

アドホック無線ネットワークにおける再送によるパケット複製を考慮した性能向上手法の検討

山本 貴之† 菅野 正嗣‡ 村田 正幸† 畠内 孝明†† 細岡 洋平††

† 大阪大学大学院 基礎工学研究科 情報数理系専攻

〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

Tel: 06-6850-6616, Fax: 06-6850-6589

E-mail: tak-ygmt, murata@ics.es.osaka-u.ac.jp

‡ 大阪府立看護大学 医療技術短期大学部

〒 583-8555 大阪府羽曳野市はびきの 3-7-30

Tel: 0729-50-2111, Fax: 0729-50-2131

E-mail: sugano@osaka-hsu.ac.jp

†† 富士電機 (株) 電機システムカンパニー

技術開発室 通信応用技術開発部

〒 191-8502 東京都日野市富士町 1

あらまし アドホック無線ネットワークを実際に利用している製品としてフレキシブル無線ネットワークがある。フレキシブル無線ネットワークには、各ホップでパケットの受領確認を行い、送信に失敗した場合はそのパケットを再送する機構が実装されている。この機構はネットワークの信頼性を高める効果をもっているが、同時にパケットの複製をまねき、ネットワーク性能を劣化させてしまう問題があることがわかった。本稿ではこのパケット複製の過程を明らかにし、これを考慮した性能向上手法を提案する。またシミュレーションを通して、提案手法を実装することでパケットの複製数を減らし、ネットワーク性能を改善できることを示す。

キーワード アドホック無線ネットワーク、シミュレーション、ルーティングプロトコル、パケット複製

Performance Improvement in Ad-hoc Wireless Networks with Consideration to Packet Duplication

Takayuki YAMAMOTO† Masashi SUGANO‡ Masayuki MURATA†

Takaaki HATAUCHI†† Yohei HOSOOKA††

†Department of Infomatics and Mathematical Science,
Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan

Tel: 06-6850-6616, Fax: 06-6850-6589

E-mail: tak-ygmt, murata@ics.es.osaka-u.ac.jp

‡Osaka Prefectural College of Health Sciences,
3-7-30 Habikino, Habikino, Osaka 583-8555, Japan

Tel: 0729-50-2111, Fax: 0729-50-2131

Email: sugano@osaka-hsu.ac.jp

††Multimedia and Wireless Dept.,
Technology Development Office,

Energy and Electrical Systems Company,

Fuji Electric Co.,Ltd

1 Fuji, Hino, Tokyo 191-8502, Japan

Abstract A Flexible Radio Network, one of the ad hoc wireless network systems, has a packet retransmission mechanism against packet transmission failures. While this mechanism intends to contribute to packet reachability, it sometimes causes unnecessary packet duplications and degrades the network performance. In this paper, we investigate a packet duplication process and suggest performance improving techniques with consideration to packet duplication. We also show that these techniques can decrease the number of duplicated packets and improve the network performance through simulation experiment.

key words Ad-hoc Wireless Networks, Simulation, Routing Protocol, Packet Duplication

1 はじめに

アドホック無線ネットワークは有線通信路を必要とせず、無線端末同士で相互に通信、中継を行うことで形成されるネットワークである。そのため、ネットワークの構築や拡張、撤去を柔軟に行うことができるという特徴があり、従来は軍用途や非常用の通信手段として研究が行われていた。また、アドホック無線ネットワークの特性の解析や、ルーティング手法に関する研究もさかに行われている。[1-8]

このようなアドホック無線ネットワークの特徴を生かし、既存の施設に大規模な無線ネットワークを構築するシステムとして、フレキシブル無線ネットワーク [9] がある。本システムでは、ネットワークを構成する無線機の通信範囲は約 500 m であり、1 つのネットワークにつき最大 200 台まで無線機を設置することができる。変調方式には直接スペクトラム拡散を用い、周波数帯域は 2.4 GHz 帯の ISM バンドを使用している。現在本システムは、スキー場でのリフト券売機の売上データ収集や、パーキングエリアでの自動販売機の売上・売り切れ・故障情報の収集等に用いられている。

このフレキシブル無線ネットワークでは、無線機の故障や通信路上の障害物、無線環境の変動によるネットワーク構成の変化に対応できるように、独自のプロトコルを実装している。これまでの研究 [10] で、本システムの基本特性の評価を行い、システムの動作を定めるパラメータ値がスループットなどの性能に与える影響を明らかにした。

