

アドホックネットワークルーティングプロトコルの音声通信性能の検証

金廣清孝[†] 溝口和寛[†] 北須賀輝明^{††} 中西恒夫^{††} 福田晃^{††}

[†]九州大学大学院システム情報科学府 〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

^{††}九州大学大学院システム情報科学研究所 〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

E-mail: †{kanehiro,kazuhiro,kitasuka,tun,fukuda}@f.csce.kyushu-u.ac.jp

あらまし アドホックネットワーク上で IP 電話を実現するためには、音声品質を保証することが必要である。本論文では、代表的なルーティングプロトコルである DSR, AODV, DSDV, TORA を用いた場合の音声品質の評価を行う。性能評価は ns-2 によるシミュレーションで行う。評価尺度として総合音声伝送品質 (R 値) を用いた。R 値は電話サービスの会話品質の評価をするための基準であり、会話品質を機械的に測定した客観的な値である。性能評価の結果としてどのプロトコルも、そのままアドホックネットワーク上で IP 電話を実現するには適切でないが、その中で良いと思われるものは、DSR と AODV であるとわかった。通話数や端末の密度が少ないときは、DSR の性能が良く、多いときは AODV の性能が良いという結果になった。IP 電話に使用する際には、DSR では、使用条件を制限したり、通常のネットワークと併用する等の工夫が必要となる。AODV では、ルーティングプロトコル自体を改善したりする等の対処が必要となる。

キーワード アドホックネットワーク ルーティングプロトコル IP 電話

A Study for Performance of Ad Hoc Network Routing Protocols in VoIP

Kiyotaka KANEHIRO[†], Kazuhiro MIZOGUCHI[†], Teruaki KITASUKA^{††}, Tsuneo NAKANISHI^{††},
and Akira FUKUDA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University Kasuga-kouen 6-1,
Kasuga-shi, Fukuoka, 816-8580 Japan

^{††} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University Kasuga-kouen 6-1,
Kasuga-shi, Fukuoka, 816-8580 Japan

E-mail: †{kanehiro,kazuhiro,kitasuka,tun,fukuda}@f.csce.kyushu-u.ac.jp

Abstract In order to realize VoIP on Ad Hoc network, it is required to guarantee voice quality. In this paper we estimate voice quality at the time of using DSR, AODV, DSDV and TORA which are typical routing protocols. Ns-2 is used as simulator. Rating factor R is used for evaluating measure. Rating factor R is a standard to evaluate conversation quality of a telephone service. And, Rating factor R is an objective value which measured conversation quality mechanically. As a result of performance evaluation, no protocol is suitable to realize VoIP on Ad Hoc network. But, DSR and AODV are better than other protocols. DSR performs good when there are small number of telephone calls and low terminal density. AODV performs good when there are large number of telephone calls and high terminal density. DSR is required management of restricting an operating condition or using together with the usual network. AODV should be improved to use for VoIP.

Key words Ad Hoc Network, Routing Protocol, VoIP

1. はじめに

近年、無線 LAN 技術の発達や、携帯電話等の普及により、場所に依存せずにネットワークに接続できる環境が整いつつある。しかし、現在のネットワークは、電話回線、基地局等のネ

트워크インフラを前提に構築されているため、台風や地震といった大規模な災害発生により、ネットワークインフラが破壊されたときには、端末間の通信ができなくなってしまう等の危険性を孕んでいる。

そこで注目されているのがアドホックネットワークである。

アドホックネットワークとは、中継機能を持つ携帯端末を持ち寄るだけで、自律的に構成されるネットワークのことである。そのため、ネットワークの構成に特別なネットワークインフラは必要としない。

アドホックネットワークは災害時の利用に便利であるが、日常時にも利用できるものでなければ、故障に気づきにくく、そもそも普及しない等の問題が考えられる。そのため、アドホックネットワーク上で IP 電話を実現することを考えた。そのとき必要になるのが、音声品質を保証することである。音声品質に最も影響を及ぼすと考えられるのが、ルーティングプロトコルである。本研究では、代表的なルーティングプロトコルである DSR, AODV, DSDV, TORA について音声品質に与える影響という観点で、シミュレーションにより性能評価を行う。

