

アドホックネットワークにおける P2P 型 SIP_VoIP サービス提供のための アーキテクチャとエミュレータの検討

神子島俊昭[†] 笠松大佑[†] 高見一正[†]

アドホックネットワークにおいて, SIP ベースでの接続オリエンテッドなサービスを提供することにより, アプリケーションの拡充が期待できる. 様々な既存研究が提案されているが, SIP サービスの十分な評価は行われていない. 本稿では, SIP サービスのための MANET エミュレータアーキテクチャおよびローカルマルチパスルーティングを提案した. SIP MANET エミュレータを試作し, SIP_VoIP の動作確認を行った. また, 提案したルーティング手法が高い経路保持確率を持つことを確認した.

Architecture and Emulator in Ad Hoc Network for Providing P2P Type SIP_VoIP Services

Toshiaki Kagoshima[†] Daisuke Kasamatsu[†]
Kazumasa Takami[†]

Provision of SIP-based, connection-oriented services can give rise to a variety of applications in an ad hoc network. Although there have been many studies on ad hoc networks, they have not sufficiently focused on the evaluation of SIP services. This paper proposes a MANET emulator architecture and local multipath routing suitable for SIP services. We have built a SIP_MANET emulator and confirmed the correct operation of a SIP_VoIP call. We confirmed that the proposed routing method has a high path retaining probability.

[†]創価大学大学院 工学研究科情報システム工学専攻
Graduate School of Engineering, Soka University

1. はじめに

災害時などに既存の公共性の高いネットワークが被災した場合や, 基幹ネットワークがないエリアでの通信方法として, MANET(Mobile Ad hoc NETwork) [1]が注目されている. 一方, インターネットでは, SIP(Session Initiation Protocol) [2]を基に接続オリエンテッドなアプリケーション(音声通話や映像通信)が開発されている. MANET においても, SIP ベースでの接続オリエンテッドなサービスを提供することにより, アプリケーションの拡充が期待できる[3]-[9].

MANET において, SIP サービスを提供するための研究がいくつか提案されている. 論文[10]では, INVITE メッセージの送信宛先の指定方法について, ユーザネームや IP アドレスだけではなく, 位置情報に基づいて宛先ノードを指定できる YABUMI が提案されている. また, 論文[11]では, SIP サーバのメンバ登録機能について, あるサーバが集中管理するのではなく, 各ノードが分散管理する方式が提案されている. しかしながら, 既存研究の評価については, セッション確立要求からセッション開始時点までの時間を計測するものであり, MANET における SIP サービスの十分な評価は行われていない. 他方, これまでに, MANET のためのルーティングプロトコルとして, リアクティブ型の AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) [12]やプロアクティブ型の OLSR (Optimized Link State Routing) [13]をはじめ, 多数の提案がなされている. MANET においては, 中継端末の移動, 不安定な無線リンク, 端末の電池切れなどにより, SIP クライアント間の接続が切断される可能性がある. 論文[14]では, AODV を改良して互いに素な複数の経路を構築するマルチパスルーティングプロトコルが提案されている. しかしながら, 経路の再構築が要求された際の範囲はネットワーク全体であり, SIP サービスの提供においては, 経路再構築時間がリアルタイム性のボトルネックとなる可能性がある[15]-[20].

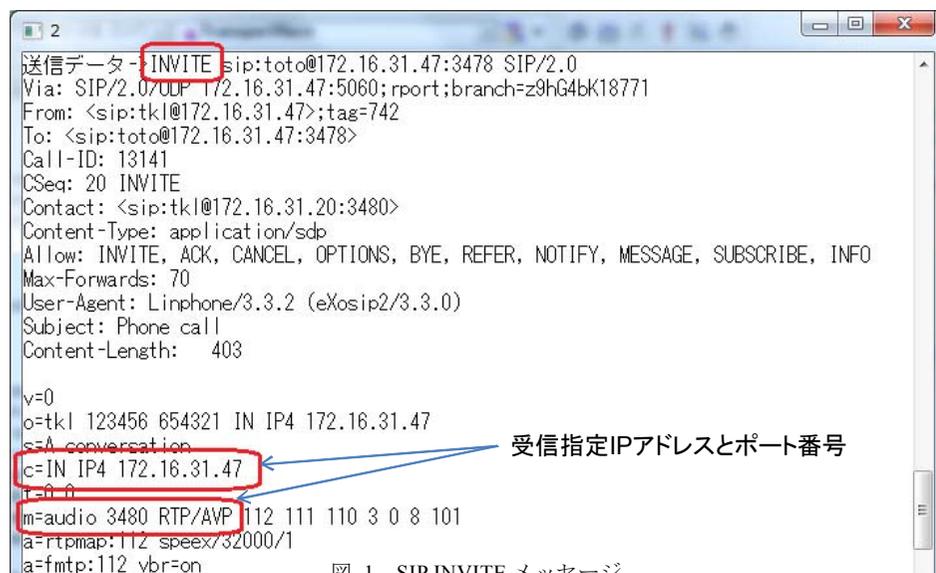
本研究では, SIP サービスのための MANET エミュレータアーキテクチャおよびローカルマルチパスルーティングを提案する. MANET エミュレータを試作し, これを用いてセッション確立要求から音声通信, セッション終了までの動作確認をした. また, ローカルマルチパスルーティングが高い経路保持確率を実現することを確認した. 2章では研究内容と課題について説明する. 3章では2章で述べた課題に対しての提案を示す. 4章では3章での提案を検証, 評価するために試作したシステムについて示す. 5章では評価結果を示し, 6章ではまとめと残された課題を示す.

