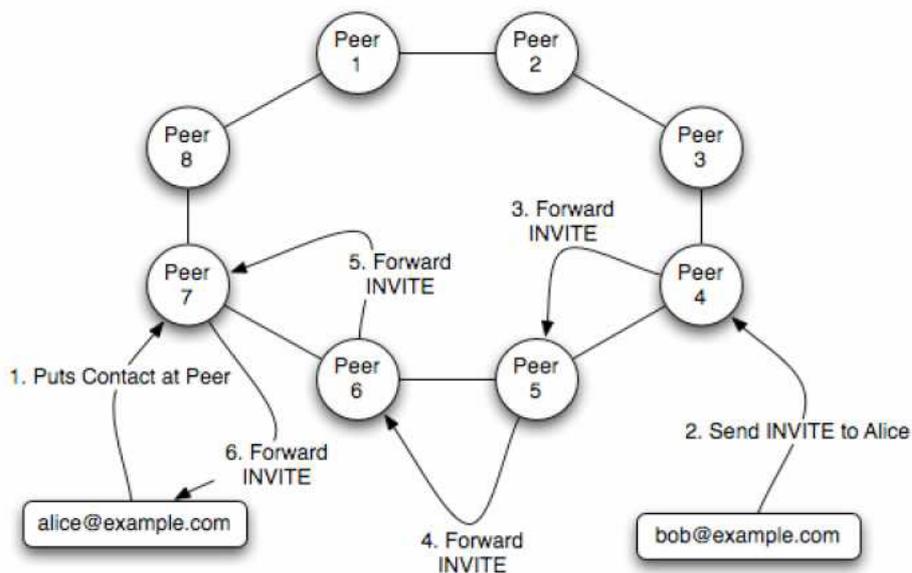


図 2.10: Overlay Routes to Contact (P2P over SIP)

ジはは SIP UA 間で直接行う。

IETF68 ワーキンググループミーティングでは、各モデルを以下のように定義している。
Overlay Stores Contact オーバレイに Contact 情報を登録するモデルである。SIP using P2P に相当するモデル(図 2.9 参照)。メリットはオーバレイでロケーションサービスのみ提供するので、SIP と P2P のレイヤ切り分けが出来、実装が単純であること。ただし、NAT 越えが出来ない。

Overlay Routes to Contact オーバレイ上で SIP メッセージをルーティングするモデル

であるP2P over SIPに相当するモデル(図2.10参照).. NAT越えは可能だが,従来のSIPを流用しにくい.

Overlay Stores “Proxy” Peer 上記2つのモデルの組み合わせ.

P2P層とSIP層の分離を考えるなら, Overlay Stores Contactモデルが最善であり, NAT越えは出来ないが, UPnP等で対処可能である.

P2P SIPの実装状況

IETFのP2PSIPについて紹介してきたが,これはP2P SIPの一つであり, P2P SIPを実装しているものは複数ある.ただし,現在までP2P SIPを代表するようなプロトコルはない.以下に具体的な実装例を示す.

SIPPEER Singhらによる実装[20](2005年). P2P over SIPモデルの提案. DHTの一種であるChordをSIPメッセージを用いて実装している.

SOSIMPLE Bryanらによる実装[4](2005年). P2P over SIPモデルの提案. SIPPEERと同じくDHTの一種であるChordをSIPメッセージを用いて実装している.[4].

SIPDHT, SIPDHT2 P2P SIPコミュニティのオープンソースプロジェクト[23]. 言語はC, DHTアルゴリズムはCANを採用している.

sip2p P2P SIPコミュニティのオープンソースプロジェクト[24]. 言語はC++, DHTアルゴリズムはKademliaを採用している.

ViaSIP P2P SIPコミュニティのオープンソースプロジェクト[26]. IETF P2PSIPに準拠した実装を進めることを謳っているが, 2010年10月現在ソースは公開されていない(SourceForgeにページがあるだけの状態).

モバイルとP2P SIP

これまで紹介してきたP2P SIPは,有線での利用が前提であり,モバイルでの利用,特に無線アドホックネットワーク(MANET)での利用を想定されたものではない.モバイルとP2P SIPに関する文献調査を行ったがほとんど研究されていない.これまで取り上げてきたMANETにおけるSIPの研究に関する文献の多くが,関連研究としてP2P SIPを取り上げている.しかし比較対象にしているものは見当たらない.

唯一.文献[16]がモバイル機器対象としたP2P SIPに関する研究を行っているが,内容はMANET上での話ではなく,既存の携帯電話ネットワーク網を使ったNAT越えに関するものである.

P2P SIP と SIP サーバレスシステム

MANET がピュア P2P モデルの一種であるという特徴を踏まえれば、MANET 上で SIP を利用しようと考えた場合、P2P SIP で実現しようという考えに至るのは必然に思われる。そうした意味で、提案システムである SIP サーバレスシステムの比較対象として考慮すべきだと考える。しかし、オーバーレイネットワークである MANET 上で SIP を利用するのに、P2P が新たにオーバーレイする形になるので非効率ではないかと考えられる。このことを、第4章の「シミュレーション」で、提案システムである「SIP サーバレスシステム」と比較することで、提案システムの方が制御メッセージ数を抑え、シグナリング遅延時間を短縮できることを実証した。

2.6 本章のまとめ

本章では、MANETとNGN、SIPの関係性について解説することで研究背景を説明し、MANET上でのSIP利用の問題点と、それを解決するような既存研究について説明した。

第2.2節では、MANETとNGNの関係について説明した。NGNではSIPを標準プロトコルとして採用しており、NGNの一部としてMANETが存在した場合、MANET上でもSIPの動作が保証されるべきであると指摘した。

第2.3節では、SIPの概要について説明した。特に、SIPサーバレスシステムを実装するに当たり必要となる、SIPサーバの役割とSIPメッセージの処理手順について説明した。

第2.4節では、SIPサーバレスシステムが解決しようとしている、MANET上でSIPの利用が保証されない理由について説明した。SIPサーバレスシステムが解決する問題として、ノードが移動することによりSIPサーバが含まれないMANETが生じ、SIPサーバの含まれないMANET上ではSIPの利用ができなくなる問題を示した。

第2.5節では、第2.4節で示した問題を解決するような関連研究として、「全端末にSIPサーバ機能を搭載する手法」、「P2P SIPを利用する手法」を挙げ、それぞれに関する既存研究について紹介した。

第3章

SIP サーバレスシステム

3.1 本章の概要

本章では、MANET 上で SIP の動作を保証するための SIP サーバレスシステムを提案する。MANET 上で SIP の動作を保証するというのは、2.4 節で説明した問題点を解決することに当たる。この問題を解決するために提案システムでは、アドホックルーティングプロトコルによる経路構築の際に SIP REGISTER 情報を含めてルーティング処理を行う。このルーティング処理によって全 SIP クライアントに SIP URI と IP アドレスの対情報などを通知し、本来 SIP のロケーションサーバが持つべき情報を各 SIP クライアントに持たせる。これにより SIP サーバに SIP クライアントの情報を問い合わせる必要がなくなるため、MANET において SIP サーバレスで SIP の動作を保証することができる。

提案システムのポイントは以下の二点である。

- SIP サーバが行うべき位置情報処理をアドホックルーティングに委託し SIP サーバレスで動作を保証する
- SIP シーケンス処理の改良による制御パケットの削減

移行の節で、システムを利用するにあたっての想定環境を仮定し、システムの全体像を提案する。続けて提案システムにおける SIP 処理シーケンスを示す。

第 3.2 節では、SIP サーバレスシステムを運用するにあたっての想定する利用環境について説明する。

第 3.3 節では、SIP サーバレスシステムの概要について説明する。

第 3.4 節では、SIP サーバレスシステムを実装するに当たり、DSR を拡張する必要がある、その拡張方法について説明する。DSR を SIP サーバレスシステム用に拡張したプロトコルを DSR-SIP として提案する。

第 3.5 節では、SIP サーバレスシステムを実装するに当たり、OLSR を拡張する必要がある、その拡張方法について説明する。OLSR を SIP サーバレスシステム用に拡張したプロトコルを OLSR-SIP として提案する。

第 3.6 節では、SIP サーバレスシステムによる SIP メッセージの処理手順について示し、提案システムにより SIP メッセージの削減が出来ることを示す。

表 3.1: SIP サーバレスシステムの想定利用環境

用途	グループ作業等における内線的役割
アプリケーション	音声通話のようなリアルタイムマルチメディア通信
ノード数	2~30人程度
モビリティ	システムは歩行者が利用する
スケール	利用範囲は広くて1km四方程度

3.2 想定する利用環境

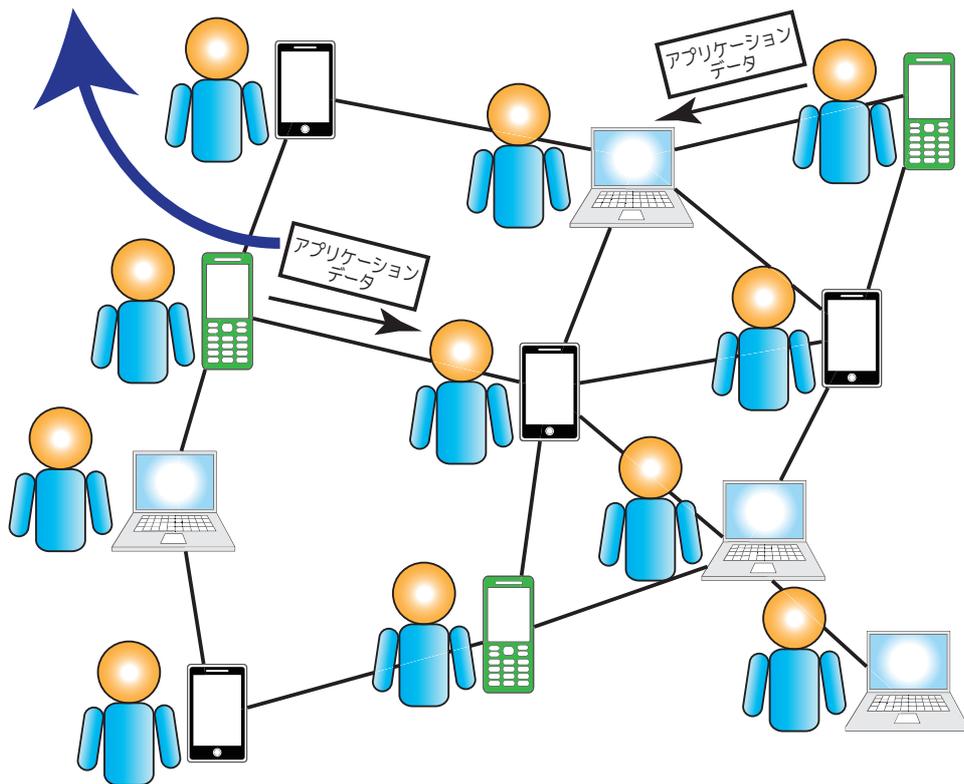
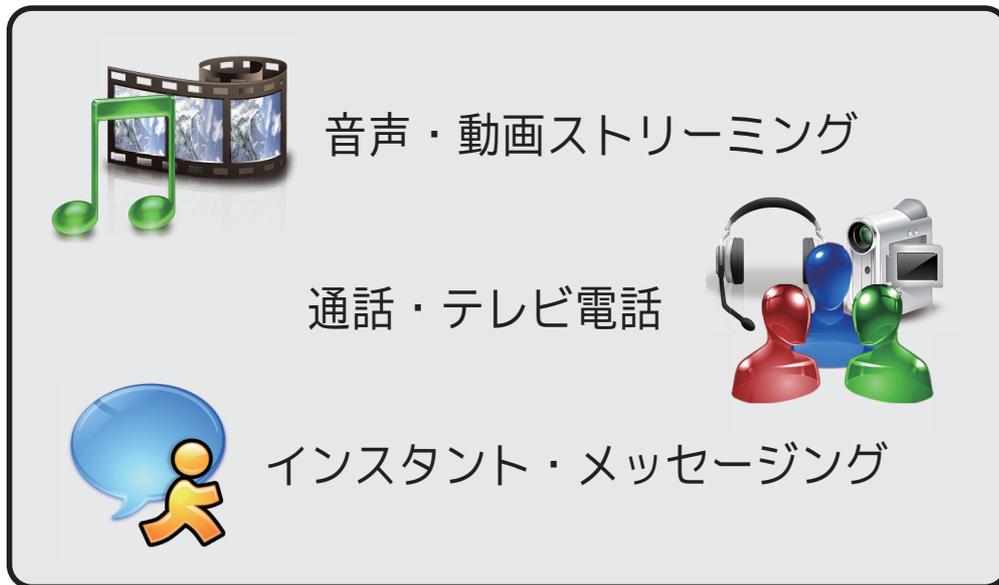
SIP サーバレスシステムを提案するに当たり、システムをどのような環境で使うことを想定しているかについて説明する。