2. 関連研究

本章ではアドホックネットワークについて説明し、代表的なルーティングプロトコルである DSR, AODV, DSDV, TORA について述べる。

2.1 アドホックネットワーク

アドホックネットワークとは、固定の無線基地局、電話線、ルータなどのインフラを必要とせず、無線で接続できる端末のみで構成されたネットワークである [1]。無線が直接届かない範囲にある端末に対しては、間の端末にパケットを中継してもらうことによって送信を行なう。このとき、中継している端末は、ルータとしての機能を果たす。

アドホックネットワークの特徴として、自律的であるということがあげられる。すなわち、管理を必要とせずに、各端末の移動に応じて、経路が自律的に形成される。この経路を形成する仕組みをルーティングプロトコルという。代表的なルーティングプロトコルとして、DSR, AODV, DSDV, TORA がある。次節以降 4 つのルーティングプロトコルを順に説明する。

2.2 DSR

DSR (Dynamic Source Routing) [2] は送信があったときに初めて経路を探索するオンデマンド型のルーティングプロトコルである。DSR は経路発見と経路維持の 2 つの機能で成り立っている。

経路発見とは、送信するときに経路を探索する機能である。以下のような方法で実現される。

- (1) 送信元の端末が、宛先までの経路を知っていれば、その経路を使う。
- (2) 送信元の端末が、宛先までの経路を知らなければ、周りの端末に問い合わせる。
- (3) 経路を聞かれた端末は、知っていれば経路を教え、知らなければ周りの端末にさらに問い合わせる。
- (4) 経路を知っている端末が出るまで、3 を繰り返す。

経路維持とは、通信中に経路が何らかの原因で切断された場合に、通信を続けるための機能である。各端末は、次の端末へパケットが到達しなかった場合に、その経路が切断されたと判断して、ルートキャッシュから対応する経路情報を削除する。また、切断された経路を使おうとする全ての送信元に向けて、切断し

た経路の情報を載せたルートエラー (Route Error) パケットを返す。ルートエラーパケットを受け取った端末は、切断した経路をルートキャッシュから削除する。こうして、今までの経路を使えなくなった送信元の端末は、ルートキャッシュに他の経路があればそれを使い、なければ経路発見の機能を使って、経路を再度探索する。

2.3 AODV

AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing) [3] も DSR と同じくオンデマンド型のルーティングプロトコルである。AODV も、経路発見と経路維持からなるプロトコルである。DSR との違いを以下に述べる。

AODV では DSR のルートキャッシュに代わって、経路表によるパケットの転送が行なわれる。DSR のルートキャッシュは、送信元の端末しか持たず、完全な経路が使用されるが、AODV の経路表は、経路上の全ての端末が持ち、各端末が次にどこに送ればよいという情報しか含まない。

AODV の各ルートはライフタイム (有効期限: 3 秒程度) を持つ。使用されないままライフタイムを過ぎた経路は以降も使用されなくなるので経路を新しく保つことができる。

また、AODV ではシーケンス番号が使用される。シーケンス番号は各端末毎に管理し、経路要求するたびに毎回値を増やしてパケットのヘッダに書き込む。経路要求パケットが宛先ノードに届いたとき、パケットのシーケンス番号を経路のシーケンス番号として宛先ノードの経路表に保存する。このシーケンス番号により経路の新旧が見分けられる。

2.4 DSDV

DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) [4] はテーブル駆動型のルーティングプロトコルである。

テーブル駆動型のルーティングプロトコルでは、各端末がルーティング情報を格納するためのテーブルを持つ。各端末はネットワークトポロジが変化すると、更新情報をネットワーク全体に伝送する。これにより、最新のルーティング情報を維持する。送信要求が無くてもルーティング情報を更新し続けるため、オンデマンド型に比べて送信の開始は早くなるが、ネットワークの負荷は大きくなる。

DSDV では、経路情報にシーケンス番号を付与することにより、経路の新旧を見分けている。また、ネットワークの負荷を軽減するために、2 種類のルーティング情報更新用パケットを用意している。1 つは全てのルーティング情報を格納したフルダンプ、もう 1 つは最後のフルダンプからの更新情報を格納した差分パケットである。

DSDV では、パケットを送信する際に、経路発見や経路維持を行う必要はない。常に最新の経路が用意されているので、それに従ってパケットを送るだけでよい。

2.5 TORA

TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm) [5] はオンデマンド型のルーティングプロトコルである。

