

アドホックネットワークにおける 効率的なチャンネル利用法の提案と評価

堀部 洋典[†] 張 勇兵[‡]

アドホックネットワークでは、無線基地局を必要とせず、各移動局が自律的にネットワークを構成するため、次世代の無線通信の一形態として期待が寄せられている。しかし、中央制御のないアドホックネットワークでは周波数帯の利用率が極めて低く、チャンネルの再利用性を高めることは重要である。本研究では、複数チャンネルを持つアドホックネットワークにおけるチャンネル選択方式を2つ提案する。本提案方式の特徴は、近隣ノードのチャンネル情報を考慮したチャンネル選択を行うことにより、ネットワーク全体のチャンネルの再利用性を向上させる点にある。本提案方式は、従来の選択方式と比較して、チャンネルの再利用性を大きくすることがわかった。

Efficient Channel Selection in Multi-Channel Mobile Ad Hoc Networks

Yosuke Horibe[†] and Yongbing Zhang[‡]

Mobile ad hoc networks (MANETs) consist of mobile hosts that communicate with each other in the absence of a fixed infrastructure. The radio resource in MANETs is usually under-utilized because there is no any central control. In this paper, we propose two channel selection approaches for multi-channel MANETs. One selects a channel with higher priority that is mostly used in the network than others. The other selects the least number of channels for a communication request. Simulation results show that our proposed approaches improve the channel utilization and reduce the blocking probability compared with the existing algorithms.

1 はじめに

次世代移動体通信サービスの一形態として、基地局などの固定したインフラストラクチャを持たないマルチホップ無線通信システム(アドホックネットワーク)が注目されている [6, 10]。アドホックネットワークでは、各移動局(ノード)が無線トランシーバとルータの機能を併せ持っている。送信元ノードから目的ノードへデータ転送を行うとき、送信元ノードと目的ノードが直接通信可能な場合、送信元ノードは目的ノードへ直接にデータを送信する。直接通信ができない場合、送信元ノードから目的ノードまでに複数の中継ノードを経由したマルチホップ通信経路を構築し、間接的にデータ送信を行う。

アドホックネットワークは、中央制御を持たないため、メディアアクセス制御(MAC)法が複雑であり、これまで多くのプロトコルが提案されている [9]。IEEE 無線 LAN の標準に用いられている CSMA/CA や、MACA[4]、MACAW[1] などでは、RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send) パケットを用いることにより、隠れ端末問題を解消し、通信を行うノードが動的にチャンネルを獲得する MAC 層プロトコルが提案さ

れている。しかしながら、これらの MAC プロトコルでは、通信チャンネルが共用で一つしかなく、通信チャンネルの競合が多発する。パケット衝突を減らし、同時送信可能なノードを増やすなど、無線周波数資源を効率的に利用するため、複数チャンネルとする方法が有効である [5, 3, 7, 8]。

一般には、複数チャンネルを持つ通信システムでは、使用チャンネルの選択法によって、資源の利用効率やネットワークスループットなどに大きな影響を及ぼす。そこで、本研究では、複数チャンネルを持つアドホックネットワークにおける、チャンネル選択方式の提案とその評価を行う。従来の研究では、自ノードの干渉状況だけを考慮してチャンネルの選択を行っていた [8, 3, 5]。提案方式は、近隣ノードと情報交換を行い、局所的なネットワークにおいて最適なチャンネルを割り当てることにより、ネットワーク全体のチャンネルの再利用性を向上させることを目的としている。

2 関連研究

アドホックネットワークは、ノードを頂点とし、互いに通信可能な距離に存在するノード間に枝を加えたグラフとしてモデル化されることが多い。チャンネル割当て問題の最適解を得ることは、このグラフにおける頂点彩色問題、もしくは枝彩色問題として取り扱われてきた。しかし、これらの問題は NP-困難である上、