SIP はマルチメディア通信を行うために利用されるプロトコルであることから、人同士がコミュニケーションを行う場面を想定する。MANET 上で SIP を利用する例として、限られた範囲の中で移動を伴うグループ作業（災害現場での救助活動や無線通信インフラが利用できない海上や森林といった場所での作業など）を行うときに、インフラが無いもしくはインフラ整備が困難な状況で、作業する個人が所持する無線移動通信端末どうして MANET を構築し、音声通話やチャット、動画配信などのマルチメディア通信を行う状況が考えられる。ノード数としては 2~30 人程度のグループが内線のように音声通話やマルチメディアチャットを利用する場面を想定する。利用環境を表 3.1 にまとめる。

表 3.1 のような利用環境の場合、マルチメディア通信のようなリアルタイム性を求められるアプリケーションを使うことから、通信時に遅延の少ないプロアクティブ型のルーティングプロトコルが向いていると考えられる。リアクティブ型は、通信開始時に経路を決定するため通信前に遅延が発生する。対してプロアクティブ型は、通信開始時には経路が決定しているため不必要な経路情報まで持つてしまうが、通信時の遅延が少ないという利点がある。また、モビリティは自動車のような移動体と比べ、人を対象としているので比較的低いと言える。さらに、地域ネットワークのような広範囲でのノードが動かないアドホックネットワークではなく、広くても 1km 四方の限られた範囲の中での多人数によるグループワークを想定しているためノード密度は高めである。故に、ノード密度が高くなればなるほど効率的なフラッディングが行えるプロアクティブ型の OLSR が標準化されているルーティングプロトコルとして適当であると考えられる。OLSR は、各ノードが MPR 集合を隣接ノードから選ぶことによって、効率的なフラッディングが行なえるのが特徴だ。

以上のことから、プロアクティブ型の OLSR を SIP サーバレスシステムで用いるルーティングプロトコルとして採用した。第 3.5 節で、拡張するルーティングプロトコルとして OLSR の拡張方法について説明する。また、プロアクティブ型の OLSR の性能を確認するため、比

SIP アプリケーション



MANET を利用したグループワーク

図 3.1: SIP アプリケーションを利用する MANET 環境のイメージ

較対象として DSR でも SIP サーバレスシステムを実装する．DSR の拡張については第 3.4 で説明する．

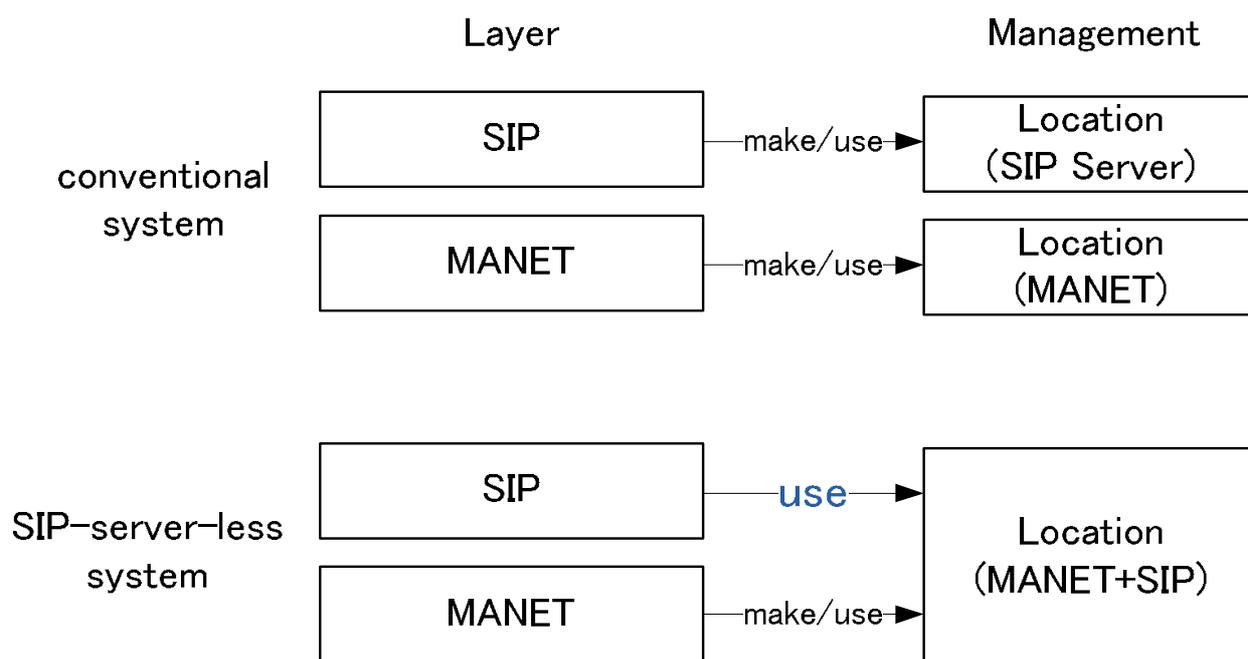


図 3.2: SIP サーバレスシステムの概要

3.3 システムの全体像

システムの全体像を図 3.2 に示す。MANET 上で SIP の利用を実現しようとする従来の研究の多くは、SIP サーバや SIP クライアントが行う SIP メッセージの処理と、MANET でのルーティングとは切り離されて考えるのが一般的であった。クライアントサーバモデル上で利用されてきた SIP の使用方法を MANET 上でそのまま踏襲すると、アドホックルーティングプロトコルを利用することで MANET を構築し、そのネットワーク上のアプリケーションとして SIP を利用するのが一般的な考え方となる。既存の研究でもこのシステムの概要としては、図 3.2 の上に示すような形をとっている。

提案システムは、図 3.2 の下に示すようなシステムである。SIP 情報の通知をアドホックルーティングプロトコルに委託する手法をとる。通常 SIP メッセージを処理し、SIP クライアントの位置情報（IP アドレスや SIP URI 情報）管理する役割は SIP サーバが担う。つまり、SIP を利用するには必ず SIP サーバが必要となる。しかし、提案システムでは SIP サーバが行うべき位置情報管理を SIP の下のレイヤであるアドホックルーティングプロトコルに委託する。アドホックで経路を構築する処理に SIP 情報を追加することで、アドホックの経路構築のフェーズで SIP クライアントの位置情報を各端末に通知することを可能とする。これにより、SIP サーバレスで各端末が他の SIP クライアント端末の位置情報を知ることができ、図 3.3 のように SIP 情報を含む経路表を持つことが出来る。この経路表により、SIP サーバを経由することなく SIP メッセージを端末間で送受信することが可能となる。SIP サーバ

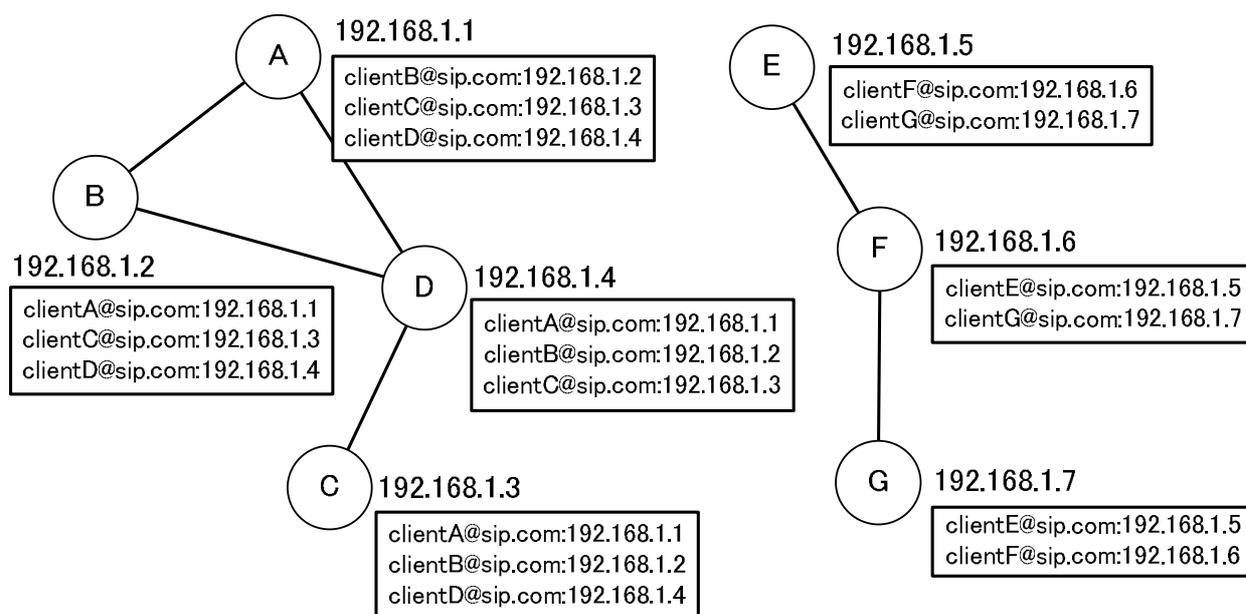


図 3.3: ルーティングプロトコルにより SIP URI を含めた経路表を構築

を利用する（SIP サーバが1台のみや全端末に SIP サーバ機能を搭載するものも含め）既存手法と提案システムのアドホックの経路構築から SIP のセッション確立までの処理フェーズを図 3.4 に示す。

提案システムにより，SIP クライアントが SIP 情報（SIP REGISTER メッセージとして SIP サーバに送信する情報）を SIP サーバに登録したり（SIP サーバのレジスタ機能），SIP クライアントが通信相手の SIP クライアントの情報（IP アドレスやの SIP 情報）を SIP サーバに問い合わせる情報を得る（SIP サーバのリダイレクト機能）といった機能を各端末に実装する必要がなくなる。つまり SIP サーバレスシステムを実現することができる。

提案システムは，Chang の手法 [7][8] の手法のように，全端末に SIP サーバ機能を組み込むのとは異なり，位置情報の管理をアドホックルーティングに委託するので，SIP サーバが行うべき処理自体を減らすことが出来る。また，Leggio の手法 [15] では，SIP メッセージの代わりに，ブロードキャスト（またはマルチキャスト）で一斉に SIP メッセージ（SIP REGISTER メッセージ）を送信することで位置情報を取得・更新する。これに対し提案システムでは，位置情報の管理をアドホックルーティングプロトコルが代わりに行うので，位置情報の取得・更新処理を SIP 機能として組み込む必要はなく，こうした処理を全て省略することが出来る。

SIP の位置情報処理を省略することにより結果として，必要のない SIP メッセージやシーケンス処理が生まれるため，これらを省くことにより制御パケットの削減が見込める。具体的に削除・削減できるメッセージについては 3.6 節に示す。

拡張するアドホックルーティングプロトコルとしてリアクティブ型の DSR[12] とプロアクティブ型の OLSR[6] を利用し，これらを拡張することで提案システムを実現する。DSR を拡