伝送誤り率の高い無線回線上で、信頼性の高い通信を実現するため、フレキシブル無線ネットワークでは、ホップごとに受領確認を行い、送信に失敗した場合には再送を行う。送信の失敗は、隣接無線局からの ACK を一定時間得られなかった場合に検出される。しかしながら、パケットの送信は正常に行われたにもかかわらず、ACK の受信に失敗した場合には、送信に失敗したものと認識されるため、パケットの再送が行われてしまう。この場合、すでに送信は成功しているが、本システムでは各ノードは中継したパケットの履歴を管理しないために、同一パケットがネットワーク内に 2 つ存在することになる。この再送パケットのことを特に複製パケットと呼ぶ。このような複製パケットの発生は、ネットワークで実際に発生するよりも大きな負荷を与えることとなる。さらに、負荷が高くなるほど、パケットの衝突によって複製パケットが増加することが考えられ、性能が急激に劣化することが予測される。本稿ではまず、このパケット複製が起こる過程を明らかにする。またシミュレーションにより、複製パケット数の増加により、ネットワーク性能が劣化してしまうことを示す。また、システムに実装されているプロトコルに変更を加えた場合に、性能が向上できることを示す。

以下、まず 2 章でフレキシブル無線ネットワークのシステムを説明し、3 章でパケット複製の過程とその対策を説明する。4 章でネットワークシミュレータ *ns-2* [11] により性能評価を行い、その結果を示す。最後に 5 章でまとめと今後の課題について述べる。

表 1: 構成情報テーブル

ID0	ID1	...
隣接ノード情報	隣接ノード情報	...
隣接ノード情報	隣接ノード情報	...
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

2 フレキシブル無線ネットワークのシステム概略

2.1 ネットワーク構成

本システムでは、パケットの送受信および中継機能を持つ各無線機をノードと呼ぶ。また、あるノードから直接通信可能な範囲にいるノードを隣接ノードと呼び、パケット発生と受信を行うノードをホストノードと呼ぶ。各ノードは固有の ID を持っており、それによって識別される。

各ノードは表 1 に示すような構成情報管理テーブルと呼ばれるネットワーク情報を保持する。構成情報管理テーブルに示されるのは自身から各ノードまでの相対的な位置情報であり、目標ノード ID ごとに隣接ノード情報が管理されている。隣接ノード情報とは目標ノードについて自身の隣接ノードから得られる情報であり、目標ノードへ到達するために送信すべき隣接ノード ID と、その隣接ノードへ送信したときに目標ノードまで必要なホップ数から成っている。

各ノードは構成情報管理テーブルから、同一ネットワーク内の全ノードの ID とそのノードへの最短ホップ数を組にした、構成制御パケットと呼ばれるパケットを生成し、これを一定の周期ごとに全隣接ノードに向けて同報送信している。構成制御パケットを受信したノードは、その情報をもとに自身の構成情報管理テーブルを見直し、再構成する。

2.2 データリンクプロトコル

無線回線は固定時間のスロットで時分割されており、全ての無線機はこのスロットに合わせてパケットの送信を行う。無線通信の特性のひとつとして、電波の到達する範囲内の全てのノードは、パケットの送信先にかかわらずその内容を知ることができるというものが挙げられる。フレキシブル無線ネットワークではこの特性を生かし、中継送信されたパケットを前ノードへの ACK の代わりとして用いている。これを特に中継エコー (もしくは単にエコー) と呼んでいる。パケットの目標ノードに対して送信を行うことになる最終ホップでは、目標ノードはそれ以上中継送信をする必要がないため中継エコーが得られない。そこでパケットの受信を前のノードに知らせるために ACK パケットを返す必要がある。パケット送信後、エコーもしくは ACK といった中継先ノードからの反応を一定時間得られない場合は、パケットの送信に失敗したものとみなし再送を行う。

再送を含めたパケット送受信の手順を図 1 に示す。図の (1) と (2) は、パケットがノード A からノード B を中継して送信される様子を示している。(1) はノード A がパ