[†]筑波大学大学院 システム情報工学研究科

[‡]筑波大学 社会学系

[†]Graduate school of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

[‡]Institute of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba

各ノードが自律分散的にチャンネル割当てを決定するため、最適解を得ることは困難である [2]。そのため、多くの場合、ヒューリスティック手法が使われている [2]。

複数チャンネルに対応する MAC 層プロトコルは、[5, 3, 7] などでも提案されている。特に、[5, 3] では、CSMA/CA を複数チャンネルのシステムに適応させるように拡張している。これらの MAC プロトコルにおけるチャンネル選択法について、[5] では使用可能なチャンネルの中からランダムに選択しており、[3] では使用可能なチャンネルのうち最も干渉量の少ないチャンネルを選択している。

3 システムモデル

本研究では、各ノードは無線トランシーバとルータの機能を併せ持つとする。また、周波数帯域は 1 つのコントロールチャンネルと複数のデータチャンネルに分割され、データチャンネルは、チャンネル ID により識別されるとする。各ノードは、複数の無線インターフェースを具備しており、同時に複数のチャンネルを使用することができるとする。簡単のため、各ノードの通信可能範囲は、自ノードを中心としてある距離を半径とした円内とする。また、本研究ではネットワーク上に存在するすべてのノードの通信範囲は同一であるとする。

ネットワーク内で接続要求が発生した場合、まず送信元ノードから目的ノードまでの通信経路探索を行う。通信経路が発見できない場合、接続要求は棄却される。また、通信経路探索では、1 ホップで到達可能なノードどうしは 1 ホップで通信経路を構成する。

通信経路が発見された場合、通信経路を構成するすべてのノードにチャンネルを割当て、通信経路を確立する。ここで、各ノードは近隣ノードと干渉を起こさないようにチャンネルを割当てなければならない。図 1 は、アドホックネットワークにおける干渉問題を示したものである。チャンネルの干渉には、自ノード干渉 (図 1(a)) 及び、隠れ端末問題による干渉 (図 1(b)(c)) がある。本研究では、帯域保証型の通信方式を仮定し、チャンネルを割当てるノードは近隣ノードと干渉を起こすチャンネルは使用できないとする。具体的には、2 ホップ近隣ノードとは異なるチャンネルを割当てるとする。以降では、あるノードの 2 ホップ近隣ノードを、そのノードのチャンネル競合ノードと呼ぶ。通信経路を構成するノードのうち、少なくとも 1 つのノードに対してチャンネルを割当てることができなければ、接続要求は棄却される。

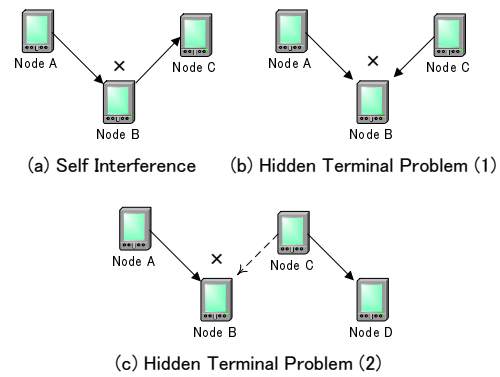


図 1: アドホックネットワークの干渉問題

以降では、各ノードにおいて、チャンネル競合ノードが使用しているチャンネルを干渉チャンネル、チャンネル競合ノードで割当てられていないチャンネルを使用可能チャンネルと呼ぶ。ある時点の各ノードにおいて、すべてのチャンネルは、干渉チャンネルであるか、使用可能チャンネルであるかのどちらかである。つまり、すべてのチャンネルの集合を C 、あるノードでの干渉チャンネルの集合を C_b 、使用可能チャンネルの集合を C_f とすると、 $C = C_f \cup C_b$ 、かつ $C_f \cap C_b = \emptyset$ が成り立つ。