TORA は、端末の動きが非常に激しい環境で運用されるように提案された。そのため、トポロジの変化が発生した場合、制御メッセージの送信範囲はその周辺の非常に小さな端末の集合に

制限される。

また、TORA は高度 (高さ) の概念を持つ。パケットは高い所から低い所へ送られるという概念である。すべての下りのリンクが切断されたとき、その端末の高度を上流の端末より高くし、パケットの流れる方向を逆転させることにより、瞬時に新しい経路を作成することができる。高度を変更した端末は周囲の端末に高度を変更したことを通知する。

3. 音声品質の評価方法

本章では IP 電話、および IP 電話等の音声品質の評価で用いられる R 値について述べる。

3.1 IP 電話

IP 電話 (Internet Protocol telephone) とは IP ネットワークを介することで、音声のやり取りを実現する電話サービスのことである。IP ネットワークとは通信手段に IP (Internet Protocol) を用いるコンピュータネットワークのことを意味する。

IP 電話では、電話をつなげたり切断したりするために呼制御 (シグナリング) を行う。呼制御は以下の手順からなる。

- 通信相手の位置を特定する。
- 通信相手に呼出を通知する。
- 通信で使用するメディアについて交渉する。
- 通信を管理、制御する。

呼制御により電話がつながれば、あとは音声データを送る処理となる。音声はまず、送話器によってアナログの電気信号に変換される。そして、この信号は VoIP ゲートウェイによってデジタル信号に変換・圧縮される。圧縮された情報は、パケットに分割されて IP ネットワークに送出される。そしてパケットは、IP ネットワーク内のルータを経由して相手先の VoIP ゲートウェイに到達する。ここでパケットは再び組み立てられ、圧縮状態を解かれて元のデジタル信号に、さらにはアナログ信号に戻され、電話機に到達する。最後に電話機内の受話器がこれを音声に復元する。

この論文では、音声データの送受信のみ研究の対象とし、呼制御は取り扱わない。

3.2 R 値

音声通信におけるルーティングプロトコルの性能の比較基準として、本研究では総合音声伝送品質 (R 値) [6] を用いる。

R 値は 2002 年に総務省が IP 電話の品質評価方法として採用した基準であり、音声品質を機械的に測定した客観的な値である。

R 値は ITU-T 勧告 G.107 で規定された計算モデルである E-Model の出力である。E-Model は電話サービスの会話品質に影響を与える様々なパラメータの複合効果を推定するための伝送計画ツールである。入力パラメータは伝送路 (ネットワーク) の遅延や損失だけでなく、コーデックの性能、送受信時の騒音など多岐にわたる。本論文では、入力パラメータのうち伝送路での遅延と損失の影響を調査する。遅延と損失以外の入力パラメータは ITU-T G.107 の定めるデフォルト値を与える。遅延と損失と R 値の関係は図 1 の通り。

R 値は、通話品質評価値の 1 つである会話 MOS 値に対応づ

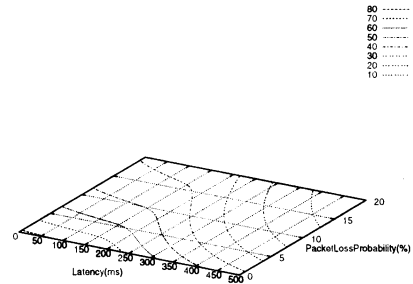


図 1 遅延、パケット損失率と R 値

けられる。会話 MOS 値とは、人間が実際に耳で聞いて評価を行う主観評価である。

3.3 R 値の指標

R 値の指標は表 1 で与えられる [6]。R 値が大きい程音声品質が良い。

表 1 音声品質のカテゴリ

R 値の範囲	音声伝送品質カテゴリ	ユーザー満足度
$90 \leq R < 100$	Best	Very satisfied
$80 \leq R < 90$	High	Satisfied
$70 \leq R < 80$	Medium	Some users dissatisfied
$60 \leq R < 70$	Low	Many users dissatisfied
$50 \leq R < 60$	Poor	Nearly all users dissatisfied