2. 研究内容と課題

アドホックネットワークにおいて, P2P 型の SIP プロトコルに準拠したサービスを提供するためのアーキテクチャとエミュレータの検討を行う. MANET において SIP サービスを実現するための研究課題を以下に示す.

(1) SIP サービスのためのエミュレータ

これまでに、著者らは MANET ソフトウェア用試験環境としてのエミュレータを提案している[21]-[25]. 本エミュレータは、仮想ノード(VN)とモニタで構成される. VN については、無線ゾーン、MAC レイヤ、ノードの移動、電力消費をエミュレートする機能と、ルーティングプロトコルとして AODV を具備する. モニタについては、エミュレートしている空間をディスプレイ表示する機能を具備する. これらの間の通信は TCP/IP ソケットプログラミングを用いて実現され、VN は IP アドレスとポート番号を用いて識別される. 本研究では、SIP クライアントソフトウェアを変更することなく、VN 上のアプリケーションとして動作させる方式を検討する. 具体的には、SIP クライアントからのパケットを VN で処理できるようにし、VN からのパケットを SIP クライアントで処理できるようにするために、IP アドレスやポート番号の変換機能が必要となる. また、SIP 通信では、SIP メッセージと RTP (Real-time Transport Protocol) パケットを通信するポート番号が異なる. RTP パケットの宛先は、INVITE と OK の SIP メッセージを用いて、SIP クライアントにより自 IP アドレスと自ポート番号に指定される. 図 1 では、SIP INVITE メッセージにおける、RTP パケットの受信指定 IP アドレス(172.16.31.47)とポート番号(3480)を示す. このため、SIP クライアントからの RTP パケットが VN を経由するためには、SIP クライアントによって作成された SIP メッセージを書き換える必要がある.



```
送信データ - INVITE sip:toto@172.16.31.47:3478 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 172.16.31.47:5060;rport;branch=z9hG4bK18771
From: <sip:tkl@172.16.31.47>;tag=742
To: <sip:toto@172.16.31.47:3478>
Call-ID: 13141
CSeq: 20 INVITE
Contact: <sip:tkl@172.16.31.20:3480>
Content-Type: application/sdp
Allow: INVITE, ACK, CANCEL, OPTIONS, BYE, REFER, NOTIFY, MESSAGE, SUBSCRIBE, INFO
Max-Forwards: 70
User-Agent: Linphone/3.3.2 (eXosip2/3.3.0)
Subject: Phone call
Content-Length: 403

v=0
o=tkl 123456 654321 IN IP4 172.16.31.47
s=A conversation
c=IN IP4 172.16.31.47
t=0 0
m=audio 3480 RTP/AVP 112 111 110 3 0 8 101
a=rtpmap:112 speex/32000/1
a=fmtp:112 vbr=on
```

図 1 SIP INVITE メッセージ

(2) SIP サービスのためのルーティング

SIP による音声や動画などの通信を実現するためには、リアルタイム性に優れたルーティングが必要である. MANET においては、中継端末の移動、不安定な無線リンク、端末の電池切れなどにより、SIP クライアント間のコネクションが切断される可能性がある. コネクションの切断は、経路の再構築を引き起こし、結果リアルタイム性の低下となる. 本研究では、リアルタイム性に優れたルーティングを検討する. コネクションの切断時間を最小化するためには、経路復旧の範囲を最小化する必要がある.