各ノードは、自ノードにおける使用可能チャンネルと干渉チャンネルの情報をもち、その情報をテーブルに保持しているとする。各ノードが保持している、このテーブルをチャンネルテーブル、チャンネルテーブルに記されたチャンネルの干渉状況に関する情報を干渉情報と呼ぶ。制御情報を受受信するコントロールチャンネルは、干渉は起きないと仮定している。本研究で提案するチャンネル割当て方式では、チャンネルを割当てるノードが、近隣のノードにおける干渉情報を収集し、それらを活かしたチャンネル選択を行う方式がある。この情報収集もコントロールチャンネルは介して行われることを仮定する。

4 提案方式

本章では、本研究で提案するチャンネル選択方式を詳細に説明する。アルゴリズムを記述するために以下の記号を用いる。

- N_x^k : ノード x の k ホップ近隣ノードの集合
- C_{ij} : ノード i におけるチャンネル j の状態。チャンネル j が使用可能チャンネルであるならば $C_{ij} = 0$ 、そうでなければ $C_{ij} = 1$ 。

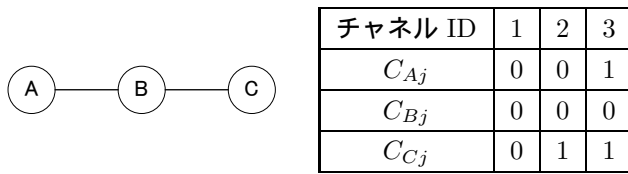


図 2: LD 方式の概要図

4.1 LD 方式

LD チャンネル選択方式 (Least-Degradation Channel Selection) は、ネットワークにある使用可能な周波数資源に及ぼす影響を最小化しようとするチャンネル選択方式である。具体的には、ネットワークにある使用可能チャンネルの減少が最も少なくなるようにチャンネルを選択する。図 2 に示されている例では、ノード B がチャンネルを割り当てるノードとし、隣接ノード A と C との情報交換により、得られた干渉情報は右表に記されている。この例では、チャンネル 3 を選択すれば、使用可能チャンネル数の減少は最も少ない。

また LD 方式では、干渉情報を収集する近隣ノードの範囲を表すためにパラメータ k を使用する。 k ホップ以内にあるノードを対象として、チャンネルの割り当てによって使用可能チャンネルが減少する近隣ノードの数を最小とするようにチャンネルを選択する。ただし、チャンネルの干渉を避けるには、2 ホップ以内の近隣ノードのみを考えれば十分であるため、パラメータ k の取り得る値は 1 または 2 である。一般には、ノード x において LD 方式に従ったチャンネル割り当てを行うときは、 $N_f = \{y | y \in N_x^k, C_{yj} = 0\}$ とし、集合 N_f に含まれる要素の数を $|N_f|$ とすると、以下の関係を満たすチャンネル j を割り当てる。

$$\text{最小化} \quad |N_f|$$

$$\text{制約} \quad C_{xj} = 0$$

以下に、各ノードで実行する詳細な手順を示す。

LD 方式

- Step1.** ノード x において、使用可能チャンネルが存在するなら Step2 へ。存在しないなら接続要求を却下する。
- Step2.** k ホップ近隣ノードから干渉情報を収集し、 $A_j = \sum_i C_{ij}$ を計算する。
- Step3.** 使用可能チャンネルのうち、もっとも A_j の大きなチャンネルを選択する。

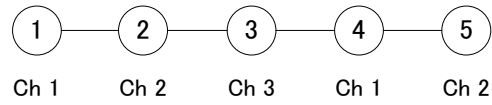


図 3: パターン割当て

4.2 PC 方式

PC チャンネル選択方式 (Priority Channel based Channel Selection) は、通信経路単位に着目し、1 つの通信経路で使用するチャンネル数を最小化することを目的とする方式である。通信経路の長さが 1 ホップしかない場合、必要最少なチャンネル数は 2 つである。また、通信経路がマルチホップで構成されている場合、図 3 のように 3 つのチャンネルを順序よく繰り返して割り当てることで、通信経路の長さに関わらず、必要最少なチャンネル数は 3 つとなる。以降、この方法に従って通信経路を構成する各ノードにチャンネルを割り当てることを、パターン割当てと呼ぶ。