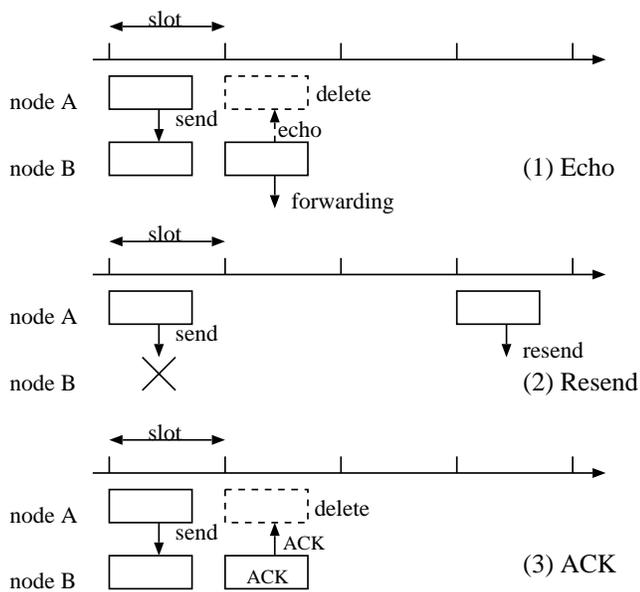


図 1: パケット送受信タイミング

ケット送信・エコー受信ともに成功した場合である。(2)はノード A からノード B への送信に失敗したためエコーが得られなかった場合であり、その際はノード A のバッファに残っているパケットが再送される。再送までの待ち時間はパラメータとして設定されるが、ここでは送信から 3 スロット後に再送が起こる例を挙げている。(3)はノード B が目標ノードである場合で、ACK 送信のタイミングを示している。

パケットは再送制御によって目標ノードに到着するまで中継されるが、送信失敗と再送を繰り返され、長い時間ネットワークに滞在するパケットがあると、ノードのバッファを圧迫し、ネットワーク負荷の増大にもつながってしまう。そのため全てのパケットには時分割のスロット単位で最大生存時間が設定されている。最大生存時間はパケット発生時に初期値が設定され、パケットがネットワークに存在する間 1 スロット経過ごとに値が減らされていき、0 になると最大生存時間オーバーとしてシステムから除去される。最大生存時間はデータ送受信ノード間のホップ数等を十分に考慮した上で、全パケットに対して一定の値が設定されている。

2.3 ルーティングプロトコル

アドホック無線ネットワークでは、各ノードは互いに情報を交換することによってネットワークの構造を調べ、その情報からパケットの中継先を決定する。また絶えず変化する無線環境に素早く対応し、信頼性の高い通信網を形成する必要がある。本システムでは一つの目標ノードに対して複数の経路情報を構成情報管理テーブルに保持しており、最小ホップ数の経路を優先的に利用しようとするが、何らかの理由でその経路が利用できない場合には再度構成情報管理テーブルから別ルートを検索し、場合によっては迂回ルートを設定してパケットを送信することで、通信路の信頼性を高めている。迂回ルートについては後述する。

各ノードは構成情報管理テーブルにおいて、最終目標ノードごとに複数の隣接ノード情報を管理しているが、その情報は最終目標ノードへのホップ数によって以下の

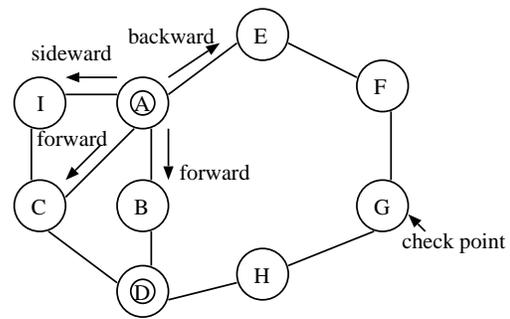


図 2: パケット再送の際の中継先ノード選択法

3 種類に分類されている。

1. 前向き：目標ノードへのホップ数が最短となる隣接ノード
2. 横向き：目標ノードへのホップ数が最短ホップ+1となる隣接ノード
3. 後向き：目標ノードへのホップ数が最短ホップ+2以上となる隣接ノード

ルーティングプロトコルは、より短時間で目標ノードまで到達できる隣接ノードをまず選択しなければならないため、パケット送信時には前向き隣接ノードが優先的に中継先ノードとして選択される。しかし隣接ノード自体の障害や通信路上の障害物などのため、前向き隣接ノードを経由できない状況が考えられる。そこで前向き隣接ノードへの送信に全て失敗したと判断した場合は横向き隣接ノードへ送信し、それも全て失敗した場合は後向き隣接ノードへ送信するというように、柔軟に経路を選択できるようになっている。またこのルーティングプロトコルを用いると、複数ノードからのパケット送信が、あるノードで衝突を起こしている場合でも、送信先を変更することで中継を続けることが可能となる。

後向き隣接ノードへ送信する場合には、中継先のノードから自身にパケットが戻って来ることを防ぐため、迂回ルートを設定する必要がある。そのため迂回ルート上で必ず経由すべきノードをパケットに設定し、後向き隣接ノードへ送信する。この経由すべきノードはチェックポイントと呼ばれており、チェックポイントから目標ノードまでの最短経路上には自ノードが含まれないように設定される。チェックポイントが設定されたパケットを受け取ったノードはチェックポイントまでの中継を行い、そのパケットがチェックポイントに到達するとチェックポイント情報が削除され、目標ノードまでの中継送信が再開される。隣接ノードの分類と、後向きノードへ送信する際に設定する迂回路、および迂回路上のチェックポイントの一例を図 2 に示す。