3. 提案

3.1 MANET エミュレータアーキテクチャ

図 2 は、MANET エミュレータにおいて SIP 通信を実現するためのアーキテクチャを示す. SIP クライアントソフトウェアと接続する VN を仮想エッジノード(V_EN: Virtual Edge Node)と呼び、それ以外のノードを仮想コアノード(V_CN: Virtual Core Node)と呼ぶ. V_CN については、通常の MANET ノードと同様の機能を持つ. V_EN については、V_CN の機能に加えて、以下の宛先変換機能とメッセージ書き換え機能を持つ. 宛先変換の対象となるパケットは、SIP クライアントから V_EN へのパケットと、V_EN から SIP クライアントへのパケットの 2 種類である. 具体的には、V_EN でパケットを受信したとき、送信元 IP アドレスとポート番号が SIP クライアントである場合、送信先 IP アドレスとポート番号を宛先 SIP クライアントに接続した方の V_EN の仮想 IP アドレス(vIP)と宛先 SIP クライアントのポート番号に変換してパケットを中継する. また、自 vIP が宛先 SIP クライアントと接続した V_EN で、かつ送信先ポート番号が宛先 SIP クライアントである場合、送信先 IP アドレスとポート番号を宛先 SIP クライアントに変換する. また、メッセージ書き換えの対象となるパケットは、INVITE メッセージと OK メッセージの 2 種類である. V_EN でこれらのパケットを受信したとき、SIP クライアントの RTP を受信する IP アドレスとポート番号を宛先 SIP クライアントと接続した V_EN に書き換える. なお、VN 間のパケット中継については、指定された vIP に基づいてルーティングプロトコルが宛先 VN までパケットを届ける. 以上のようにして、SIP メッセージパケット、RTP パケットともに VN 経由での転送を実現できる.

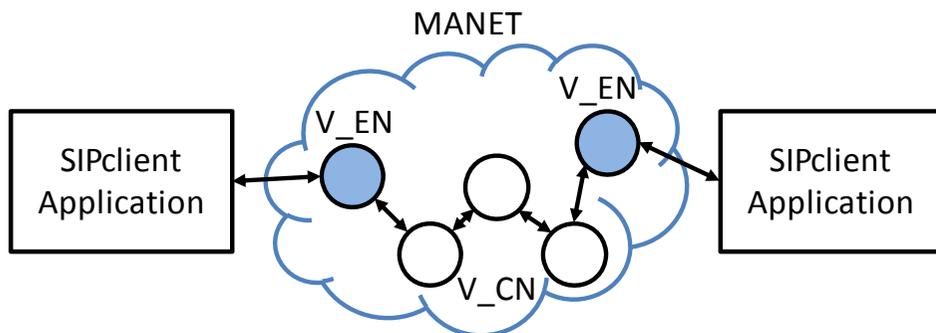


図 2 SIP 通信のための MANET エミュレータアーキテクチャ

3.2 マルチパスプロトコルの提案

AODVでは、データパケットの送信要求が発生したら、送信元ノードと宛先ノードの情報をヘッダに格納した経路要求(RREQ)をフラッディングする。宛先ノードがRREQを受信したら、経路応答(RREP)をユニキャストで送信元ノードに送信する。中継ノードは受信するRREQ, RREPより、経路表を設定する。また、経路表をもとにデータパケットを転送し、送信元ノードから宛先ノードに(逆方向も可)送る。これにより構築される経路を主経路と呼ぶ。

提案手法では、AODVの経路応答時の処理に改良を加え、1本の主経路を構成する中継ノードが2ホップ前の主経路を構成するノードと局所的な予備経路を構築する(図3)。図4を用いて、図3における予備経路b-h-dに着目して、その構築手順を説明する。AODVにおける経路応答時に、ノードd、ノードcの順にRREPを送信する。ノードbがRREPを送信するとき、RREPのヘッダより2ホップ前のノードとしてノードdが存在するとわかるため、ノードbは予備経路要求(spareRREQ)をフラッディングする。このとき、TTLを3とし、宛先を2ホップ前のノードdとする。また、予備経路が主経路の一部となることを防ぐために、spareRREQのヘッダに主経路上の1ホップ前のノード情報を格納する。spareRREQを受信したノードdは、複数得られた経路のうち最小ホップの経路を選択して、予備経路応答(spareRREP)をspareRREQの送信元であるノードbへユニキャストで送信する。なお、spareRREQのTTLについては、経路復旧の範囲を最小化するためにできる限り小さいほうが望ましい。2ホップ前のノードとの予備経路を構築するためにspareRREQのTTLを3としたのは、a-f-g-cのような経路を得るためである。