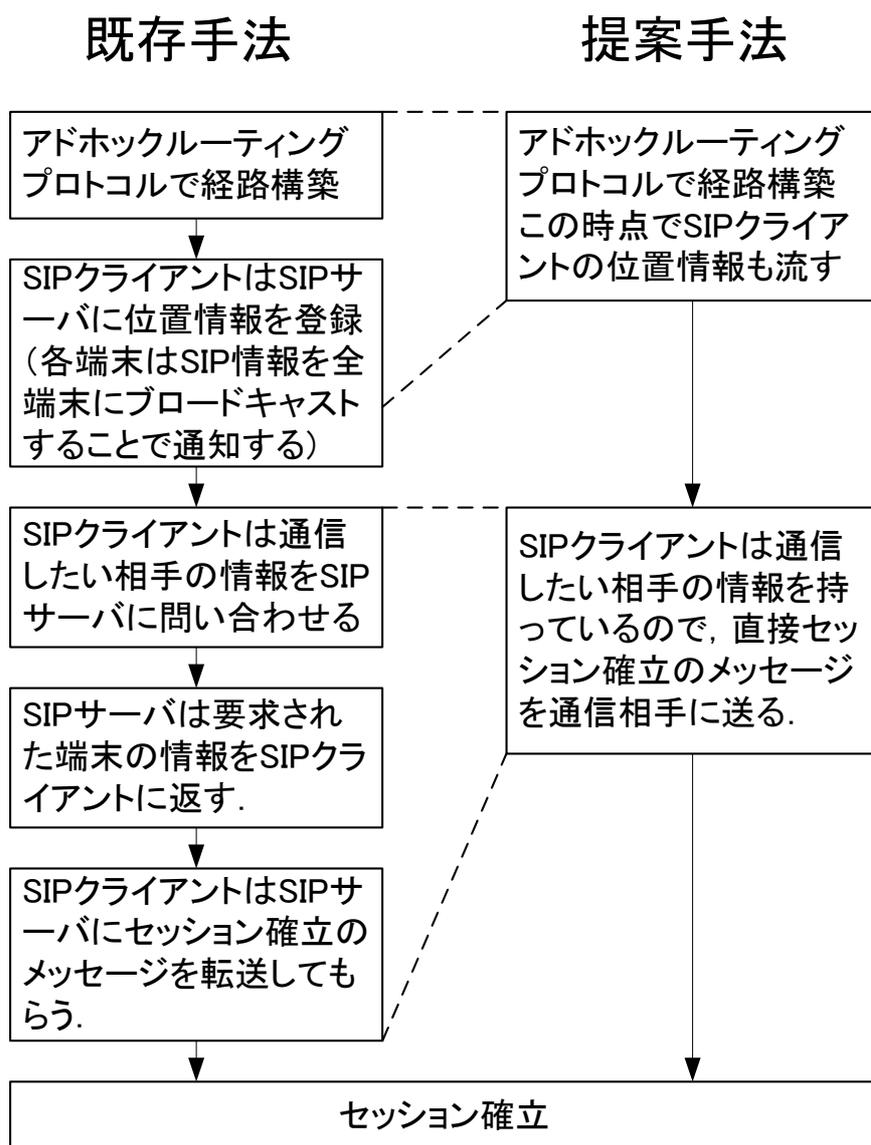


図 3.4: 経路構築から SIP のセッション確立までの処理フェーズ

張したものを DSR-SIP，OLSR を拡張したものを OLSR-SIP として提案する。これは，リアクティブ型でもプロアクティブ型でも提案システムが実装可能であることを実証するためである。今回は DSR と OLSR の二種類で提案システムを実装し評価しているが，他のルーティングプロトコル（AODV[18] や TBRPF[17] など）でも，経路構築の際 IP アドレスを通知する部分を拡張し SIP 情報を追加することで，提案システムのルーティングプロトコルとして利用できる。

3.4 DSR-SIP:DSRを用いたSIPサーバレスシステムの実装

提案システムを実現するために、ルーティングプロトコルを拡張する。拡張するプロトコルとしてDSRを利用する場合について説明する。まず、DSRの概要、DSRの経路探索について説明する。そして、DSRの拡張方法の詳細について説明し、SIPメッセージを削減できることを示す。DSRを拡張したものをDSR-SIPとして提案する。

3.4.1 DSR

DSRは通信要求のあった際に経路探索を行うリアクティブ型とよばれるアドホックルーティングプロトコルである。プロアクティブ型のようにネットワーク状況の変化に追従しようとして、通信が行なわれなくてもパケットを定期的を送受信することはない。パケットの転送は、経路表に従って行なうのではなく、ソースルーティングという、パケットの発信元があらかじめ全体の経路を指定する方式を用いる。特徴として、高頻度の移動に強く、最大200ノードまで対応可能である。ソースノードは目的のノードへの経路情報を持つので、他のルーティングプロトコルで起こりうる転送ループが発生しないのも特徴である。

3.4.2 DSR 経路探索と提案システムにおける拡張

DSRでは通信要求時に、経路探索フェーズが実行される。ノードSがノードDへの経路を探索する様子(図3.5)を例に、経路探索プロセスを以下に示す。

1. ノードSはRREQ(Route Request)パケットを隣接ノードにフラッディングする(図3.5の(2))
2. 各ノードはRREQ中継時に自分のアドレス情報をRREQに付加する(図3.5の(3))
3. ノードDがRREQを受け取ったら、ノードSからノードDまでの経路情報を付加したRREP(Route Reply)をノードSに返す(図3.5の(4))

手順1,2で生成するRREQ,RREPメッセージのペイロードとしてSIP REGISTERメッセージの情報を追加することで、提案システムの実装を行う。拡張方法は、RREQメッセージヘッダの後に、SIP REGISTERメッセージ情報を付加する方法で拡張を行う。RREPメッセージに関しては、ノードDのみのSIP REGISTER情報を付加し、中継ノードのSIP REGISTER情報は追加しない。以上のような拡張を施したDSRを、DSR-SIPとして提案する。DSR-SIPの経路探索の流れを図3.6に示す。

図3.6に示したように、各ノードが対象ノードのSIP情報を既に持っている場合とそうでない場合を判断し、対象ノードのSIP情報をロケーション情報として追加したり、自信のSIP

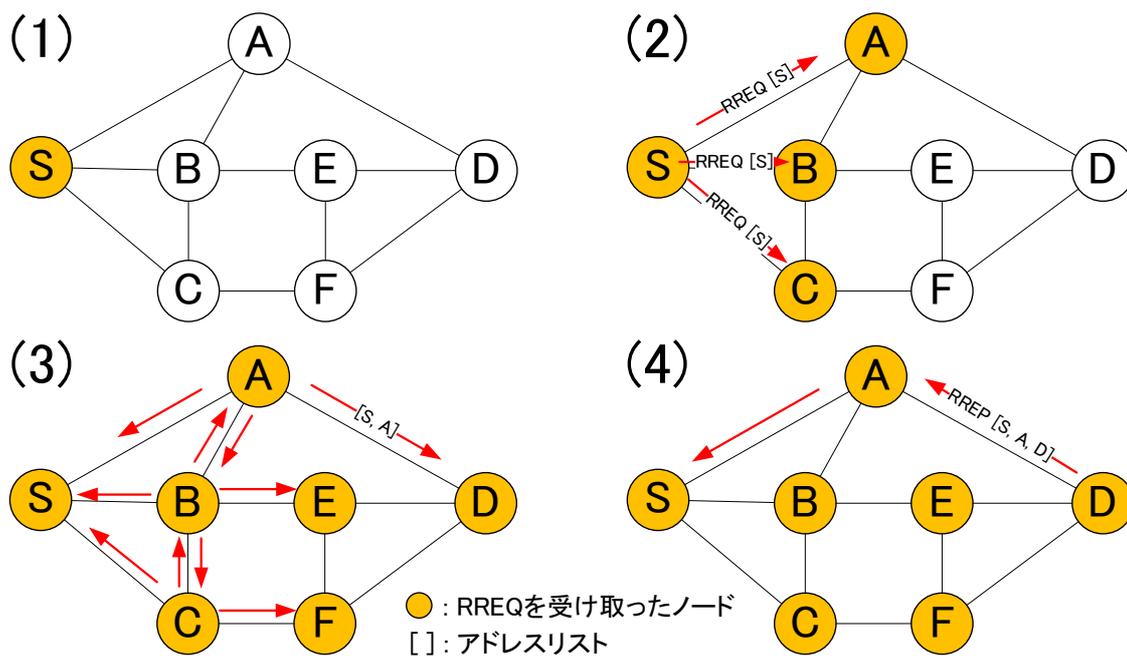


図 3.5: DSR 経路探索

情報を RREQ, RREP パケットに付加するかを決定する。以上の処理を拡張として DSR に追加したものを DSR-SIP とする。

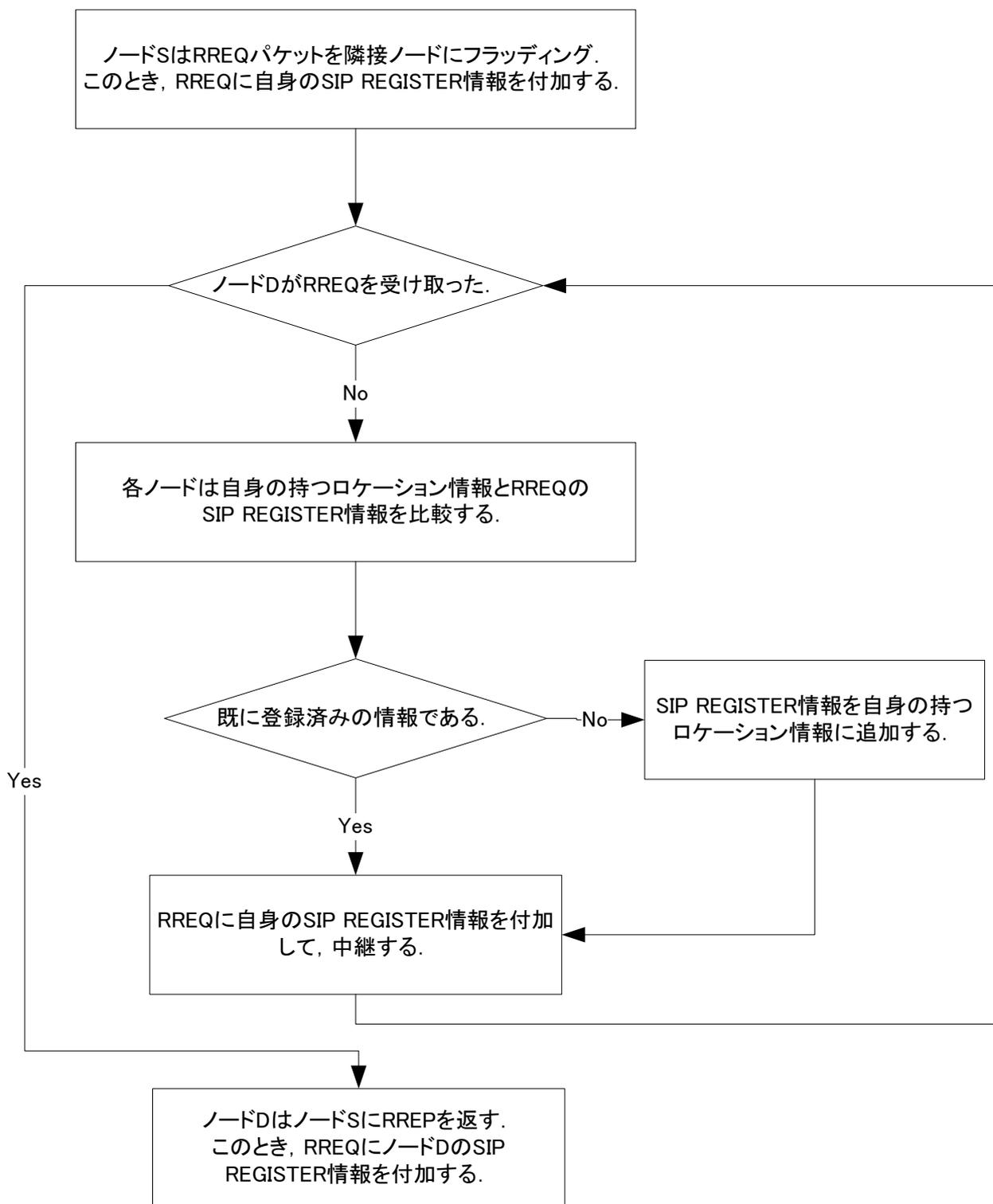


図 3.6: DSR-SIP の経路探索



図 3.7: OLSR のパケットフォーマット

3.5 OLSR-SIP : OLSR を用いた SIP サーバレスシステムの実装

提案システムを実現するために、ルーティングプロトコルを拡張する。拡張するプロトコルとして DSR を利用する場合について説明する。まず、OLSR の概要、OLSR の経路探索の際にフラディングする TC メッセージについて説明する。そして、OLSR の拡張方法の詳細について説明し、SIP メッセージを削減できることを示す。OLSR を拡張したものを OLSR-SIP として提案する。