各ノードは構成情報管理テーブルに基づき、同一ネットワーク内の全ノードに対する迂回ルートの探索を定期的に行っており、迂回ルートが存在する場合はそのルート上のチェックポイントを検出しているが、具体的なアルゴリズムについては割愛する。

3 パケットの再送における問題点

3.1 複製パケットの発生過程

本システムでは 2.2 節で述べたように、データ送信失敗時にパケット再送が行われ、無線通信路の信頼性を高

ド A はスロット 0 でノード B に対してパケットを送信し、成功するが、スロット 1 でノード X からノード A にパケット送信要求が発生し、ノード B からの中継エコーが消失してしまうとする。すると同時に、ノード X もノード A からのエコーが得られず、パケットはバッファ内に残る。ノード A はバッファに残ったままのパケットをスロット 3 で再送する。するとスロット 4 において、ノード X からの再送パケットとノード B からの中継エコーがノード A で衝突してしまい、再び中継エコーが消失してしまう。ノード X はパケット再送時、新しい経路を検索し、ノード A 以外を隣接ノードとして指定して送信することも考えられる。しかし前述した無線回線の特性のため、指定された目標ノードに関係なくこの再送パケットはノード X の全ての隣接ノードに届けられてしまい、結果的にノード A で中継エコーと衝突してしまうことになる。

これはノード X とノード A の再送が起こるまでの間隔が固定されていることが原因であり、この間隔をランダムにすることにより、中継エコーの連続した消失を防ぎ、結果としてパケットの複製を抑える効果が得られることがわかる。

変更点 2 は、ネットワーク内に存在する無駄なパケットを減らすことで、パケットの衝突を抑えるためのものである。2.2 節で述べたように、各パケットにはスロット単位で残存生存時間が設定されており、ネットワーク内に存在する間、1 スロットごとに 1 ずつ減らされるようになっている。また中継送信に成功した場合は 1 スロットに 1 ホップずつパケットを転送することができるため、パケットが最大生存時間オーバーで棄却されるまでに中継送信が可能な最大ホップ数は、残り生存時間と等しいということになる。本システムでは全ノードがそれぞれネットワーク全体の構成、すなわち最終到達先ごとの経路情報（経由する隣接ノード ID、必要ホップ数）を管理している。つまり、パケットの残存生存時間の方が、最短経路を通った場合のホップ数よりも小さい場合は、そのパケットは中継途中で必ず最大時間オーバーで棄却されるということになる。このようなパケットはあらかじめ送信を中止し、棄却することで、ネットワーク内に存在する無駄なパケットを減少させることができる。

4 シミュレーションによる性能評価

4.1 シミュレーションモデル

本章では、3.2 節の工夫が複製パケットの発生に与える効果と、それによるネットワーク性能の向上についてシミュレーションを用いた評価を行う。シミュレータには *ns-2* [11] を使用した。*ns-2* には The CMU Monarch Project [12] による無線モバイル通信向けの拡張が含まれており、この上に本方式のルーティングプロトコルを実装することによりシミュレーションを行った。

全てのシミュレーションは図 6 に挙げるようなネットワークモデル上でやっている。図で丸で記されているのが無線ノードであり、2 つの無線ノード間が実線でつながれている時は、その 2 ノードは通信可能距離以内にあることを表す。この通信可能距離は *ns-2* のデフォルトである 250 m であり、パケット衝突などの無線モデルも *ns-2* に用意されているものを使用している。このネットワークモデルにおいてノード ID が記された 3 つのホストノードがお互いに、サイズを 512 バイトに固定し

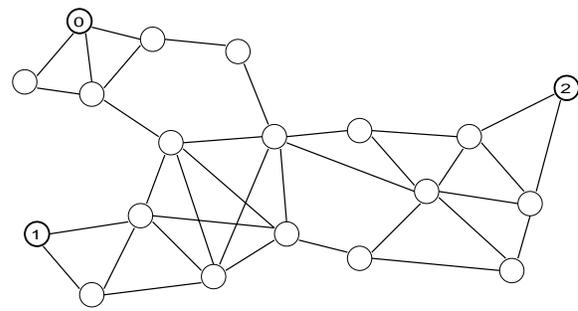


図 6: ネットワークモデル

た UDP パケットを送り合うものとする。1 スロット当たりのパケット送信要求発生率は全てのホストノードで等しく、送信パケットが発生した場合は他の 2 つのホストノードのうちどちらかをランダムに選び、パケットの宛先に設定して送信を行う。ネットワーク全てのノードはスロットを同期させていると仮定し、ネットワークの全てのホストノードで発生するパケット数の合計がシミュレーション時間中のスロット数に占める割合を、ネットワークに与えられた負荷と定義する。シミュレーションでは、決められた負荷をホストノード数で割ることで 1 ホストノード当たりのパケット送信要求発生率を算出し、パラメータとして与えている。