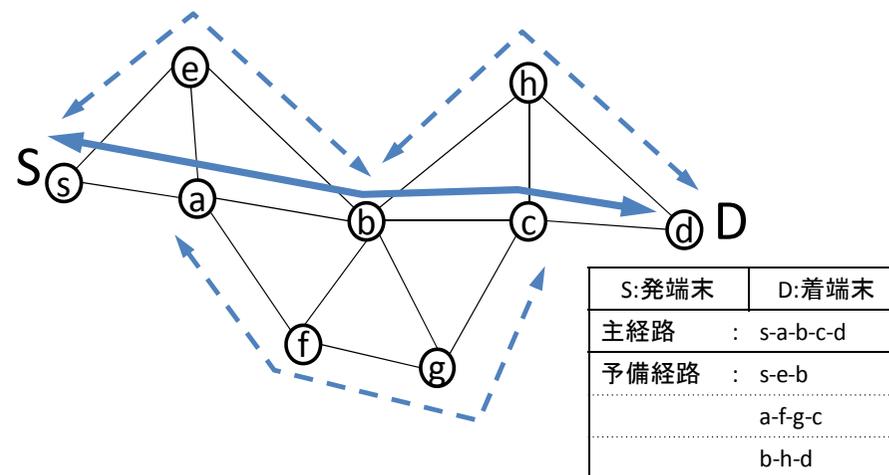


図 3 予備経路構築の例

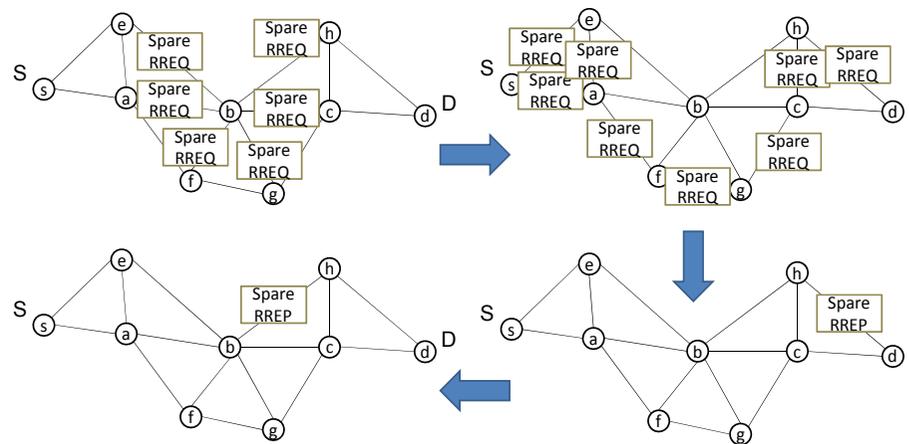


図 4 予備経路 b-h-d の構築手順

4. SIP_MANET エミュレータの試作

図5は、試作した SIP_MANET エミュレータのソフトウェア構成を示す。3.1節で提案した V_EN の機能は V_EN に実装し、3.2節で提案したローカルマルチパスルーティングは全ての VN に実装する。SIP サービスを提供するソフトウェアについては、Liphone [26]、や SIP communicator [27]などオープンソースなものが存在する。本研究では、UserName または IP アドレスを知っていれば、SIP サーバを必要とせずに、SIP クライアントのみで SIP サービスを実現できる Liphone を用いる。ネットワーク構成について、3 台の Windows PC を用いて、PC1 には Liphone と VN を複数台起動し、PC2 には Liphone と VN を 1 台起動し、PC3 にはモニタを起動する。Liphone は V_EN と接続する。