3.5.1 OLSR

OLSR の主な特徴は、「フラディング」を効率よく行なうことができるということだ。フラディングとは、同一パケットを1つのノードからすべてのノードへ配信することである。ルーティングプロトコルなどによって生成される制御情報を載せたパケット（パケットフォーマットを図 3.7 に示す）は、ネットワークに参加している全ノードに対して配信される場合が多い。したがって、いかにフラディングを効率よく行なえるかがルーティングプロトコルにおいて重要な点となる。

OLSR では、制御情報として HELLO、TC（トポロジ制御、topology control）、MID（多重インターフェース宣言、multiple interface declaration）、HNA（ホストとネットワークの



図 3.8: TC メッセージフォーマット

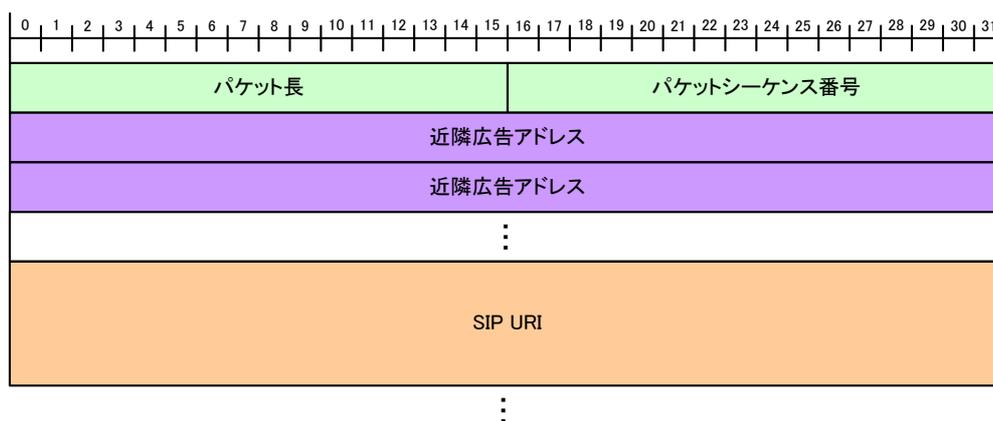


図 3.9: 拡張 TC メッセージ

関連付け (host and network association) の 4 つのメッセージがある。図 3.7 の「メッセージ」部分に各制御メッセージが当てはまる。OLSR では、こうした制御メッセージをマルチホップ無線ネットワークで効果的にフラッディングするために、「MPR (multipoint relay) 集合」というノードの集まりを規定している。MPR 集合が決定すれば、あとはそれらによってルーティングに必要な様々な情報をフラッディングすることになる。

3.5.2 TC メッセージの拡張

OLSR では、すべてのノードがネットワークのトポロジ (どのノードがどのノードとどのように繋がっているかの情報) を蓄える特徴がある。トポロジは TC メッセージ (図 3.8 参照) に記載されており、MPR 集合によってフラッディングされる。TC メッセージには近隣広告アドレス (隣接するノードの IP アドレス) が記載されている。各ノードでは、フラッディングで得たトポロジ情報を基にして経路を計算し、経路表を作成する。実際に行なわれるノード間の通信は、この経路表を基にしている。図 3.10 の様なアドホックネットワークにおいて、ノード L でのトポロジ取得からノード C への経路表を作成する過程を図 3.11 にしめす。

提案システムを実現するに辺り、OLSR を拡張する必要がある。この経路表を作成するた

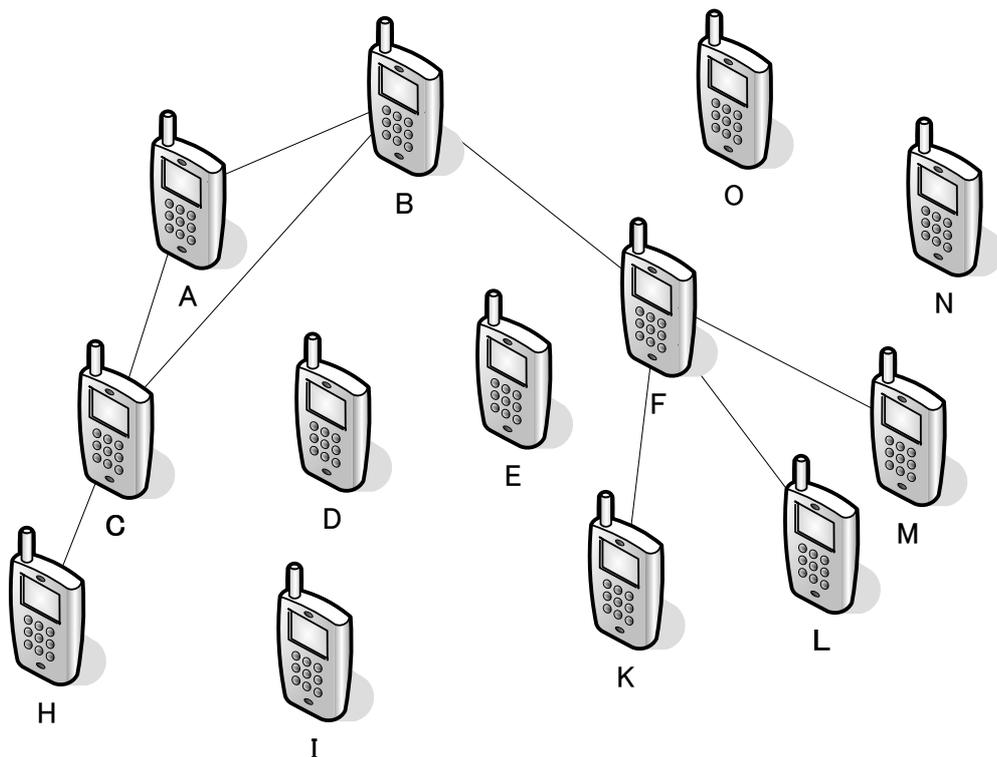


図 3.10: OLSR によるネットワークトポロジの例

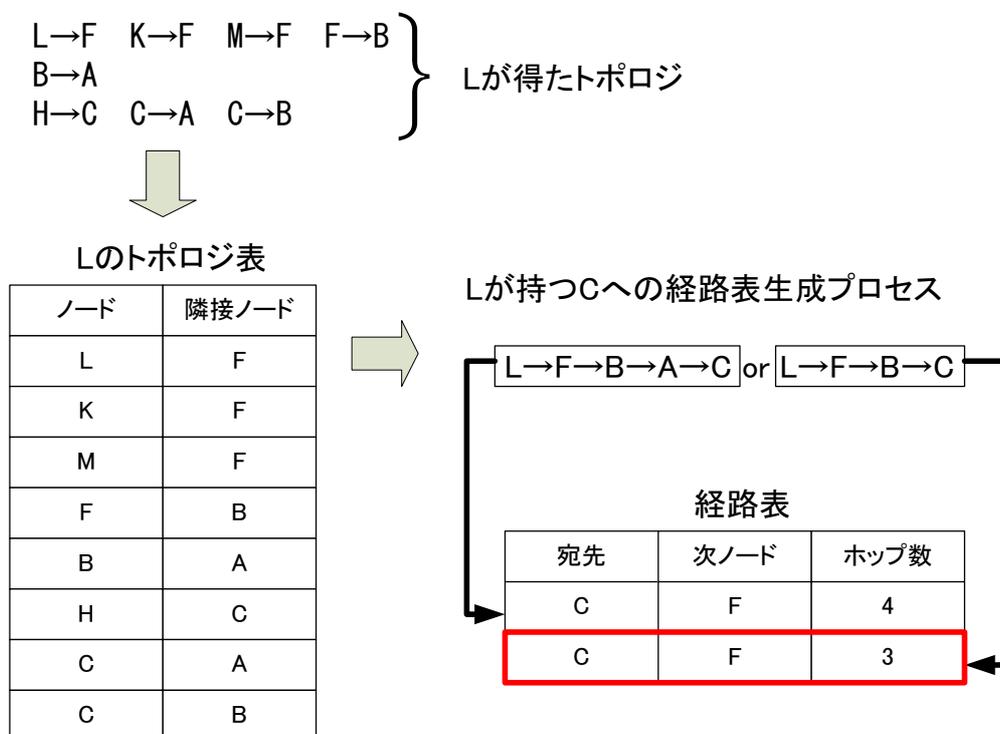


図 3.11: TC メッセージによる経路表作成の様子

Lが得たトポロジ

```

L(clientL@sip.com) → F(clientF@sip.com)
K(clientK@sip.com) → F(clientF@sip.com)
M(clientM@sip.com) → F(clientF@sip.com)
F(clientF@sip.com) → B(clientB@sip.com)
B(clientK@sip.com) → A(clientA@sip.com)
H(clientH@sip.com) → C(clientC@sip.com)
C(clientC@sip.com) → A(clientA@sip.com)
C(clientC@sip.com) → B(clientB@sip.com)

```

↓ 表の作成 ↓

Lのトポロジ表

ノード	隣接ノード
L	F
K	F
M	F
F	B
B	A
H	C
C	A
C	B

SIP URI情報

ノード	隣接ノード
A	clientA@sip.com
B	clientB@sip.com
C	clientC@sip.com
F	clientF@sip.com
H	clientH@sip.com
K	clientK@sip.com
M	clientM@sip.com
L	clientL@sip.com

図 3.12: TC メッセージの拡張とトポロジ表及び SIP URI 情報の生成

めに TC メッセージをフラッディングする際、TC メッセージのペイロードとして近隣広告アドレスに対応するノードの SIP URI を付加する（図 3.9 を参照）。ルーティングプロトコルにより、一定の間隔で任意のノードが通信可能なノードの SIP URI を効率的に知ることが出来る。TC メッセージによって SIP URI 情報が付加されたトポロジ情報を基に、トポロジ表及び IP アドレスと SIP URI を関連づけた表を生成する。この様子を図 3.12 に示す。こうして作成された経路表により、OLSR の経路構築処理だけで、SIP のロケーションサーバが本来は保持するはずの位置情報を図 3.3 のように各 UA に持たせることが出来る。これにより、SIP のロケーションサーバ機能を省くことが出来る。SIP サーバの登録とリダイレクト機能を実現する事が可能となり、SIP の登録メッセージやリダイレクトメッセージを省略することが出来るというメリットがある。



図 3.13: 提案システムの SIP 処理シーケンス

3.6 提案システムの SIP 処理シーケンス

従来の SIP 処理シーケンス (図 2.3 参照) では、最初に SIP サーバに REGISTER メッセージを使って位置情報を登録する。さらに、Alice から Bob へ電話を掛けようとする際は、Bob を呼び出すために SIP サーバへ INVITE メッセージが送られる。このメッセージを受けた SIP サーバはアドレス解決を行い、Bob へメッセージを転送する (プロキシ)。また、Alice に Bob の位置情報 (IP アドレス) を通知する (リダイレクト)。さらに、Bob が電話に出る場合は、暫定応答 (180 Ringing)、レスポンスメッセージ (200 OK) を SIP サーバが中継する。最後に、レスポンスメッセージを受けた Alice は Bob へその応答 (ACK) を返す。以上のようなメッセージのやり取りによりセッションが確立され、通話が始まる。

対して提案システムでは、位置情報の管理はアドホックルーティングプロトコルに委託しているため、REGISTER メッセージを生成して送信する必要はない。さらに、Alice は Bob の位置情報を自身で保持しているため、INVITE メッセージを直接 Bob に送れば良い。つまり、以上のような処理シーケンスに改めれば、レジストラ、プロキシ、リダイレクト機能を満たすことが出来る。提案システムの SIP 処理シーケンスを図 3.13 に示す。このとき、通常は SIP クライアントでは SIP サーバのアドレス情報を設定しておく。しかし、提案システムでは SIP サーバは存在しないので、本システムでは SIP サーバを指定する部分をクライアント自身のアドレスを指定することにする。提案システムでは、サーバアドレスとして自身を参照している場合、上述したような処理シーケンスを行うように規定する。

提案システムでは従来の SIP 処理シーケンスで発生する REGISTER, 100 Trying を生成する必要がなく, INVITE, 180 Ringing, 200 OK に関してはサーバが中継する手間が省けるため, 中継しない分だけメッセージを削減することが出来る.