ただし、各ノードの干渉状況は異なるためパターン割当てによってチャンネル割り当てることができるとは限らない。そこで、PC 方式では、優先チャンネルの決定、初期チャンネルの選択、ノード内ハンドオフの 3 つの過程を経て、通信を行いながら徐々にパターン割当てに近づけていく。

PC 方式では、通信経路がパターン割当てによってチャンネルを割り当てるために、各ノードで使用すべきチャンネルの決定はリーダーノードによって行われる。本研究では、送信元ノードをリーダーノードとする。各ノードが使用すべきチャンネルを優先チャンネルと呼ぶ。優先チャンネルの決定方法として、Random-PC(RN-PC)方式と、Dynamic-PC(DY-PC)方式がある。

RN-PC 方式は、リーダーノードがランダムに選択した 3 つのチャンネルを優先チャンネルとする。以下には、RN-PC 方式の詳細な手順を示す。

RN-PC 方式における優先チャンネルの決定手順

- Step1.** リーダーノードは、ランダムにチャンネルを 3 つ選択する。
- Step2.** 選択した 3 つのチャンネルを用いたパターン割当てに従って、通信経路を構成する各ノードの優先チャンネルを決定する。

DY-PC 方式は、通信経路を構成する各ノードから干渉情報を収集し、通信経路上で最も多くのノードで使用可能であるチャンネルを優先チャンネルとして選択す

る。それにより、RN-PC方式より、高い確率でパターン割当てを実現することができる。以下にDY-PC方式の詳細な手順を示す。

DY-PC方式における優先チャネルの決定手順

- Step1.* リーダーノードは、通信経路を構成する各ノードから干渉情報を収集し、 $A_j = \sum_i C_{ij}$ (i は通信経路を構成しているノード)を計算する。
- Step2.* A_j が最小のチャネルを3つ選択する。
- Step3.* 選択した3つのチャネルを用いたパターン割当てに従って、通信経路を構成する各ノードの優先チャネルを決定する。

通信経路を構成する各ノードの優先チャネルが決定したら、各ノードは指示された優先チャネルが使用可能であるかを確認する。優先チャネルが使用可能であれば、そのチャネルを割当てて通信を開始する。そうでなければ、他の使用可能チャネルを割当てて通信を開始する。以降では、通信開始時に使用するチャネルを初期チャネルと呼ぶ。以下に、初期チャネルの割当て手順を詳細に示す。

初期チャネルの選択手順

- Step1.* チャネルを割当てるノード x において、使用可能チャネルが存在するなら、*Step2*へ。存在しないなら、接続要求を却下する。
- Step2.* 自ノードにおける優先チャネルが使用可能であるならば、優先チャネルを初期チャネルとして割当てる。そうでないならば、*Step3*へ。
- Step3.* 使用可能チャネルのうち、最もチャネルIDの小さいチャネルを初期チャネルとして割当てる。

初期チャネルを割当てる際、優先チャネルを割当てることができなかったノードは、通信中に優先チャネルが解放され次第、優先チャネルに切り替える。この過程をノード内ハンドオフと呼ぶ。ノード内ハンドオフの手順の詳細を下記に示す。

ノード内ハンドオフ手順

- Step1.* ノード x において、通信中にチャネル u が使用可能となったとき、 u がある通信要求の優先チャネルならば、*Step2*へ。そうでないなら、そのまま通信を継続する。
- Step2.* チャネル u を優先チャネルとする通信要求にチャネル u を割当てて、*Step3*へ。
- Step3.* 割当てられていたチャネルを解放する。

5 シミュレーション実験

5.1 性能評価指標

本研究では、チャネルの再利用性を表す性能指標として、資源ブロッキング確率を使用した。資源ブロッキング確率は、通信経路が確立された接続要求の総数に対して、チャネルの割当てができずに却下された接続要求の総数の割合を表す。