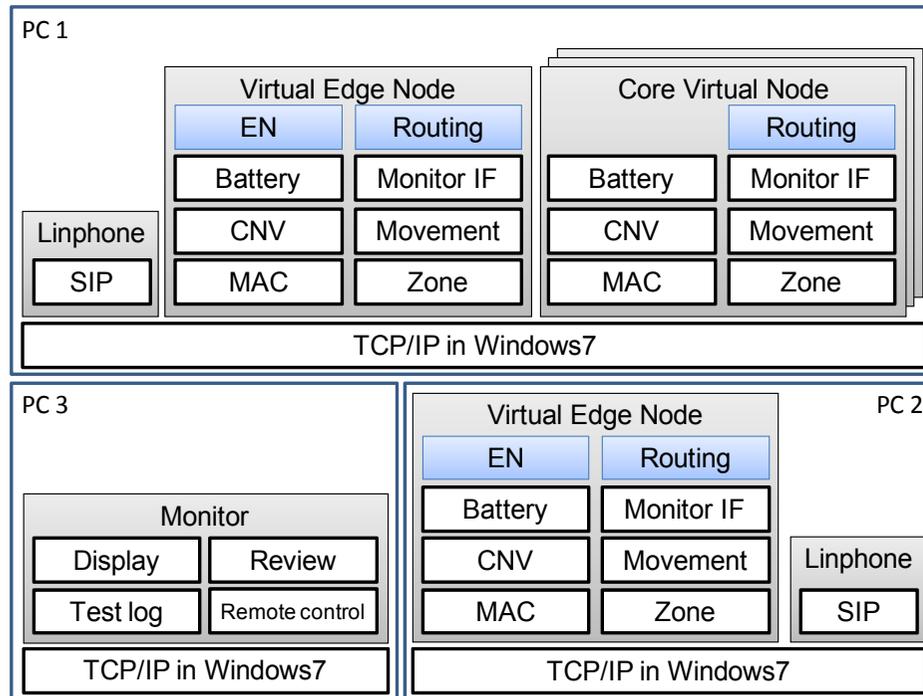


図5 MANET エミュレータのソフトウェア構成

図6は、SIP_MANET エミュレータを用いて、SIP メッセージや RTP パケットを送り届けるときの通信シーケンスを示す。ここで、表1は SIP クライアントの設定値を、表2は VN の設定値を示す。表3は SIP クライアントから V_EN へのパケットの送信先変換テーブルを、表4は V_EN から SIP クライアントへのパケットの送信先変換テーブルを示す。SIP クライアント1から SIP クライアント2への SIP メッセージパケットについては、まず、SIP クライアント1は V_EN1 に向けて、送信先 IP アドレスとポート番号を V_EN1 に指定して SIP メッセージを送信する。受信する V_EN1 では、表3に基づいて、送信先 IP アドレスとポート番号を V_EN2 に変換して転送する。受信する V_EN2 では、表4に基づいて、送信先 IP アドレスとポート番号を SIP クライアント2に変換して転送する。SIP クライアント2から SIP クライアント1への SIP メッセージパケット、SIP クライアント1と SIP クライアント2間の RTP パケットについても、同様に送信先変換を行う。

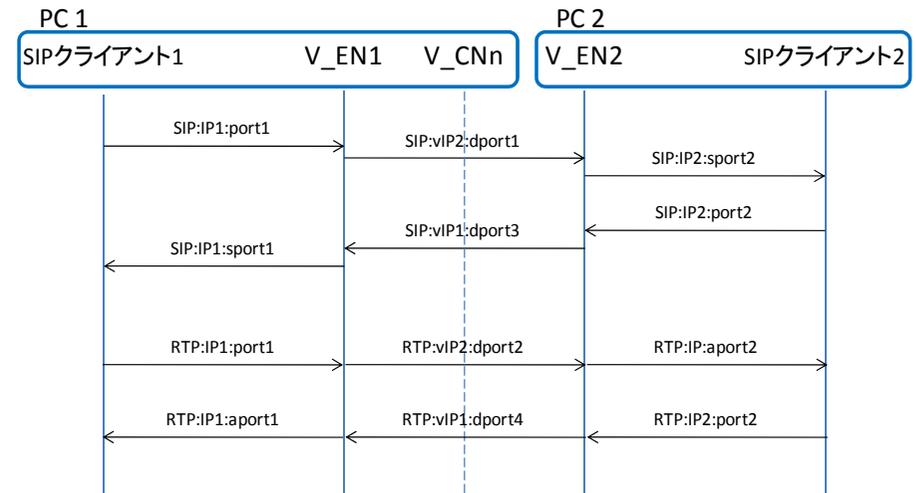


図6 通信シーケンス

表1 SIP クライアント設定値

パラメータ \ SIP client	client1	client2
IP アドレス	IP1	IP2
SIP port	sport1	sport2
Audio port	aport1	aport2

表 2 VN 設定値

Virtual Node パラメータ	V_EN1	V_CN1	V_EN2
IP アドレス	IP1	IP1	IP2
Virtual IP	vIP1	vIP3	vIP2
port	port1	port3	port2

表 3 SIP クライアントから V_EN への送信先変換テーブル

送信元 IP	送信元 Port	送信先 vIP	送信先 port
IP1	sport1	vIP2	dport1
IP1	aport1	vIP2	dport2
IP2	sport2	vIP1	dport3
IP2	aport2	vIP1	dport4