生成不要なメッセージ REGISTER, 100 Trying.

削減できるメッセージ INVITE, 180 Ringing, 200 OK.

3.7 本章のまとめ

本章では、MANET 上で SIP の動作を保証するための SIP サーバレスシステムを提案した。第 3.2 節では、SIP サーバレスシステムを運用するに当たっての想定する利用環境について説明した。想定する利用環境として、限られた範囲の中で移動を伴うグループ作業をするに当たり、作業する個人が所持する無線移動通信端末どうしで MANET を構築し、ノード数としては 2~30 人程度のグループが内線のように音声通話やマルチメディアチャットを利用する場面を想定した。

第 3.3 節では、SIP サーバレスシステムの概要について説明した。提案システムのポイントとして以下の点を挙げ、それぞれについて説明した。

- SIP サーバが行うべき位置情報処理をアドホックルーティングに委託し SIP サーバレスで動作を保証する
- SIP シーケンス処理の改良による制御パケットの削減

第 3.4 節では、SIP サーバレスシステムを実装するに当たり、DSR を拡張する必要がある、その拡張方法について説明した。DSR を SIP サーバレスシステム用に拡張したプロトコルを DSR-SIP として提案した。SIP 情報を RREQ, RREP パケットのペイロード部分に追加し、SIP メッセージの処理を加えることで、SIP サーバレスシステムを実装できることを示した。

第 3.5 節では、SIP サーバレスシステムを実装するに当たり、OLSR を拡張する必要がある、その拡張方法について説明した。OLSR を SIP サーバレスシステム用に拡張したプロトコルを OLSR-SIP として提案した。TC メッセージのペイロード部分に SIP 情報を追加し、SIP メッセージの処理を加えることで、SIP サーバレスシステムを実装できることを示した。

第 3.6 節では、SIP サーバレスシステムによる SIP メッセージの処理手順について示し、提案システムにより SIP の REGISTER, INVITE メッセージを削減できることを示した。

第4章

シミュレーション

4.1 本章の概要

本章では、シミュレーションについて述べる。シミュレーションでは、通常手法によるシミュレーションと、提案手法によるシミュレーションの2種類のシミュレーションを行う。どちらのシミュレーションでも、シミュレーション環境は共通している。そのシミュレーション環境について述べた後、シミュレーションの実行シナリオについて説明する。そして、シミュレーションの結果を示し、実機実験とシミュレーションの結果を比較・照合することで、提案システムの有効性を示す。

第4.2節では、シミュレーション・シナリオを説明する。シミュレーション1は、提案システムがMANET上でのSIPの動作を保証できるかを確認するために行う。シミュレーション2は、提案システムが既存手法に比べ高効率な通信を実現出来ることを実証するために行う。シミュレーション1とシミュレーション2について、ネットワークシミュレータ`ns-2`で設定するパラメータや初期設定、ネットワーク・トポロジなどのシミュレーション環境について説明する。

第4.3節では、シミュレーション1とシミュレーション2の結果から、セッション確立の成功率、総制御パケット数、シグナリング遅延時間の3つの指標について解析し、解析結果からSIPサーバレスシステムの有効性を示す。

表 4.1: シミュレーション 1 の実験パラメータ

項目	パラメータ
シミュレーション時間	320 [sec]
プロトコル	DSR(SIP サーバ 1 台), OLSR(SIP サーバ 1 台), DSR(P2P SIP), OLSR(P2P SIP), DSR-SIP(SIP SLS), OLSR-SIP(SIP SLS)
無線伝播範囲	150 [m]
ノード数	10, 15, 20, 25
モビリティ	ランダム
移動速度	1.5 [m/sec]
セッション試行間隔	10 [sec]
SIP サーバ	1 台
フィールドサイズ	1000 [m] × 1000 [m]

4.2 シミュレーション条件

ネットワークシミュレータ ns-2[22] を使って提案システムを評価する. 第 3.2 節で説明した利用環境に則ってシミュレーションを行った. SIP サーバレスシステムが MANET 上での SIP の利用を保証できるかの確認と, 既存手法に比べ制御パケットの削減, シグナリング遅延時間の短縮が可能であるかを確認する. そのために, 実験シナリオとして SIP の動作保証を検証するシミュレーション 1 と, 既存手法に比べ効率的な通信が可能なことを検証するシミュレーション 2 の 2 種類のシナリオを用意して実験を行った.

提案システムである SIP サーバレスシステムを評価するために, システムで利用するルーティングプロトコルとして DSR-SIP, OLSR-SIP を用いる. また, 比較する既存手法として, Chang の手法 [7][8] や, 福井の手法 [11], Fudickar の手法 [10] のような, 全端末に SIP サーバを搭載した場合を再現したものを実装した. さらに, MANET での P2P SIP を利用をものも比較対象として実装した.

4.2.1 シミュレーション 1

シミュレーション 1 のシミュレーション条件を表 4.1, ネットワークトポロジを図 4.1 に示す.

シナリオは, MANET を形成する各ノードが秒速 1.5m でランダムに移動する中, あるノードがあるノードに対して SIP によるセッション確立を行う. セッション確立を行おうとする端末のペアをあらかじめ決めておく. 全ノードが 1 対 1 のペアを組むようにする. ノードが余る場合は単純に中継ノードの役目を果たす. セッション確立の試行頻度は 10 秒に一回で

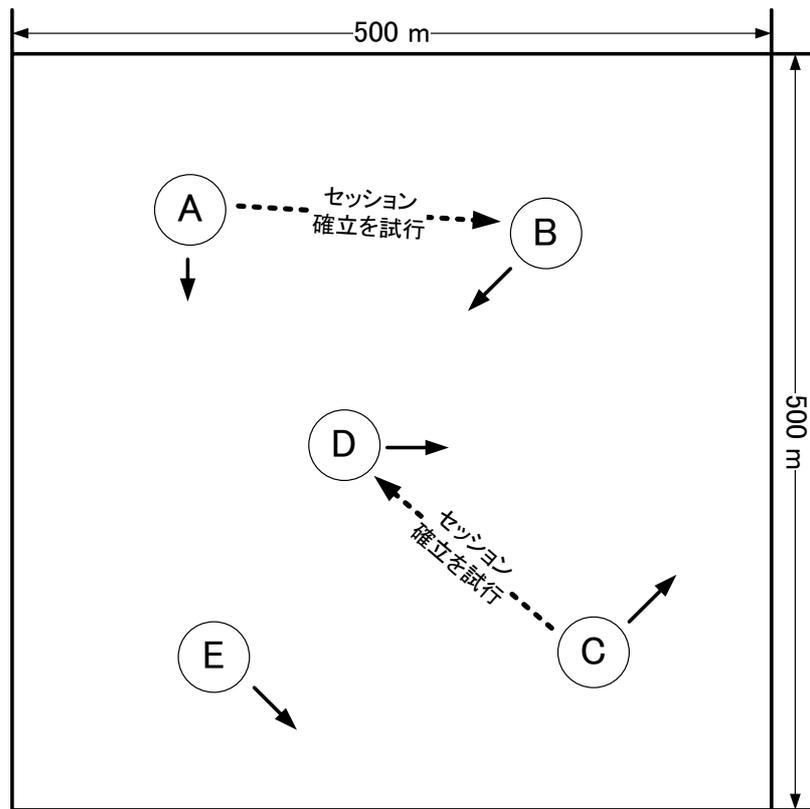


図 4.1: シミュレーション 1 のネットワークポロジ

ある．セッション確立の試行は全てのペア間で行われる．通常は MANET 内のノード（通信可能なノード）にセッション確立を行うのが当然であるが，今回のシミュレーションでは MANET 内に目的のノードが存在しない場合（組んでいる相手のノードが通信不可能）でも，セッション確立を試行する事を許している．

シミュレーションパターンを以下に示す．

1. MANET 上に SIP サーバを 1 台置く場合 (DSR, OLSR)
2. MANET 上で P2P SIP を利用する場合 (DSR, OLSR)
3. MANET 上で SIP サーバレスシステム (SIP SLS) を利用する場合 (DSR-SIP, OLSR-SIP)

比較するシミュレーションパターンは以上の 3 種類とする．

パターン 1 はクライアントサーバモデル上で利用されてきた SIP の使用方法を再現するものとして，ノードの一つを SIP サーバにする手法を比較手法とし，これについてルーティングプロトコルを DSR と OLSR の 2 種類についてシミュレーションを行う．

パターン 2 は SIP の代わりに P2P SIP (DHT として Kademlia[21] を採用し，P2P ネットワーク上で SIP メッセージを送受信する形で実装) を用いて MANET 上にオーバレイネット

表 4.2: シミュレーション 2 の実験パラメータ

項目	パラメータ
シミュレーション時間	320 [sec]
プロトコル	DSR(SIP サーバ 1 台), OLSR(SIP サーバ 1 台), DSR(P2P SIP), OLSR(P2P SIP), DSR-SIP(SIP SLS), OLSR-SIP(SIP SLS)
無線伝播範囲	150 [m]
ノード数	5, 10, 15, 20, 25, 30
モビリティ	ランダム
移動速度	1.5 [m/sec]
セッション試行間隔	5 [sec]
フィールドサイズ	1000 [m] × 1000 [m]

ワークを形成する比較手法を実装し、これについて MANET のルーティングプロトコルとして DSR と OLSR の 2 種類についてシミュレーションを行う。

パターン 3 は SIP サーバレスシステムを利用した提案システムとして DSR-SIP と OLSR-SIP の 2 種類についてシミュレーションを行う。

以上シミュレーションパターン 3 種類、各パターンにつき 2 種類のプロトコルを使い、計 6 通りのシミュレーションを行った。さらに、各パターンについて変更するパラメータとして、ノードの数が 10, 15, 20, 25 の 4 種類についてシミュレーションを行った。

4.2.2 シミュレーション 2

シミュレーション 2 のシミュレーション条件を表 4.2, ネットワークトポロジを図 4.2 に示す。シナリオはシミュレーション 1 と同じである。

シミュレーションパターンを以下に示す。

1. MANET 上の全端末に SIP サーバを搭載し、SIP REGISTER メッセージはブロードキャストする場合 (DSR, OLSR)
2. MANET 上で P2P SIP を利用する場合 (DSR, OLSR)
3. MANET 上で SIP サーバレスシステム (SIP SLS) を利用する場合 (DSR-SIP, OLSR-SIP)

比較するシミュレーションパターンは以上の 3 種類とする。

シミュレーション 1 との違いは、実験ノード数の増加に伴い実験フィールドのサイズを 1000m 四方にした点と、セッション試行回数の頻度を 10 秒間隔から 5 秒間隔に変更した点である。さらに、シミュレーション 1 で行った SIP サーバ 1 台を置くパターン (シミュレーション 1