さらに、総務省による「IP ネットワーク技術に関する研究会」報告書 [7] によれば、電話サービスの音声品質は 3 つのクラスに分けられる。クラス A は固定電話並の品質で、R 値 > 80 、エンドトゥエンド遅延 $< 100\text{ms}$ を満たす。クラス B は携帯電話並の品質で、R 値 > 70 、エンドトゥエンド遅延 $< 150\text{ms}$ を満たす。クラス C は、R 値 > 50 、エンドトゥエンド遅延 $< 400\text{ms}$ を満たす。

3.4 R 値の算出

R 値は、数式としては以下のように定義される。

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e,\text{eff}} + A$$

ここで、各項目は次の意味を持つ。

- R_0 (Basic signal-to-noise ratio): 回線雑音, 送/受話室内騒音, 加入者線雑音による主観品質劣化
- I_s (Simultaneous impairment factor): ラウドネス, 側音, 量子化歪による主観品質劣化
- I_d (Delay impairment factor): 送話者エコー, 受話者エコー, 絶対遅延による主観品質劣化
- $I_{e,\text{eff}}$ (Equipment impairment factor): 低ビットレート符号化, パケット/セル損失などによる主観品質劣化
- A (advantage factor): モバイル通信などの利便性が主観品質 (満足度) に与える影響を補完

4. シミュレーション

4.1 ns-2

シミュレーションには、ns-2 (Network Simulator 2) [8] を用いる。ns-2 はネットワークの研究を目的としたシミュレータである。ns-2 は TCP, UDP プロトコルを実装しており、また有線 LAN, 無線 LAN (IEEE 802.11) などをサポートしている。なお本研究に使用したバージョンは、Network Simulator 2.26 である。ルーティングプロトコルは、DSR, AODV, DSDV, TORA がサポートされている。本研究では、DSR, AODV, DSDV, TORA, 4 つのルーティングプロトコルを用いる。

4.2 シミュレーションの条件

端末が決められた範囲内で動きまわり、ランダムに選ばれた 2 つの端末同士で、通話が行われる様子をシミュレートする。通話は、シミュレーション上では、双方向の UDP リンクが張られたとして表現される。通話の開始時刻は開始から終了までの時刻の間でランダムに決定され、通話時間は、テレコムデータブック 2003 [9] の、携帯電話の通信時間別通信回数に準拠した分布に従う確率でランダムに決定される。平均すると 1 呼あたりの通話時間は 133.5 秒である。ただし、実際にシミュレーションに使用した通信パターンでは、1 呼あたりの平均通話時間は約 80 秒となった。これは、シミュレーション時間が 600 秒であるため、通話途中でシミュレーションが終了することがあるからである。

シミュレーションは大きく 3 つに分けて行った。それぞれ、シミュレーション 1, シミュレーション 2, シミュレーション 3 と呼び、順にパケット送信間隔, 通話数, 端末の総数を変化させた場合の影響を評価することが目的である。条件は以下の通り。

- シミュレーション時間 600s
- 端末の速度 0~5m/s(一様分布)
- 端末のポーズタイム 0s
- 端末の動く範囲 1000m × 1000m
- 端末の送信可能距離 250m
- パケット送信間隔 100ms (ただしシミュレーション 1 では可変)
- 通話数 1 回 (ただしシミュレーション 2, 3 では可変)
- 端末の総数 100 個 (ただしシミュレーション 3 では可変)

端末の移動パターンは、ランダムウェイポイントモデルに基づく。ランダムウェイポイントモデルでは、端末はランダムな位置に配置される。その後、端末はランダムな目的地に、0m/s から設定された最大速度までのランダムな速度を決定し、決定した速度で目的地に移動する。目的地に到着すると、設定されたポーズタイム (固定) だけその場に留まり、ポーズタイムを過ぎると、次の目的地と速度を定めて移動を始める。

本研究の全てのシミュレーションにおいて、コーデックとして G.729A [10] を使用することを想定した。G.729A では 10ms ごとに 10 バイトのデータが作られる。これに加えてパケットには RTP, UDP, IP の 3 種類のヘッダが付加される。RTP, UDP, IP の各ヘッダサイズは順に 12 バイト, 8 バイト, 20 バ

イトである。

また、シミュレーション 1~3 の各々で、端末の移動パターンと通信パターンを 20 通りに変えてシミュレーションを行っている。移動パターンと通信パターンはファイルとして ns-2 に与える。