表 4 V_EN から SIP クライアントへの送信先変換テーブル

自 IP	送信先 port	送信先 IP	送信先 port
vIP1	dport3	IP1	sport1
vIP1	dport4	IP1	aport1
vIP2	dport1	IP2	sport2
vIP2	dport2	IP2	aport2

5. 評価

5.1 評価条件

評価モデルについて、4章で述べた MANET エミュレータを用いて、提案手法と AODV とディスジョイントなマルチパスとの比較評価を行う。表 5 は MANET エミュレータの設定を示す。

表 5 MANET エミュレータの設定

パラメータ	値
エリア(m ²)	500×500
ノード数	3
移動モデル	ランダムウェイポイントモデル
移動速度(m/s)	1,2,3,4
電波伝搬範囲(m)	71,141,354,707

評価項目について、SIP のセッション開始から SIP のセッション終了までの動作確

認を行う。また、SIP_VoIP サービスでは重要な性能となる、通話保持時間を計測する。通話保持時間は、Linphone 間の通話開始から通話切断までの時間と定義する。また、ローカルマルチパスルーティングの有効性を検証するために、経路保持確率を求めた。表 6 は、図 3 のネットワークモデルにおいて、各ルーティング手法における通信可能経路を示す。経路保持確率 P_k は以下の式(1)で求める。

$$P_k = \frac{P_s}{r C_f} \dots (1)$$

ここで、 r は中継ノード数を、 f は障害ノード数を、 P_s は表 6 の各ルーティングについて、障害ノードが発生した時に少なくとも 1 つ以上の経路が生き残る数の和を表す。

表 6 通信可能経路

ルーティング方法	経路	備考
AODV	s-a-b-c-d	1本の最短経路のみ構築
ディスジョイントなマルチパス	s-e-b-h-d s-a-f-g-c-d	発着端末以外のノードは重複しないように複数の経路を構築
提案マルチパス	s-a-b-c-d s-e-b-c-d s-a-b-h-d s-e-b-h-d s-a-f-g-c-d	1本の主経路と複数の予備経路を構築

5.2 評価結果

SIP のセッション開始から SIP のセッション終了までの動作確認について、SIP メッセージパケットも RTP パケットも、3.1 節で述べた V_EN の機能により MANET エミュレータ内の VN を経由し、音声通信ができることを確認した。表 5 の条件であれば、音声品質の低下はない。

図 7 は電波伝搬範囲に対する通話保持時間を示す。電波伝搬範囲が大きくなるほど通話保持時間は長くなる。電波伝搬範囲がエリアの対角線の長さである $500\sqrt{2}$ より長い場合、通話切断は起こらない。また、得られたグラフの近似曲線より、電波伝搬範囲が 200m だとしても、約 20 秒で通話が途切れてしまう。これはノードの移動により経路表が崩壊したことによる。このとき AODV では、経路再構築を行う。しかしながら、経路再構築の間は通話が途切れる。