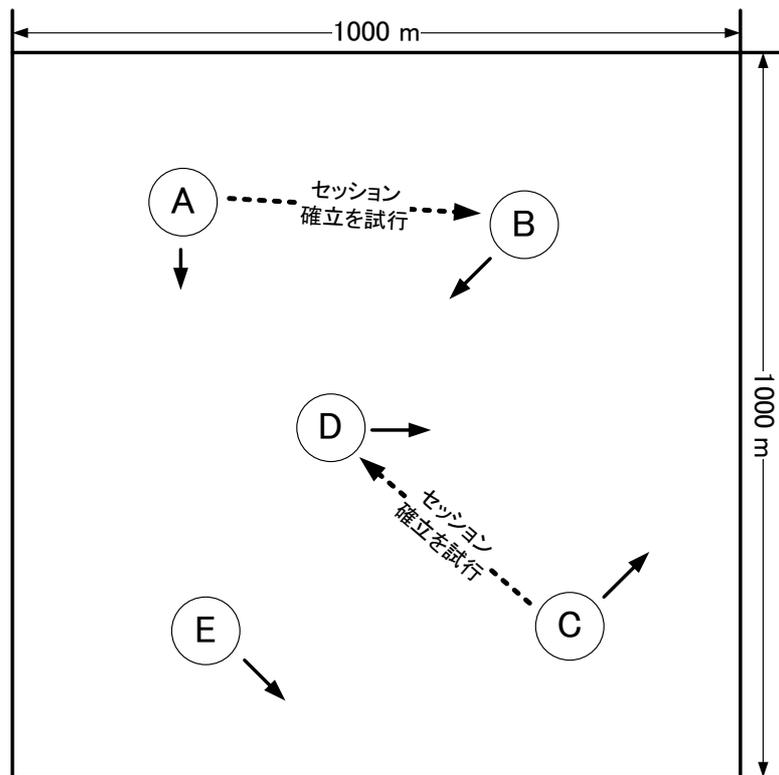


図 4.2: シミュレーション 2 のネットワークトポロジ

のパターン 1) の代わりに、全端末に SIP サーバを搭載し、SIP REGISTER 情報をブロードキャストによって通知する場合を追加した。これは、Chang の手法 [7][8] や、福井の手法 [11]、Fudickar の手法 [10] のような、全端末に SIP サーバを搭載した場合を再現した既存手法である。

この既存手法を使う場合と、P2P SIP を使った場合、SIP サーバレスシステムを利用した場合について各パターン 2 種類のルーティングプロトコルを使い、計 6 通りのシミュレーションを行った。さらに、変更するパラメータとして各パターンに対し、ノードの数が 5, 10, 15, 20, 25, 30 の 6 種類についてシミュレーションを行った。

4.3 シミュレーション結果と評価

SIP サーバレスシステムを評価するために、SIP サーバレスシステムが MANET 上での SIP 利用を保証出来るかの確認としてシミュレーション 1 を行った。これを評価するために、各シミュレーションパターンのセッション確立の成功率を比較した。その結果を第 4.3.1 項に示す。

既存手法に比べ SIP サーバレスシステムの方が総制御パケット数を抑え、シグナリング遅延時間を短縮できることで高効率な通信を実現できるかを検証するためにシミュレーション 2 を行った。総制御パケット数については第 4.3.2 項、シグナリング遅延時間については第 4.5 項に示す。

4.3.1 セッション確立の成功率

シミュレーション 1 の結果を表 4.3，図 4.3 として示す。今回のシミュレーションでは、通信不可能なノードに対してもセッション確立を試みるがあったため、その場合（ノード数 5，10 の時）に提案システム（DSR-SIP，OLSR-SIP）でもセッションが確立できなという状況が起きている。しかし、通常的环境（アプリケーションとして実装した場合）では通信不可能なノードに対してセッション確立を行おうとすることはなく（アプリケーション上では通信可能なユーザのみ、通信可能なアクティブユーザとして認識され表示されることを想定している。通信できない範囲にいるユーザは、ユーザとしてそもそも表示されない）、それを除けば通信可能なノードに対するセッション確立の成功率は 100%であった。これにより、提案システムで MANET 上での SIP 動作の保証が実現できたといえる。

それに対して SIP サーバを MANET 上に 1 台置く場合の従来手法では、たとえセッション確立を試みたノードが通信可能であっても、そのネットワーク内に SIP サーバが存在しないとセッション確立に失敗してしまう。ノード数 15 の時、P2P SIP を利用する場合や SIP サーバレスシステムでは 100%セッション確立が成功しているが（つまり、セッション確立しようとしたノードに対して、相手ノードは常に通信可能な範囲にいたことになる）、SIP サーバを MANET 上に 1 台置く場合の従来手法では、セッション確立に数回失敗している。これは、第 2.4 節で説明した問題が発生しているためである。このことから、提案システムで MANET 上での SIP 動作の保証が実現できることが実証された。

P2P SIP に関しては、ベースとなるルーティングプロトコルが同じ場合 SIP サーバレスシステムと同じ結果となった。つまり、P2P SIP を使っても MANET 上で SIP の動作を保証できることがわかった。SIP サーバレスシステムと全く同じ結果となったのは、セッション確立が保証された環境で、シミュレーション 1 のようなシナリオの場合、セッション確立が成功するかどうかは、ルーティングプロトコルの性能に依存するためだと考えられる。

表 4.3: セッション確立の成功回数と成功率

Number of Nodes	Session establishment rate [%] (success/number of attempts)					
	One SIP server + DSR	One SIP server + OLSR	P2P SIP (DSR)	P2P SIP (OLSR)	DSR-SIP	OLSR-SIP
5	43.3 (13/30)	43.3 (13/31)	53.3 (16/30)	60.0 (18/30)	53.3 (16/30)	60.0 (18/30)
10	73.3 (22/30)	73.3 (22/31)	86.7 (26/30)	90.0 (27/30)	86.7 (26/30)	90.0 (27/30)
15	90.0 (27/30)	90.0 (27/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)
20	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)
25	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)	100 (30/30)

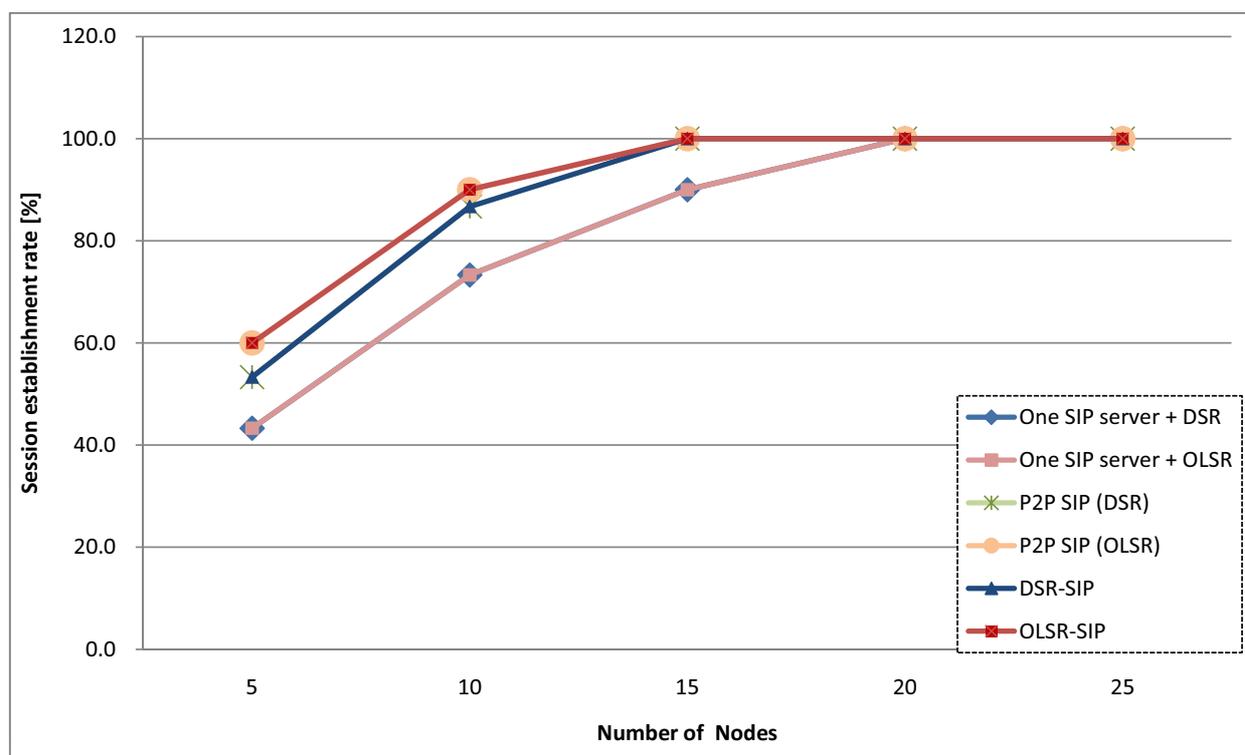


図 4.3: セッション確立の成功率

4.3.2 総制御パケット数

シミュレーション2の総制御パケット数を解析した結果を表4.4, 図4.4に示す。表4.4, 図4.4の結果は, DSRやOLSRのルーティングプロトコルや, P2P SIP, SIPで用いる制御パケット数の総数である。総数は50回シナリオを実行した平均値を取っている。

全体を通した結果としては, 提案システムであるSIPサーバレスシステムのOLSR-SIPを使った場合が, 最も制御パケットを抑える結果になった。また, DSR-SIPに関しても, ルーティングプロトコルとしてDSRを使った「全端末にSIPサーバを搭載する既存手法を使った場合」, 「P2P SIPを使った場合」の比較対象に比べて, 最も制御パケットを抑えることが

表 4.4: 各ノード数における総制御パケット数

Number of Nodes	Number of control packets					
	All nodes have a SIP server function + DSR	All nodes have a SIP server function + OLSR	P2P SIP (DSR)	P2P SIP (OLSR)	DSR-SIP	OLSR-SIP
5	3231	2651	8212	7598	4521	2151
10	9802	6408	17008	13542	9325	3423
15	21034	14450	35942	29356	12941	4129
20	45026	32154	73394	60512	32044	9613
25	56307	40857	91593	76136	38023	10947
30	73232	51756	110325	88753	51252	15123

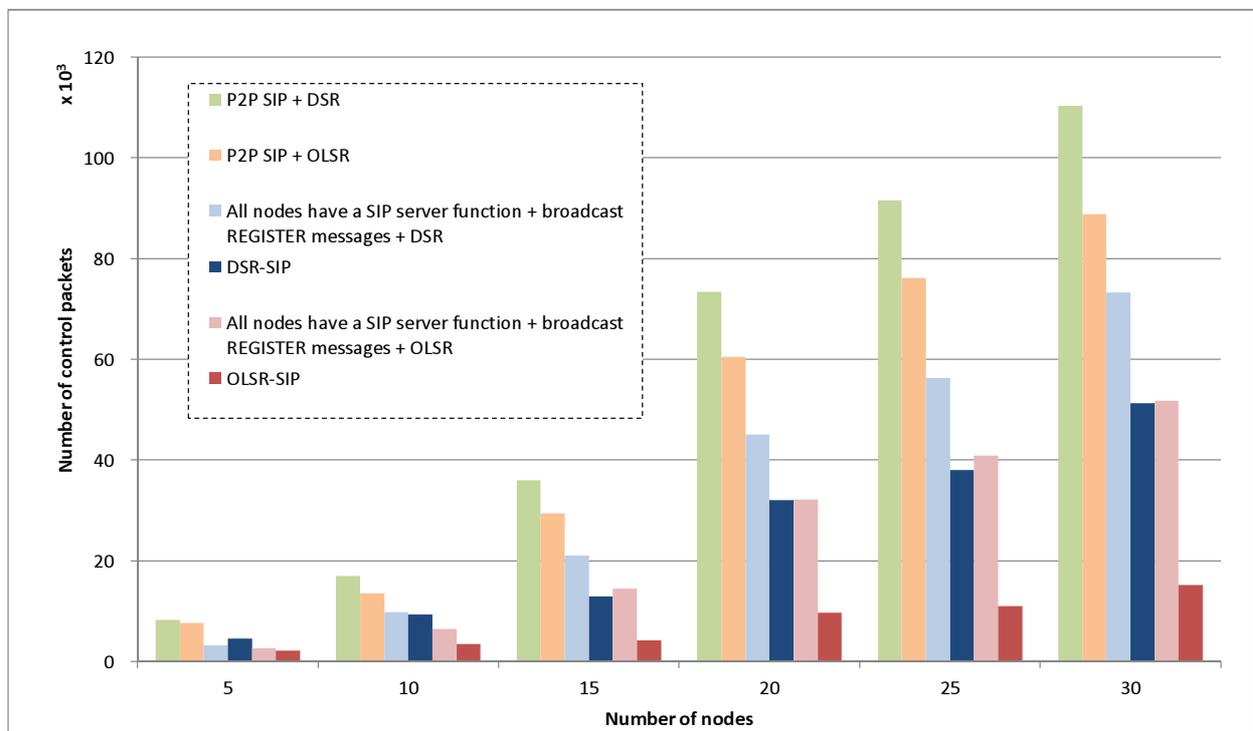


図 4.4: 総制御パケット数

出来た。この結果から、利用する MANET のルーティングプロトコルが同じ場合、SIP サーバレスシステムが最も制御パケットを抑えられることがわかる。以下に各パターンについて詳細に比較した結果について示す。