次にそれぞれのシミュレーションについて説明する。

a) シミュレーション 1 — パケット化周期による音声品質の変化

IP 電話では、音声データをパケット化する際、何ミリ秒分のデータをまとめてパケット化するかを決める必要がある。これをパケット化周期という。このパケット化周期がパケット送信間隔となる。パケット化周期を、10, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200ms に変化させてシミュレーションを行う。

移動パターンファイルは、パケット化周期に関わらず同じ 20 パターンのファイルを使用した。通信パターンファイルに関しては、通話開始, 終了時刻は変えず、パケット化周期とパケットサイズのみを変えて同じ 20 パターンのファイルを使用した。

R 値は遅延とパケット損失率から算出するが、その際の遅延については、ネットワーク上の遅延に加え、パケット化の時間も含める。また G.729A のエンコード, デコードの遅延の 15ms も含める。電話として使うなら R 値は 50 以上が望ましい。

その他の条件として、端末の総数は 100 で、通話数は 1 である。

b) シミュレーション 2 — 通話数による音声品質の変化

端末の総数 100, パケット化の待ち時間 100ms で、通話数を 1, 2, 4, 8, 16 に変化させてシミュレーションを行う。

移動パターンファイルは、通話数に関わらず同じ 20 パターンのファイルを使用した。なお、シミュレーション 1 とシミュレーション 2 でも、同じ 20 パターンの移動パターンファイルを使用した。

c) シミュレーション 3 — 端末数による音声品質の変化

パケット化の待ち時間 100ms で、端末の総数を 100, 200 に変化させてシミュレーションを行う。端末数に対する通話数の比率を一定にするために、端末の総数が 100 のときは通話数 1, 端末の総数が 200 のときは通話数 2 に設定している。

5. シミュレーションの結果と考察

5.1 シミュレーションの結果

各シミュレーションについて、遅延時間, パケット損失率から R 値を求めた結果を述べる。

遅延時間は 95% 値を求めた。95% 値とは、小さい順に並べて全体の 95% 番目にあたる値である。

今回の実験では無限長のジッタバッファを仮定した。そのため、大きく遅延したパケットも受信側で廃棄することはなく、実際よりも遅延時間は長く、パケット損失率は小さくなる傾向になる。

R 値は上記の遅延時間とパケット損失率から求める。R 値の算出に用いる遅延には上記のネットワーク遅延に加えて、パケット化時間, コーデックの遅延も含めている。

5.1.1 パケット化周期による音声品質の変化

シミュレーション 1 では、パケット化周期による音声品質の

変化を評価する。

ネットワーク上での遅延の変化を図2と図3に示す。図3は遅延時間が0~1000msまでの部分を拡大したグラフである。パケット化周期が短い(10ms~30ms)ときに最も良い結果を示したのはAODVであった。パケット化周期が長い(50ms~200ms)ときに最も良い結果を示したのはDSRであり、次に性能が良いのはDSDVもしくはTORAであった。TORAは結果に変動が大きかった。

パケット損失率の変化を図4に示す。パケット送信間隔が50ms以上のとき、DSR、AODV、TORA、DSDVの順に良い結果であった。また、このときDSRとAODVは変動が少なかった。

R値の変化を図5に示す。プロトコルにもよるが、大体100~150msあたりで最良の値になる。パケット化周期200msでわずかに減っているのは、パケット化に要する遅延が効いてきたためと考えられる。DSRは、良いとき70~80の間のR値を示している。これは音声伝送品質カテゴリのMediumに属する。AODVは良いときに60~70のR値を示している。これは音声伝送品質カテゴリのLowに属している。TORAは良いときに50~60の間のR値を示している。これは音声伝送品質カテゴリのPoorに属している。DSDVはR値が50に達していない。全体的に、DSRが良い結果を示している。これは、通話数1という緩やかな条件が、DSRに有利に働いたためと考えられる。