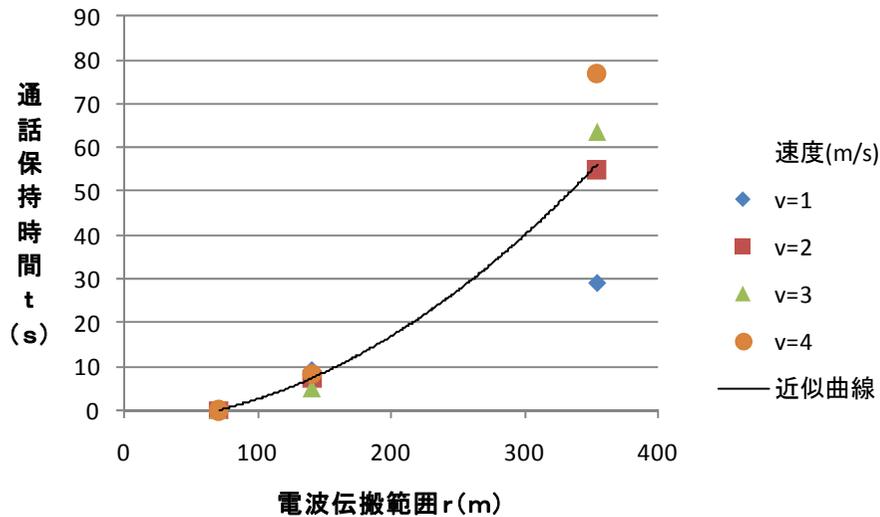


図 7 電波伝搬範囲 VS.通話保持時間

図 8 は障害ノード数に対する経路保持確率を示す。障害ノード数が多くなるほど経路保持確率は低くなる。なお、中継ノードが少なくとも 3 台は必要で、障害ノードが 5 台以上になると経路を作ることができないため、経路保持確率は 0% になる。しかし、また、ノードが 1 台落ちて経路が切れると、再構築を行うので 2 台以上同時にノードが落ちるのはあまりないと考えられる。提案手法とディスジョイントなマルチパス方式は切れた経路の予備経路を構築できるため、AODV より高い経路保持確率を実現する。また、障害ノード数が 2 の場合、提案手法は 2 ホップ間で予備パスを構築するため、1 つのノードが落ちても全体の経路はあまり崩れない。よって、既存のマルチパス方式よりも約 30% 経路保持確率が高くなっている。

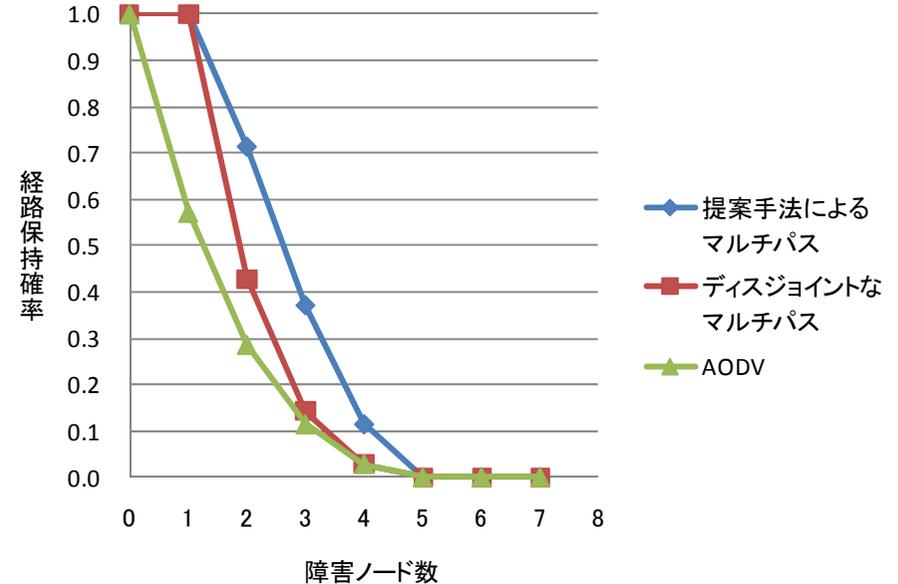


図 8 障害ノード数 VS.経路保持確率

6. まとめと今後の課題

SIP サービスを MANET エミュレータで実現する際には、IP アドレスとポート番号の変換、SIP メッセージの書き換えが必要になる。また、MANET では SIP クライアント間の接続が切断される可能性があり、リアルタイム性が低下する可能性がある。本研究では、SIP サービスのための MANET エミュレータアーキテクチャと、ローカルマルチパスルーティングを提案し、SIP_MANET エミュレータを試作した。評価では、SIP_MANET エミュレータを用いて、SIP_VoIP の音声通信の動作確認をした。また、提案のローカルマルチパスルーティング手法は経路保持確率が AODV より高いことから、AODV の短い通話保持時間を改善することが期待できる。