DSR-SIP vs 既存手法 (DSR) vs P2P SIP(DSR)

DSR-SIP は既存手法 (DSR) に比べ、平均 15.8%、最大 38.5% (ノード数 15)、ノード数 20 以上の時に限れば、平均 26.9% 総制御パケット数を削減できた。P2P SIP を利用した場合に比べても、平均 53.7%、最大 64.0% (ノード数 15) 総制御パケット数を削減できた。

OLSR-SIP vs 既存手法 (OLSR) vs P2P SIP(OLSR)

OLSR-SIP は既存手法 (OLSR) に比べ、平均 58.5%、最大 73.2% (ノード数 25)、ノード数 20 以上の時に限れば、平均 71.4% 総制御パケット数を削減できた。P2P SIP を利用した場合に比べても、平均 80.8%、最大 85.9% (ノード数 15) 総制御パケット数を削減できた。

OLSR-SIP vs DSR-SIP

提案システムのルーティングプロトコルである OLSR-SIP と DSR-SIP と比べた場合、OLSR-SIP は DSR-SIP に比べ、平均 65.9%、最大 71.2% (ノード数 25) 総制御パケット数を抑えられる結果となった。

4.3.3 シグナリング遅延時間

シミュレーション 2 のシグナリング遅延時間を解析した結果をと表 4.5 と図 4.5 に示す。表 4.5、図 4.5 の結果は 50 回シナリオを実行した平均値を取っている。

全体を通じた結果としては、提案システムである SIP サーバレスシステムの OLSR-SIP を使った場合が、最もシグナリング遅延時間を短縮できる結果となった。また、DSR-SIP に関しても、ルーティングプロトコルとして DSR を使った「全端末に SIP サーバを搭載する既存手法を使った場合」、「P2P SIP を使った場合」の比較対象と比べて、最もシグナリング遅延時間を短縮することが出来た。この結果から、利用する MANET のルーティングプロトコルが同じ場合、SIP サーバレスシステムが最もシグナリング遅延時間を抑えられることがわかる。

以下に各パターンについて詳細に比較した結果について示す。

DSR-SIP vs 既存手法 (DSR) vs P2P SIP(DSR)

DSR-SIP は既存手法 (DSR) に比べ、平均 10.7%、最大 17.8% (ノード数 30)、ノード数 20 以上の時に限れば、平均 71.4% シグナリング遅延時間が短縮できた。P2P SIP を利用した場合と比べても、平均 11.5%、最大 17.9% (ノード数 30) シグナリング遅延時間を短縮できた。

OLSR-SIP vs 既存手法 (OLSR) vs P2P SIP(OLSR)

OLSR-SIP は既存手法 (OLSR) に比べ、平均 10.9%、最大 15.9% (ノード数 25) シグナリング遅延時間を短縮できた。P2P SIP を利用した場合に比べても、平均 12.7%、最大 17.1% (ノード数 30) シグナリング遅延時間を短縮できた。

表 4.5: 各ノード数における平均シグナリング遅延時間

Number of Nodes	Signaling Delay [msec]					
	All nodes have a SIP server function + DSR	All nodes have a SIP server function + OLSR	P2P SIP (DSR)	P2P SIP (OLSR)	DSR-SIP	OLSR-SIP
5	214.5	65.1	216.3	67.2	205.2	61.6
10	193.7	58.3	195.6	60.3	181.5	54.5
15	188.5	58.9	193.2	61.1	174.2	54.2
20	316.7	71.2	317.2	71.9	275.6	61.2
25	379.1	76.8	382.5	76.1	321.7	64.6
30	441.3	82.1	441.7	83.5	362.8	69.2

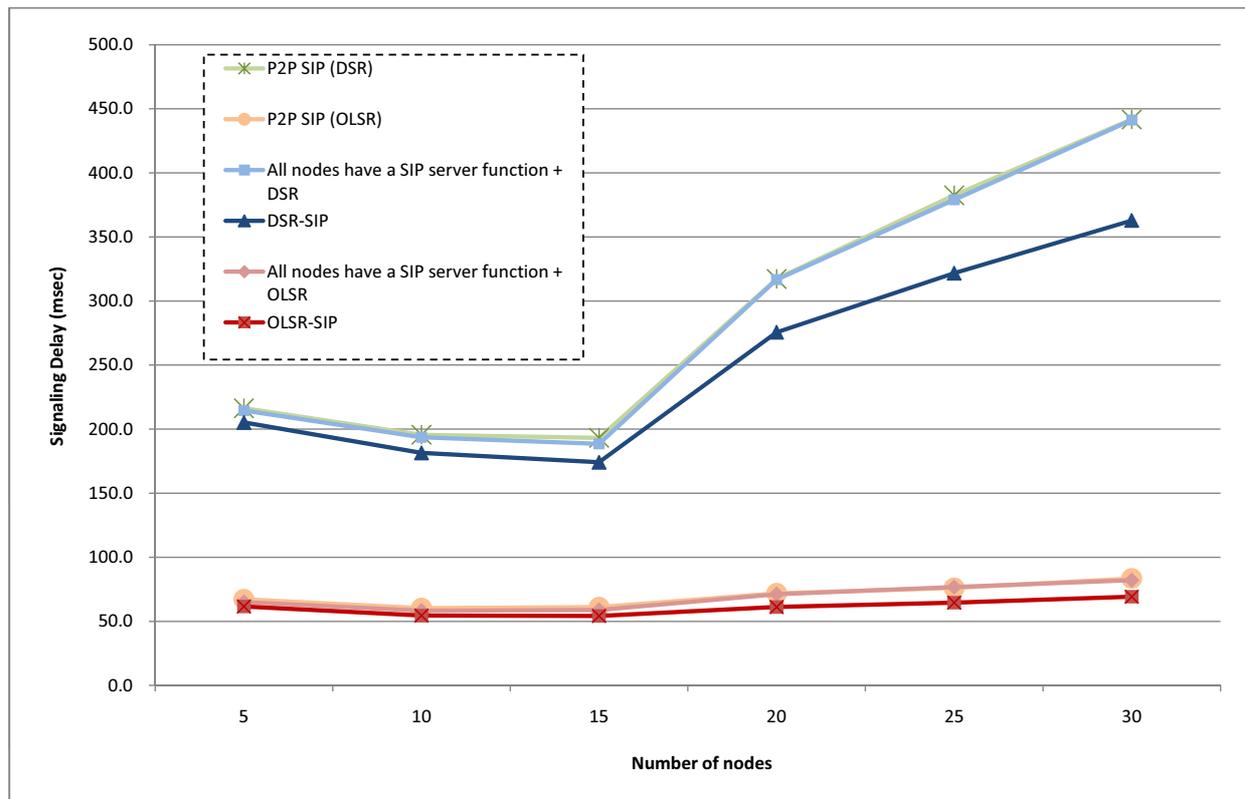


図 4.5: シグナリング遅延時間

OLSR-SIP vs DSR-SIP

提案システムのルーティングプロトコルである OLSR-SIP と DSR-SIP と比べた場合、OLSR-SIP は DSR-SIP に比べ、シグナリング遅延で平均 74.6%、最大 80.9% (ノード数 30) シグナリング遅延時間を抑えられる結果となった。

4.3.4 SIP サーバレスシステムの評価

本節では、シミュレーション1とシミュレーション2の結果を通して、「セッション確立の成功率」、「総制御パケット数」、「シグナリング遅延時間」の解析を行った。

「セッション確立の成功率」の結果から、提案システムである SIP サーバレスシステムが MANET 上での SIP の動作を保證できることを確認した。「総制御パケット数」の結果から、SIP サーバレスシステムが他の手法に比べ、制御パケットを抑えることの出来るシステムであることを実証した。さらに、「シグナリング遅延時間」の結果から、SIP サーバレスシステムが他の手法に比べ、シグナリング遅延時間を短縮できるシステムであることを実証した。また、第3.2節で示した、想定する利用環境ではルーティングプロトコルとして OLSR、特に提案システムである OLSR-SIP が最も有効なプロトコルであることを実証した。

以上の結果から、SIP サーバレスシステムの有効性を確認した。

4.4 本章のまとめ

本章では、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて SIP サーバレスシステムを実装し、シミュレーションすることで提案システムの有効性を実証した。

第 4.2 節では、提案システムが MANET 上での SIP の動作を保証できるかを確認するために行うシミュレーション 1 と、提案システムが既存手法に比べ高効率な通信を実現出来ることを実証するために行うシミュレーション 2 について説明した。それに加え、ns-2 で設定するパラメータや初期設定、ネットワーク・トポロジなどのシミュレーション環境について説明した。

第 4.3 節では、シミュレーション 1 とシミュレーション 2 の結果から、セッション確立の成功率、総制御パケット数、シグナリング遅延時間の 3 つの指標について解析した。3 つの指標を解析した結果、全体を通して OLSR-SIP が最も高い性能を上げ、さらにルーティングプロトコルベースで比較したとき、SIP サーバレスシステムが最も高い性能を示した。この解析結果から SIP サーバレスシステムの有効性を示した。

第5章

結論

本論文では、アドホックルーティングプロトコルを拡張することで、MANET 上での SIP 利用を保証する SIP サーバレスシステムを提案し、拡張したルーティングプロトコルとして DSR-SIP と OLSR-SIP を提案した。SIP サーバレスシステムについて、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いてシミュレーションを行い、提案システムが有効であることを示した。

第2章「MANET における SIP の利用に関する研究動向」では、MANET 及び SIP の概要について説明した後、MANET 上で SIP を利用しようとした場合、SIP の動作が保証されないという問題を示した。SIP の動作が保証されない原因として、MANET 上で SIP を利用しようとする場合、SIP サーバが最低でも 1 台必要であり、仮に端末の移動によるトポロジの変化で SIP サーバが含まれないネットワークが出来たとき、その MANET 上では SIP が利用できなくなってしまうことを説明した。これは、SIP がクライアントサーバモデル上で動作することを想定していることに起因する。そのためこの問題を解決する既存研究として、MANET を構成する全端末に SIP サーバもしくは SIP サーバが行う役割を実装することで解決する諸手法について紹介した。全端末に SIP サーバもしくはその機能を実装する手法では、制御パケットの増大によるネットワーク効率の低下、SIP サーバ機能を各端末に持たせることによるリソースの増大、それに伴い各端末の負担が増大することを指摘した。さらに、クライアントサーバモデルではなく P2P を使って SIP メッセージを送受信する P2P SIP について紹介し、P2P SIP を MANET 上で利用する場合について考察した。P2P SIP は MANET 上での利用を想定されたプロトコルではないため、P2P SIP と MANET それぞれで位置情報を取り扱う制御パケットを生成することになり、経路制御のオーバーヘッドが必要以上に大きくなることを指摘した。