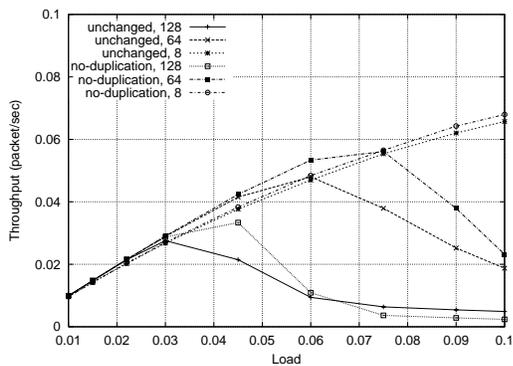
システムの特長はパケットに設定する最大生存時間に大きな係わりがある。最大生存時間が小さいと、複数経路へ再送するという機構の利点が生かせず、中継途中で棄却されるパケットが多くなることが考えられる。しかしネットワークに対する負荷が高い場合には、最大生存時間を小さく設定し効率的にパケットを棄却することで、システムの性能劣化を抑えられることが考えられる。本稿では最大生存時間 8, 64, 128 の 3 種類のシミュレーションを行い、その結果を比較することで、最大生存時間とパケット複製の影響の関係を調べている。

シミュレーションでは、この最大生存時間を変えたシステムに対して与える負荷を変化させていった場合の性能指標の変化を調べる。性能指標にはスループット、パケット損失率、パケット伝送遅延の平均を用いる。

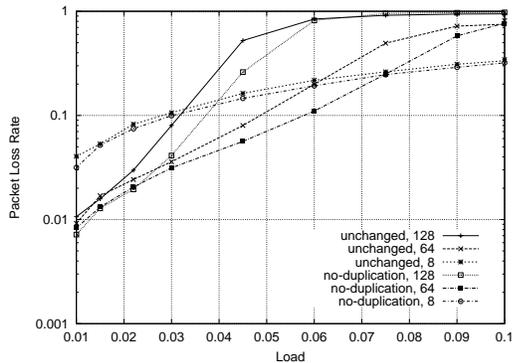
4.2 複製パケットの影響

まず既存のシステムが持つ性能を評価するため、3.2 節で挙げた変更点を加えないでシミュレーションを行った。また、パケット複製が発生しないように変更を加えたシミュレータを用いたシミュレーションを行い、その結果と比較を行うことで、パケット複製がネットワーク性能に与えている影響を見積もった。その結果を図 7 に示す。各グラフのラベルは “unchanged” と書かれたものが既存のシステムの結果を、“no-duplication” と書かれたものがパケット複製を無くした場合の結果である。またラベルの後ろについている数字は、システムに設定されている最大生存時間を表している。

まずスループット (図 7(a)) をみると、パケットの最大生存時間を大きく設定した環境ほど、パケット複製の影響を強く受け、性能に差が出るのがわかる。最大生存時間が短い環境では、パケットが多数複製される前に最大生存時間オーバーで棄却されてしまうため、パケット複製の影響がそれほど大きく現れないと考えられる。ある程度負荷が高くなりネットワーク内に同時に存在する



(a) スループット (packet/sec)



(b) パケット損失率

図 7: パケット複製による影響

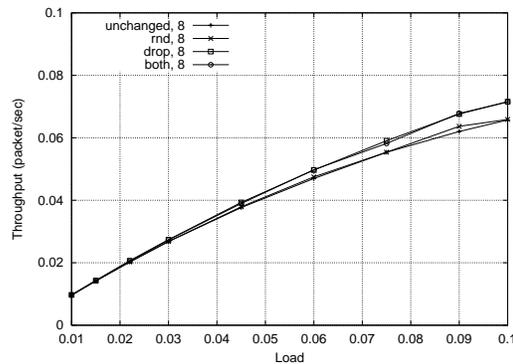
パケット数が多くなった場合、スループットはある所で最大値を示し、それより負荷が高まると性能が劣化していくようになる。既存のシステムでは、複製パケットのため実際にネットワークに投入される負荷よりも高い負荷がかかり、より低い負荷から性能劣化が始まるようになるということもわかった。

パケット損失率 (図 7(b)) のグラフもスループットと同じ傾向を示している。最大生存時間が長いパケットほど、パケット複製による性能劣化が大きいことと、性能劣化が始まる負荷の値が小さいということがわかる。