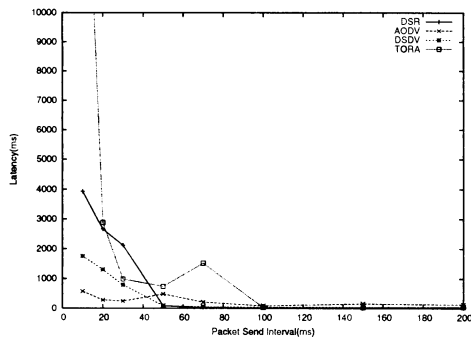


図2 パケット化周期と遅延

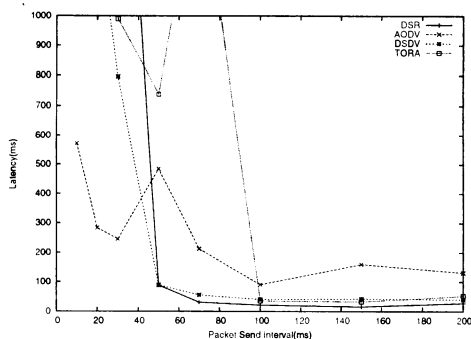


図3 パケット化周期と遅延(拡大図)

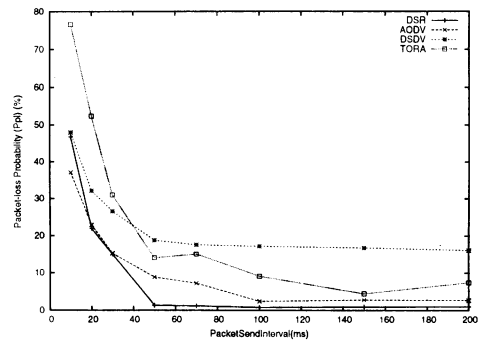


図4 パケット化周期とパケット損失率

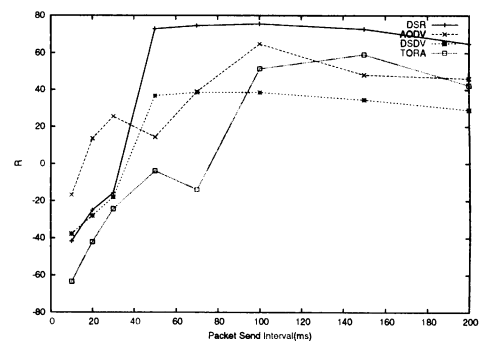


図5 パケット化周期とR値

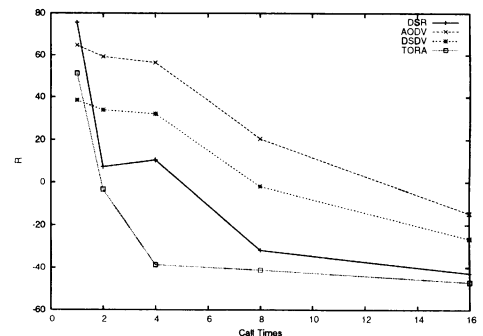


図6 通話数とR値

5.1.2 通話数による音声品質の変化

シミュレーション2では、通話数による音声品質の変化を評価する。参考までに、テレコムデータブック2003 [9]のデータからシミュレーション条件下の携帯電話の通話数を導くと、平均で約0.85回、1日で最も通話数の多い時間帯から導くと約1.68回である。

R値の変化を図6に示す。通話数1のときを除くと、良い順にAODV、DSDV、DSR、TORAときれいに並んだ。通話数1では、DSRがR値70以上(音声品質Medium)、AODVがR値60以上(音声品質Low)、TORAはR値50以上(音声品質Poor)となった。通話数2、4では、AODVがR値50以上(音声品質Poor)となった。

5.1.3 端末数による音声品質の変化

シミュレーション3では端末数による音声品質の変化を評価する。

R値の変化を図7に示す。AODVは端末が100台から200台に増える際の品質劣化が比較的小さい。他は同じように大きく劣化している。従って、端末数200台においては、AODVが一番性能が良く、他の3つの順位は端末数100台のときと変わらない。端末数200台ではどのプロトコルもR値が50に達しなかった。