第3章「SIP サーバレスシステム」では、MANET 上での SIP 利用が保証されない問題を解決するシステムとして、SIP サーバレスシステムを提案した。SIP サーバレスシステムはユーザがグループ作業を行うことを想定して考えたものであり、モビリティは歩行者程度の速度、端末数は程度を想定したものであることを示した。次に、SIP サーバレスシステムの全体像について説明した。SIP サーバレスシステムは、アドホックルーティングプロトコルを拡張し SIP で用いる位置情報 (DSR では RREQ や RREP メッセージの内容) を付加する。これにより、SIP サーバ無しに SIP メッセージによる位置情報の送受信や SIP サーバでの位置情報管理を、MANET でのアドホックルーティングプロトコルによる位置情報管理に委託することが出来ることを示した。拡張したルーティングプロトコルとして、DSR を拡張して実装したルーティングプロトコルを DSR-SIP、OLSR を拡張して実装したルーティングプロトコルを OLSR-SIP として提案した。DSR-SIP、OLSR-SIP それぞれの詳細な実装方法として、DSR-SIP では RREQ、RREP メッセージの拡張方法、OLSR-SIP では TC メッセージの拡張方法を中心に説明した。そして、この拡張により SIP 部分で必要な SIP メッセージの数を削減できることを説明した。

第4章「シミュレーション」では、SIPサーバレスシステムの有効性を示すために ns-2 を用いたシミュレーション結果を示した。シミュレーション結果として、Chang の手法 [7] や、福井の手法 [11]、Fudickar の手法 [10] のような全端末に SIP サーバ機能を実装する手法を既存手法とし、既存手法 (DSR)、既存手法 (OLSR)、P2P SIP、DSR-SIP、OLSR-SIP の5種類に対して、セッション確立の成功率、総制御パケット数、シグナリング遅延時間の3つの指標について解析した結果を示した。

DSR-SIP 及び OLSR-SIP を用いることで、ノードが移動することにより SIP サーバを用いることなく、通信可能なノード同士のセッション確立は必ず成立することを確認した。

提案プロトコルである DSR-SIP は既存手法 (DSR) に比べ、総制御パケットで平均 15.8% 削減でき、シグナリング遅延で平均 10.7% 短縮できることを確認した。OLSR-SIP は既存手法 (OLSR) に比べ、総制御パケットで平均 58.5% 削減でき、シグナリング遅延で平均 10.9% 短縮できることを確認した。DSR-SIP、OLSR-SIP による SIP サーバレスシステムは、MANET 上で P2P SIP を使う手法に比べ、DSR-SIP が P2P SIP (DSR) よりも、総制御パケットで平均 53.7% 削減、シグナリング遅延で平均 11.5% 短縮、OLSR-SIP が P2P SIP (OLSR) よりも、総制御パケットで平均 80.8% 削減、シグナリング遅延で平均 12.7% 短縮できることを確認した。提案プロトコルである OLSR-SIP と DSR-SIP を比べた場合、OLSR-SIP は総制御パケットで平均 65.9%、最大 71.2% (ノード数 25)、シグナリング遅延で平均 74.6%、最大 80.9% (ノード数 30) 削減される結果となることを確認した。

以上の結果から、SIP サーバレスシステムが MANET 上での SIP 利用を保証し、既存手法や P2P SIP を使った手法に比べ、総制御パケット数を抑え、シグナリング遅延時間を短縮できることを示し、SIP サーバレスシステムの有効性を確認した。

今後は以下の点を検討する必要がある。

移動速度

本論文では、ns-2 で SIP サーバレスシステムを実装し評価したが、利用環境として歩行者がシステムを利用することを想定しているため、ノードの移動速度を 1.5[m/s] に設定した。しかし、移動速度が歩行速度以上になったとき (例えば自動車などの乗り物) の環境についての検証を行っていないため、歩行速度よりも速い場合についても検証する必要がある。予想としては、移動速度が上がっても既存手法と SIP サーバレスシステムを比べた場合には、SIP メッセージ自体を削減しているシステムのため、制御パケットやシグナリング遅延時間は歩行速度と同様に削減・短縮されると考えられる。しかし、DSR-SIP と OLSR-SIP を比較した場合、移動速度が歩行者程度の時は OLSR-SIP が DSR-SIP よりも高い性能を示したが、移動速度が上昇することでトポロジ変化が激しくなると考えられるため、頻繁なトポロジ変化に強いリアクティブ型のプロトコルである DSR を利用した DSR-SIP の方が

OLSR-SIP よりも高い性能を示すと考えられる。

NAT 越え

SIP は NGN において標準の通信プロトコルに採用されている。NGN の一部として MANET を考えた場合、MANET がインターネットを経由して他のネットワークと SIP を利用してマルチメディア通信する状況が考えられる。そうした状況を踏まえれば、MANET における SIP 利用が必要であるため、MANET での SIP 利用を保証するような SIP サーバレスシステムが必要であると説明した。しかし今回の提案システムでは、MANET 上での SIP の利用を保証し、既存手法よりも通信効率を改善する部分に焦点を当てており、インターネット等を経由して他のネットワークと通信すること (NAT¹越え) を想定した作りにはなっていない。NAT 越えを実現するためには、UPnP²(Universal Plug & Play)、B2BUA³(Back-To-Back User Agent)、ICE⁴(Interactive Connectivity Establishmen)、IPv6⁵(Internet Protocol Version 6) などの要素技術のいずれか、もしくは複数を組み合わせて SIP サーバレスシステムを実装する必要がある。

アプリケーションの実装

本論文では SIP サーバレスシステムを ns-2 上で実装し、シミュレーションにより評価を行った。シミュレーションの内容は、SIP を使ったセッション確立のみを行うもので、セッションを確立した後、そのセッション上で VoIP や動画配信、テキストによるメッセージングといった具体的なアプリケーションを利用したシミュレーションは行ってはいない。実際に提案システムを利用することを考えれば、具体的なアプリケーションを決定し、確立したセッション上でアプリケーションの通信も評価する必要がある。また、実際に提案システムを利用するという意味では、実機 (iPhone⁶や Android⁷端末等の無線通信端末) への実装も一つの課題に挙げられる。

¹Network Address Translation: 一つのグローバルな IP アドレスを複数のコンピュータで共有する技術。

²特別な設定をすることなく通信機器を接続するだけで、ネットワークに参加することを可能にするプロトコル。

³SIP における UAC (User Agent Client) から UAS (User Agent Server) の間の中間エンティティの一つで、UAC および UAS の機能を果たすサーバ機能の一つ。

⁴IETF による方式で、インターネット上の SIP サーバを使用して NAT 越しにセッションを確立し、LAN 内のサーバへの接続は確立したセッション上で行う。

⁵次世代の通信プロトコル。IPv4 では NAT を組み合わせることが一般的だが、IPv6 の場合 IP が十分にあるため NAT の概念は必要ない。

⁶アップル社製のスマートフォン。

⁷スマートフォンやタブレット PC などの携帯情報端末を主なターゲットとして Google 社により開発されたプラットフォーム。

謝辞

本論文全般にわたり，御指導ならびに御助言を授かった大附辰夫教授，柳澤政生教授，戸川望教授に深く感謝いたします．

また，本論文に関する研究活動全般にわたり御助言頂きました，本学助手の大智輝氏，並びに本学修士課程，学士課程の通信班諸氏に深く感謝いたします．

最後に，本論文に関する研究活動全般にわたり支援していただいた大附研究室，柳澤研究室および戸川研究室の皆様感謝いたします．

参考文献

- [1] N. Banerjee, S. K. Das, and A. Acharya, "SIP-based mobility architecture for next generation wireless networks," in *Proc. Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, 2005, pp. 181–190.
- [2] N. Banerjee, S. K. Das, and A. Acharya, "Seamless SIP-based mobility for multimedia applications," *Network, IEEE*, vol. 20, no. 2, pp. 6–13, 2006.
- [3] N. Banerjee, A. Acharya, and S. K. Das, "Enabling SIP-based sessions in ad hoc networks," *Wireless Networks*, no. 4, vol. 13, pp. 461–479, 2007.
- [4] D. A. Bryan, B. B. Lowekamp and C. Jennings, "SOSIMPLE: A serverless, standards-based, P2P SIP communication system," in *Proc. International Workshop on Advanced Architectures and Algorithms for Internet Delivery and Applications (AAA-IDEA) '05*, 2005, pp. 42–49.
- [5] M. C. Castro, and A. J. Kessler, "Optimizing SIP service provisioning in internet connected MANETs," in *Proc. International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2006)*, 2006, pp. 86–90.
- [6] T. Clausen, and P. Jacquet, "RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," *IETF RFC 3626*, 2003.
- [7] L. Chang, C. Sung, S. Chiu, and J. Liaw, "Intelligent VoIP system in ad-hoc network with embedded pseudo SIP server," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5060, pp. 641–654, 2008.
- [8] L. Chang, C. Sung, S. Chiu, and J. Liaw, "Design and implementation of the push-to-talk service in ad hoc VoIP network," *IET Communications*, vol. 3, pp. 740–751, 2009.
- [9] C. Fu, R. H. Glitho, and F. Khendek, "Signaling for multimedia conferencing in stand-alone mobile ad hoc networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 8, pp. 991–1005, 2009.
- [10] S. Fudickar, K. Rebensburg, and B. Schnor, "MANETSip - A dependable SIP overlay network for MANET including presentivity service, in *Proc. Fifth International Conference on Networking and Services (ICNS 2009)*, 2009, pp. 314–319.

- [11] 福井淑郎, 塚田晃司, 泉裕, 齋藤彰一, “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,” 情報処理学会研究報告, 2005-DPS-124 , 2005-GN-57, pp. 55–60 , 2005.
- [12] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, “DSR: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks,” *Ad hoc networking*, vol. 5, pp. 139–172, 2001.
- [13] H. Khelifi, A. Agarwal, and J. C. Gregoire, “A framework to use SIP in ad-hoc networks,” in *Proc. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2003)*, vol. 2, 2003, pp. 985-988.
- [14] S. Leggio, J. Manner, A. Hulkkonen, and K. Raatikainen, “Session initiation protocol deployment in ad-hoc networks: a decentralized approach,” in *Proc. 2nd International Workshop on Wireless Ad-hoc Networks (IWWAN 2005)*, 2005.
- [15] S. Leggio, H. Miranda, K. Raatikainen, and L. Rodrigues, “SIPCache: A distributed SIP location service for mobile ad-hoc networks,” in *The 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS 2006)*, 2006, pp. 1–4.
- [16] M. Matuszewski and E. Kokkonen, “Mobile P2PSIP-peer-to-peer SIP communication in mobile communities,” in *Proc. Consumer Communications and Networking Conference, 2008 (CCNC 2008)*, 2008, pp. 1159–1165.
- [17] R. Ogier, F. Templin, and M. Lewis, “Topology dissemination based on reverse-path forwarding (TBRPF),” *IETF RFC 3684*, 2004.
- [18] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing,” *IETF RFC 3561*, 2003.
- [19] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler, “SIP: Session initiation protocol,” *IETF RFC 3261*, 2002.
- [20] K. Singh and H. Schulzrinne, “Peer-to-peer internet telephony using SIP,” in *Proc. International workshop on Network and operating systems support for digital audio and video*, 2005, pp. 13–14.
- [21] maidsafe-dht, <http://code.google.com/p/maidsafe-dht/>
- [22] The Network Simulator – ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [23] SIPDHT, <http://sipdht.sourceforge.net/sipdht2/>
- [24] sip2p, <http://sourceforge.net/projects/sip2p/>

[25] Skype, <http://www.skype.com/>

[26] ViaSIP, <http://sourceforge.net/projects/viasip/>

本論文に関する発表業績

国内会議（査読付）

- 下坂知輝, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫, “MANET における SIP サーバレスシステム,” 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp. 1919–1927, 2010.