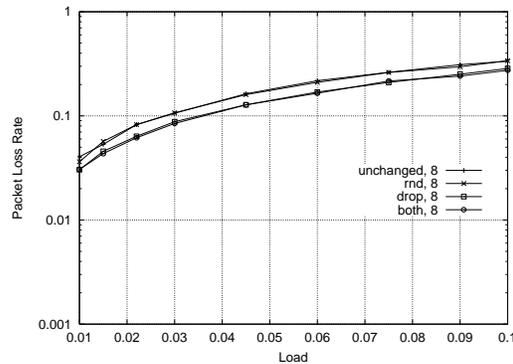
4.3 パケットの複製を考慮した方式

本節では、3.2 節で挙げた 2 点の変更を加えたことによるパケット複製の減少と、それに伴うネットワーク性能の変化を調べている。それぞれの変更点が性能に与える影響をみるため、最大生存時間別に、それぞれの変更を単独で加えた場合と、両方を同時に加えた場合の性能を比較している。その結果を図 8,9,10 に示す。各グラフのラベルで “unchanged” と書かれたものは前節と同じく変更を加えないシステムの結果を、“rnd” は 3.2 節の変更点 1(再送待ち時間をランダムに決定する) のみを加えた結果を、“drop” は変更点 2(残存生存時間で届く見込みの無いパケットを棄却する) のみを加えた結果を、“both” は両方の変更を加えたシステムの結果を示す。

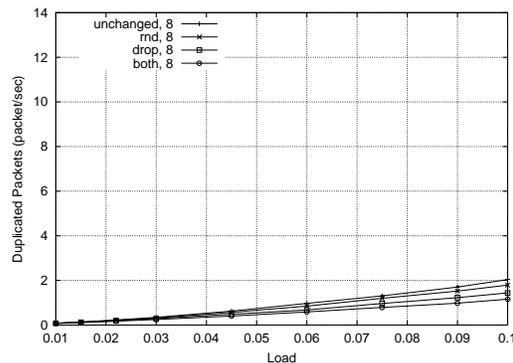
この結果から、変更点 1 と 2 は、システムに設定されている最大生存時間によって効果が大きく変わることがわかった。図 10 のように最大生存時間が長い場合は、変更点 1 による性能改善が大きくなり、図 8 のように最大生存時間が短い場合は、逆に変更点 2 による性能改善が変更点 1 によるものを上回っている。1 秒あたりのパケット



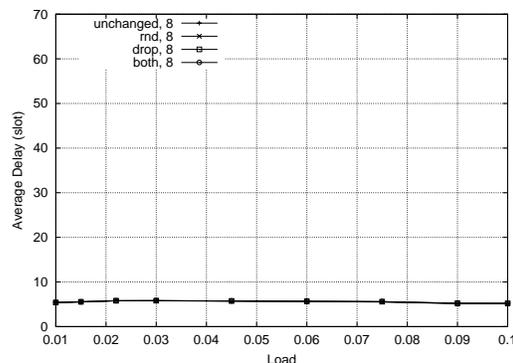
(a) スループット (packet/sec)



(b) パケット損失率

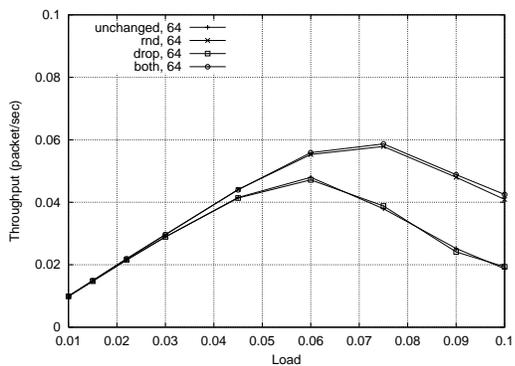


(c) パケット複製数 (packet/sec)

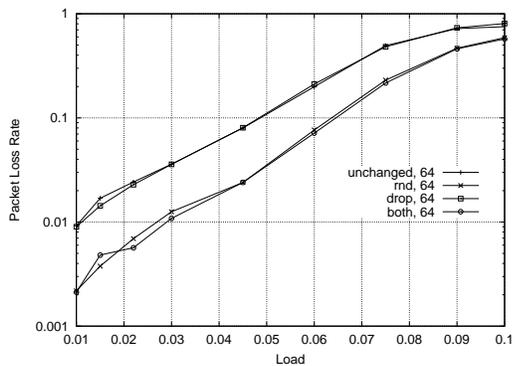


(d) 平均遅延 (slot)