結論として、端末数が増えた際の耐性が一番高いのはAODVで、他はほぼ同じである。3つのプロトコルの品質は、良い順に、DSR、TORA、DSDVである。

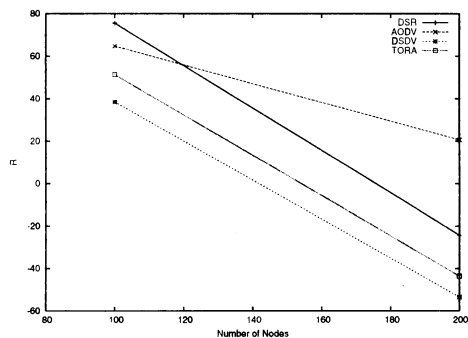


図7 端末数とR値

5.2 考 察

結論として、DSR、AODV、DSDV、TORAの4つとも、音声通信に適したルーティングプロトコルとは言い難い。4つの中で良いのは、DSRかAODVの2つである。

音声品質総合的に評価したR値を見るため、シミュレーション1~3のR値の図(図5, 図6, 図7)に着目する。シミュレーション1の結果ではDSRが最も良いが、シミュレーション2で通話数が増えた場合および、シミュレーション3で端末の密度が上がった場合は、DSRの性能が落ちる。シミュレーション2およびシミュレーション3ではAODVが有力である。AODVは4つのプロトコルの中で、端末数が多くなったときに最高の性能を示した。さらに、通話数が増えた場合でも最高の性能を示した。しかしながら、AODVにも全体的にR値がやや低いという弱点がある。

以上を整理すると、DSRは端末の密度や通話数が少ないときの性能が良く、多いときの性能が悪い。AODVは端末の密度や通話数が少ないときの性能はやや悪いが、人口密度や通話数が増えても性能が下がりにくいため、DSRに比べて端末の密度や通話数の多いときの性能が良い。

IP電話に使用する際には、DSRでは、使用条件を制限したり、通常のネットワークの補助として利用するなどの工夫が必要となる。AODVでは、ルーティングプロトコル自体を改善したりする等の対処が必要となる。

6. ま と め

現在のネットワークの弱点は、ネットワークインフラへの依存である。ネットワークインフラが災害等で破壊された場合、通信ができなくなる危険を孕んでいる。それを解消するものがアドホックネットワークである。アドホックネットワークを日常的に使うためにIP電話に使用することを考えた。アドホックネットワークの代表的なルーティングプロトコルであるDSR、AODV、DSDV、TORAについて音声通信への利用という観点での性能評価を行った。各プロトコルの性能は、ns-2を用いたシミュレーションで評価した。

今回の4つのルーティングプロトコルでは、IP電話に使うにはいずれも困難であるという結論が出た。その中で幾分か有用と思われるプロトコルは、DSRとAODVである。通話数や端末の密度が少ないときは、DSRの性能が良く、多いときはAODVの性能が良いという結果が得られた。

IP電話に使用する際には、DSRでは、使用条件を制限したり、通常のネットワークと併用する等の工夫が必要となる。AODVでは、ルーティングプロトコル自体を改善したりする等の対処が必要となる。

今後の課題としては、今回はパケット受信側のジッタバッファを無限長と仮定したが、これを有限長として、より現実に近い品質を求められるようにすることが考えられる。

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、文部科学省科研費(萌芽15650004)、および日本学術振興会科研費(若手研究(B)15700062)による助成を受けている。

文 献

- [1] C-K. Toh 著, 構造計画研究所 訳, 『アドホックモバイルワイヤレスネットワーク』, 共立出版, 2003年
- [2] David B. Johnson, David A. Maltz, and Yih-Chun Hu, *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)*, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, IETF MANET Working Group, April 2003.
- [3] C. Perkins, E. Beldinf-Royer, and S. Das, *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, IETF RFC3561, July 2003.
- [4] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers." *Proceedings of ACM SIGCOMM'94*, pp.234-244, September 1994.
- [5] V. Perk and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks." *Proceeding of IEEE INFOCOM'97*, vol.3, pp.1405-1413, March 1996.
- [6] International Telecommunication Union, *ITU-T G.107*, March 2003.
- [7] 総務省, 「IPネットワーク技術に関する研究会」報告書, <http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020222.3.html>, 2002年.
- [8] VINT group et al., *ns Tutorial*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/>
- [9] 社団法人電気通信事業者協会, 『テレコムデータブック2003』, <http://www.tca.or.jp/japan/database/annual/2003/index.html>, 2003年.
- [10] International Telecommunication Union, *ITU-T G.113 Appendix I*, May 2002.