また、PC方式の評価のために、優先チャネル割当て確率を用いた。優先チャネル割当て確率は、総チャネル割当てノード数に対して、優先チャネルを割当てたノード数の割合を表す。

5.2 シミュレーションモデル

本研究の数値実験では、ネットワークモデルは 100×100 の2次元のフィールドにノードをランダムに配置するとした。また、ネットワーク内のすべてのノードの通信半径は等しいとした。接続要求は、1つの送信元ノードから1つの目的ノードへの1対1通信とし、目的ノードは送信元ノードを除いた各ノードの中から等確率で選択されるとした。送信元ノードから目的ノードまでの通信経路を探索するため、幅優先探索アルゴリズムを用いた。

各ノードへの接続要求の到着は平均1.0単位時間のポアソン仮定に従い、接続持続時間は平均 h の指数分布に従うと仮定した。

システムに割当てられているチャネルの数は60とした。各ノードは、チャネル数だけの独立した無線送受信機を具備しているとし、異なるチャネルを介して複数のデータを同時に送信及び受信することが可能とした。

シミュレーション実験は、1000通りのノード配置パターンについて行った。各ノード配置パターンに対し

て、ネットワーク全体で 5000 回の接続要求をシミュレートした。性能指標値は、これらのシミュレーション結果の平均値から算出した。また、各ノード配置パターンに対して、最初の 10% の接続要求はウォームアップ期間とし、その間に得られたデータは性能指標値の計算に使われなかった。

提案方式と比較するために、従来方式である [8, 3]、FX 方式 (Fixed-order Selection)、RN 方式 (Random-order Selection) を用いた。FX 方式は、使用可能チャネルのうち、もっともチャネル ID の小さなチャネルを選択する。RN 方式は、使用可能チャネルのうち、ランダムに選択したチャネルを割り当てる。本研究では、以下の 3 つのシナリオにおいて、提案方式と従来方式の比較評価を行う。

シナリオ 1 各ノードの通信半径 R が固定であり、通信負荷が変化するとする。具体的には、 $R = 20$ とし、接続維持時間 h を 0.1 から 1.0 まで変化させる。

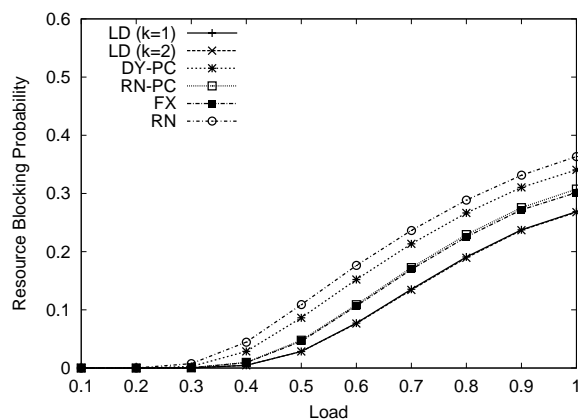
シナリオ 2 通信負荷が一定であり、各ノードの通信半径を変化させるとする。具体的には、 $h = 0.5$ とし、 R は 1 から 20 まで変化する。