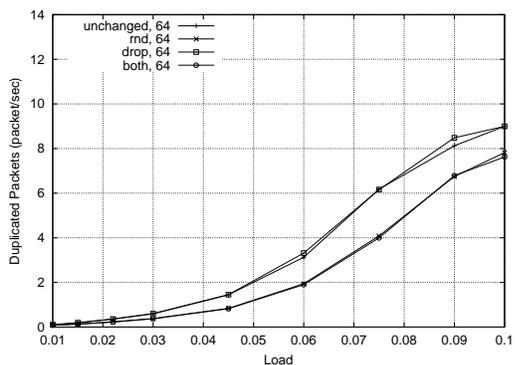
図 8: 提案方式の効果 (最大生存時間が 8 の場合)



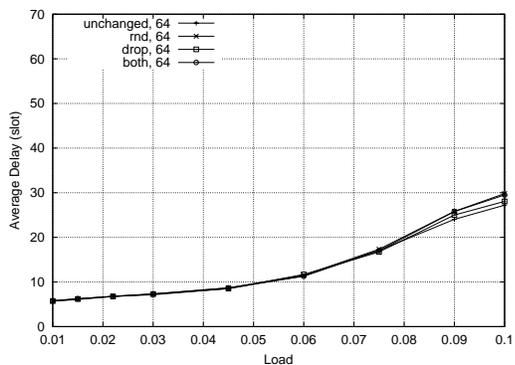
(a) スループット (packet/sec)



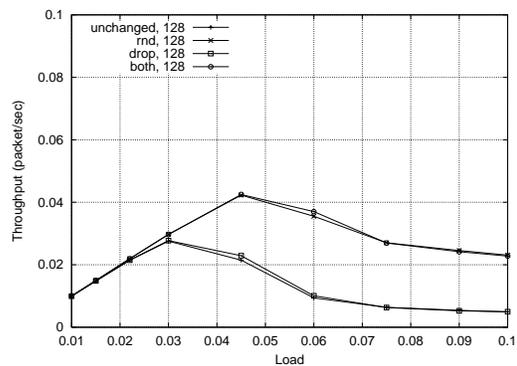
(b) パケット損失率



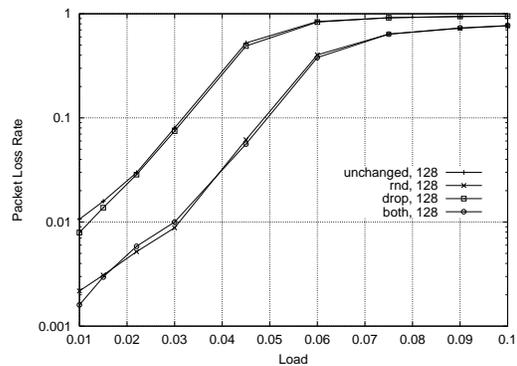
(c) パケット複製数 (packet/sec)



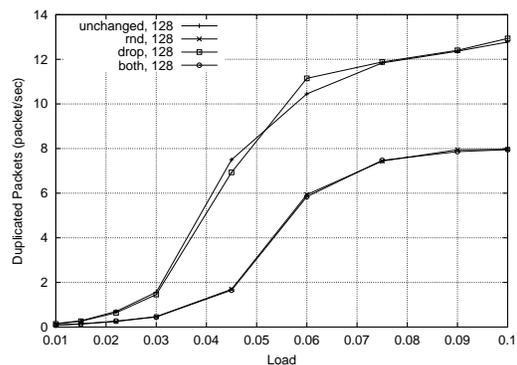
(d) 平均遅延 (slot)



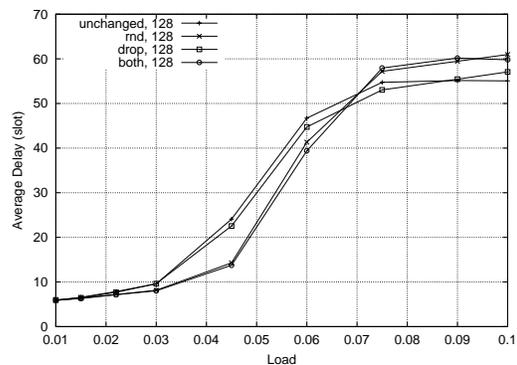
(a) スループット (packet/sec)



(b) パケット損失率



(c) パケット複製数 (packet/sec)



(d) 平均遅延 (slot)

図 9: 提案方式の効果 (最大生存時間が 64 の場合)

図 10: 提案方式の効果 (最大生存時間が 128 の場合)