今後は、ネットワークモデルを様々変化させた場合の、AODV と提案したローカルマルチパスルーティングの比較評価を行う。

参考文献

- [1]. S. Kumar Sarkar, T. G. Basavaraju, C. Puttamadappa: Ad Hoc Mobile Wireless Networks, Principles, Protocols and Applications, Auerbach Publications, Boston, MA, 2007.
- [2]. J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler: SIP: Session Initiation Protocol, RFC Editor, 2002
- [3]. C. Fu, R.H. Glitho, R. Dssouli: A novel signaling system for multiparty sessions in peer-to-peer ad hoc networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 4, pp. 2287–2292, 2005.
- [4]. S. Leggio, J. Manner, A. Hulkkonen, K. Raatikainen: Session Initiation Protocol Deployment in Ad-Hoc Networks: a Decentralized Approach, 2nd International Workshop on Wireless Ad-hoc Networks (IWWAN), London, May 2005.
- [5]. N. Banerjee, A. Acharya, S. K. Das: Enabling SIP-based sessions in ad hoc networks, Wireless Networks, v.13 n.4, p.461-479, August 2007.
- [6]. S. Leggio, J. Manner, A. Hulkkonen, K. Raatikainen: Session initiation protocol deployment in ad-hoc networks: a decentralized approach, Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks (IWWAN2005), London, UK, May 2005.
- [7]. N. Banerjee, A. Acharya, S. Das: Peer-to-peer SIP-Based Services over Wireless Ad Hoc Networks, Proceedings of the 2004 First Annual International Conference on Broadband Networks, San Jose, USA, October 2004.
- [8]. P. Stuedi, M. Bihl, A. Remund, G. Alonso: SIPHoc: efficient SIP middleware for ad hoc networks, Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX 2007 International Conference on Middleware, November 26-30, 2007, Newport Beach, California.
- [9]. K. Balov, K. Kawagoe, T. Nishimura: SIP Deployment in Integrated Mobile Ad Hoc Networks: Centralized and Quasi-Decentralized Approaches, 11th IEEE International Conference on Advanced Communication Technology, pp.203-207, Feb. 2009.
- [10]. 宮崎翔平, 鈴木亮平, 石塚宏紀, 戸辺義人: MANETにおける位置情報 SIP シグナリングの検討, 情報処理学会第 69 回全国大会, (2007.3).
- [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, (2005.9).
- [12]. C. E. Perkins, E. M. Royer, S. R. Das: Adhoc On-Demand Distance Vector Routing, RFC3561, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [13]. T.Clausen, P.Jacquet: Optimized Link State Routing Protocol, RFC3626, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [14]. 野口和浩, 山田寿夫, 小泉信也, 小谷幸宏, 甲藤二郎: アドホックネットワークにおける電波強度閾値を用いたオンデマンド型マルチパスルーティング実装, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, (2006).
- [15]. J. Chen, S.-H. Chan, V. O. K. Li: Multipath routing for video delivery over bandwidth-limited networks, IEEE J. on Selected Areas in Comms., vol. 22, no. 10, pp. 1920-1932, 2004.
- [16]. W. Wei, A. Zakhor: Multipath unicast and multicast video communication over wireless ad hoc networks, Int. Conf. on Broadband Networks, pp. 496-505, Oct. 2004.
- [17]. W. Wei, A. Zakhor: Path selection for multi-path streaming in wireless ad hoc networks, Int. Conf. on Image Processing, pp. 3045-3048, Oct. 2006.
- [18]. W. Wei, A. Zakhor: Interference aware multipath selection for video streaming in wireless ad hoc networks, IEEE Trans. On Circ. and Syst. for Video Technology, vol. 19, no. 2, pp. 165-178, 2009.
- [19]. S. Mao, S. Lin, S. S. Panwar, Y. Wang: Reliable transmission of video over ad-hoc networks using automatic repeat request and multi-path transport, IEEE Vehicular Technology Conf., pp. 615-619, Oct. 2001.
- [20]. S. Mao, S. Lin, S. S. Panwar, Y. Wang, E. Celebi: Video transport over ad hoc networks: multistream coding with multipath transport, IEEE J. on Selected Areas in Comms., vol. 21, no. 4, pp. 1721-1737, 2003.
- [21]. D. Kasamatsu, N. Shinomiya, T. Ohta: Routing Algorithm in Ad Hoc Networks, Proc. of Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2005), 310-315, 2005.
- [22]. D. Okada, D. Kasamatsu, N. Shinomiya, T. Ohta: Programmable Ad hoc Networks, Proc. of International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA2006), 6-4, 2006.
- [23]. D. Kasamatsu, N. Shinomiya, T. Ohta: A Broadcasting Method considering Battery Lifetime and Distance between Nodes in MANET, Proc. of International Workshop on Specialized Ad Hoc Networks and Systems (SAHNS2009), 1-1, 2009.
- [24]. D. Kasamatsu, N. Shinomiya: Implementation and Evaluation of Emulator for Testing Service Programs in MANET, Proc. of International Workshop on Performance Analysis and Enhancement of Wireless Networks (PAEWN2010), 496-501, 2010.
- [25]. D. Kasamatsu, Y. Kawamura, M. Oki, N. Shinomiya: Broadcasting Method based on Topology Control for Fault-tolerant MANET, Proc. of International Workshop on Specialized Ad Hoc Networks and Systems (SAHNS2011), (in press), 2011.
- [26]. Linphone, <http://www.linphone.org/> (2011/04/29).
- [27]. SIP Communicator, <http://www.jitsi.org/> (2011/04/29).