シナリオ 3 各ノードの通信半径 R は、通信経路発見確率が 95% 以上となる最小通信半径であり、接続維持時間はシナリオ 1 と同じであるとする。

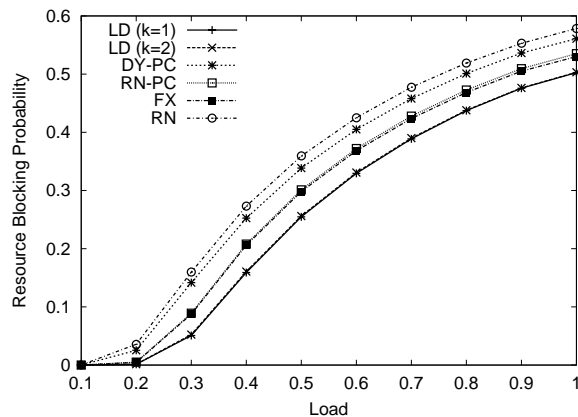
前述したとおり、無線資源の効率的利用のために数多く提案がなされている。その中でも、通信範囲を小さくすることにより、チャネルの再利用性を高める研究は数多く発表されている。シナリオ 3 は、ノードの送信電力を調節できる場合、提案方式によりチャネルの再利用性が向上されるかを確認するために行った実験である。シミュレーションプログラムは C 言語に基づくシミュレーションパッケージプログラム `smpl` を用いて開発された。

5.3 実験結果と考察

図 4 は、シナリオ 1 における、通信負荷に対する資源ブロッキング確率の推移を表したグラフである。各ノード数の場合で同様の傾向が確認できる。最も低い資源ブロッキング確率を示しているのは、LD 方式であり、続いて、FX 方式、RN-PC 方式、DY-PC 方式、RN 方式の順に、資源ブロッキング確率が高くなっている。LD 方式は、最も高い資源ブロッキング確率で



$U = 60, R = 20$



$U = 120, R = 20$

図 4: 資源ブロッキング確率 (シナリオ 1)

ある RN 方式に比べて、約 10% 低い資源ブロッキング確率である。また、 $k = 1$ の場合と $k = 2$ の場合で性能差は無視できる程度であった。

また、PC 方式は、RN 方式よりも 3% から 5% 低い資源ブロッキング確率を示したが、LD 方式、FX 方式よりも高い資源ブロッキング確率を示している。図 5 は通信開始時、通信終了時の、優先チャネル割当て確率を示したグラフである。これらのグラフから、RN-PC 方式に比べて、DY-PC 方式は初期チャネルの割当て段階からより高い確率で優先チャネルを割当てていることがわかる。PC 方式では、優先チャネルを割当てることができなかった場合、FX 方式に従ってチャネル割当てが行われる。そのため、優先チャネルを割当てている確率の低い RN-PC 方式は、パターン割当てよりも、FX 方式に近いチャネル割当てを行っていることがわかった。しかしながら、チャネルの再利用性を表す資源ブロッキング確率では、DY-PC 方式よりも RN-PC 方式の方が低い値を示している。こ

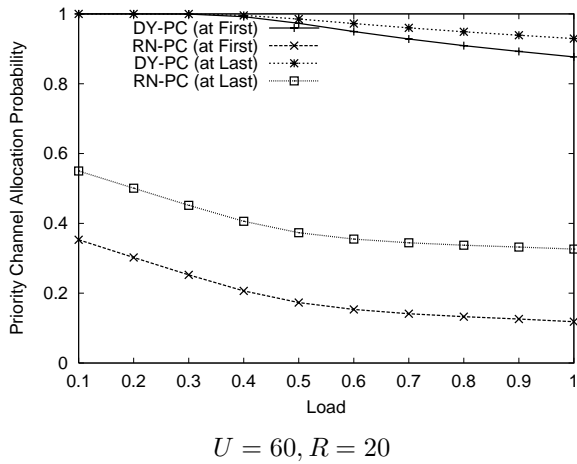


図 5: 優先チャンネル割当て確率 (シナリオ 1)

のことから、PC 方式の主要素であるパターン割当ては効果的でないことがわかる。

また、FX 方式は、チャンネル ID に着目しているが、すべてのノードがより小さいチャンネル ID のチャンネルを使用することで、結果としてより混み合っているチャンネルを割当てていることになっている。その点で、LD 方式に近いチャンネル割当てを行っているため、低い資源ブロッキング確率であると考えられる。