複製数のグラフもこれらの結果と同じ傾向を示している。

まずパケットの最大生存時間が長い場合、ネットワークに長く存在するパケットが衝突を繰り返し起こすことが考えられる。3.2 節で述べたように、変更点 1 は、パケットの衝突が繰り返し起こる確率を減らし、エコーの消失を抑えることができる。すなわちこの変更によりパケットの衝突を避け、複製パケットの数も抑えることができる。しかし最大生存時間が短い環境では、パケットの衝突が繰り返される前に最大生存時間オーバーとなり、パケットが棄却されてしまうため、この変更ではそれほど大きな効果が現れない結果となっている。

次にパケットの最大生存時間が短い場合を見てみると、最大生存時間が長い場合と逆に変更点 2 による性能改善のほうが大きくなっていることがわかる。上述したように最大生存時間が短い環境では、パケットの衝突が繰り返される回数は少なくなる。しかし、最大生存時間オーバーで棄却されるパケットは増えることになる。変更点 2 では、残存生存時間内に目標ノードまで到達できる見込みの無いパケットをネットワークに送信せず、あらかじめ棄却してしまうことで、ネットワークに不必要な負荷を与えないようにできる。つまり、最大生存時間オーバーで棄却されるパケットが多くなるような環境、すなわち最大生存時間が短い環境で効果が現れるという結果になっている。

さらに、スループットとパケット損失率に関して、図 7 と比較すると、複製パケットが無い場合の結果よりも性能が上がっている部分が見られる。本稿で提案した変更点は、どちらも中継エコーの消失を防ぐだけでなく、中継されているデータパケットの消失を抑える効果もある。その結果、単に複製パケットを除去する以上の性能向上が得られることが示された。

また、パケット伝送遅延時間の平均も調べている。最大生存時間を長くしていくことで、同じ負荷でも平均遅延時間は長くなっていくことがわかる。今回提案している変更を加えた場合、最大生存時間 8, 64 では平均遅延時間は同じか、若干短くなっている程度で、それほど変化は無い。最大生存時間が長い環境(図 10(d))では、負荷の値によっては変更を加えたシステムの平均遅延が既存のシステムよりも長くなっている部分が見られる。しかしこれは、負荷が大きすぎてシステムが飽和している領域であり、評価の対象とはしない。

5 まとめと今後の課題

本稿では、アドホック無線ネットワークを使った実システムであるフレキシブル無線ネットワークに対して、パケット中継失敗時の再送制御機構により発生する複製パケットによりネットワーク性能が劣化してしまう問題について、その影響をシミュレーションによって調べ、改善のための提案を行った。その結果、提案方式により複製パケット数が減少し、ネットワーク性能も向上できることがわかった。

今後の課題としては、経路情報から最適な最大生存時間を求めること、上位層に TCP のようなエンドホスト間で動作するプロトコルを導入した場合に、その影響を考慮した方式の提案および性能評価を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, and M. Degermark, "Scenario-based performance analysis of routing protocols for mobile ad-hoc networks," in *Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM'99*, (Seattle), pp. 195–206, Aug. 1999.
- [2] 高杉 耕一, 鈴木 康夫, 久保田 周治, "回線交換型無線アドホック通信ネットワークにおけるふくそう回避型マルチキャスト方式," 信学論, vol. J83-B, pp. 991–998, Jul. 2000.
- [3] A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T. Chen, "Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks," *IEEE JSAC*, pp. 1369–1379, Aug. 1999.
- [4] G. Holland and N. H. Vaidya, "Analysis of tcp performance over mobile ad hoc networks," in *Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM'99*, (Seattle), pp. 219–230, 1999.
- [5] Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "Determining the optimal configuration for the zone routing protocol," *IEEE JSAC*, pp. 219–230, Aug. 1999.
- [6] N. Nikaein, H. Labiod, and C. Bonnet, "Ddr – distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks," in *proceedings of the MobiHOC 2000*, 2000.
- [7] 斉藤 匡人, 間 博人, 田村 陽介, 徳田 英幸, "モバイルアドホックネットワークにおける TCP の性能解析," 情報処理学会全国大会, Oct. 2000.
- [8] 間瀬 憲一, 中野 敬介, 仙石 正和, 篠田 庄司, "次世代アドホックネットワークの動向と課題 - ユニバーサル・アドホックネットワークの提案 -," 信学技報, pp. 37–42, Apr. 2000.
- [9] "富士電気株式会社, フレキシブル無線ネットワーク." available at http://www.fujielectric.co.jp/denki/EcoHIESSENCE/d_EcoARROW.html.
- [10] Masashi Sugano, Tsutomu Araki, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, and Yohei Hosooka, "Performance evaluation of a wireless ad hoc network: Flexible radio network (frn)," in *Proceedings of IEEE ICPWC 2000*, pp. 350–354, IEEE, Dec. 2000.
- [11] "The Network Simulator - ns-2." available at <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [12] "The CMU Monarch Project." available at <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>.