次に、ノード数の変化について述べる。同じ大きさのフィールドで実験を行っていることから、ノード数が多い方が、よりノード密度が高い。ノード密度が高いほど、各ノードのチャンネル競合ノード数が多くなり、高い資源ブロッキング確率となる。ノード数、通信負荷が共に高いときには、各方式間での資源ブロッキング確率の差が小さくなっている。これは、高負荷の環境下では、各ノードの使用可能チャンネル数が少なく、どの選択方式に従っても、選択するチャンネルに違いがないからである。

図 6 は、シナリオ 2 における、ネットワーク内の各ノードの通信半径の値の変化に対する資源ブロッキング確率の変化を示したグラフである。方式間の比較としては、シナリオ 1 と同様の傾向が見られる。LD 方式が最も低い資源ブロッキング確率であり、RN 方式よりも最大で約 10% 低い資源ブロッキング確率を示している。

通信半径の増加に対して、資源ブロッキング確率が増加する要因は 2 つ考えられる。まず、通信半径の増加に対するチャンネル競合ノードの増加である。図 7 は通信半径の増加に対して、あるノードから 1 ホップ近隣ノード数、2 ホップ以内の近隣ノード数の平均値

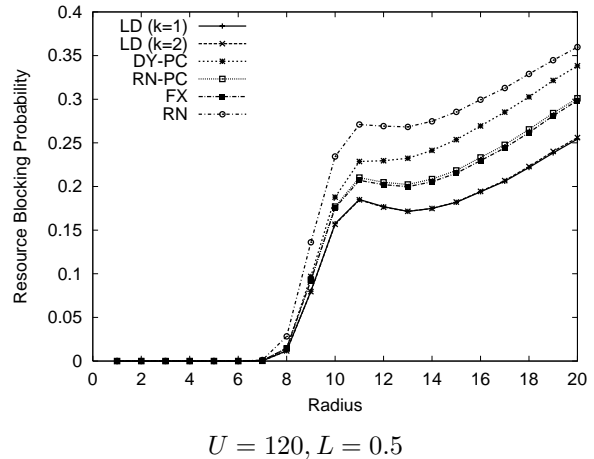
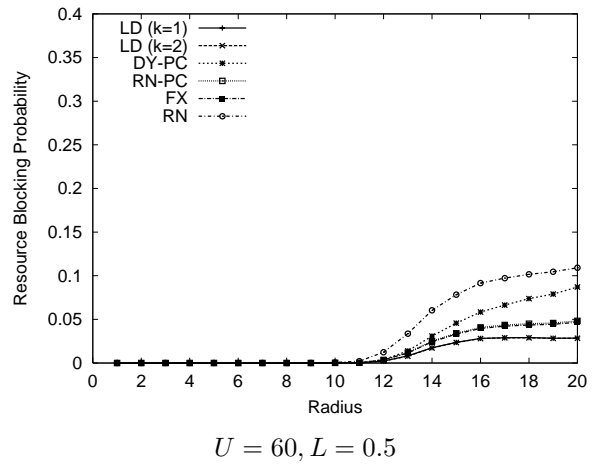


図 6: 資源ブロッキング確率 (シナリオ 2)

の推移を表したグラフである。通信半径の増加にともなって、チャンネル競合ノードである 2 ホップ以内の近隣ノードが増加しているのがわかる。

2 つ目の要因としては、通信半径の増加に対する通信経路発見確率の増加である。図 8 は、各ノード数のネットワークにおける、通信半径と通信経路発見確率の関係を表したグラフである。通信半径の値が小さいときには、通信経路発見確率が低いため、通信経路発見の段階で接続要求が棄却されることが多い。そのため、チャンネルを使用しているノードが少ないので、各ノードで使用可能チャンネルが多く残っている。一方、通信半径の値が大きいときには、通信発見確率が高いため、チャンネルを使用しているノードが多く、各ノードでの使用可能チャンネルは少ない。以上の二点の要因から、通信半径が高くなるのにもなって、資源ブロッキング確率が高くなる。

最後にシナリオ 3 について述べる。まず、図 8 より、ノード数 60 の場合は通信半径 18、ノード数 120

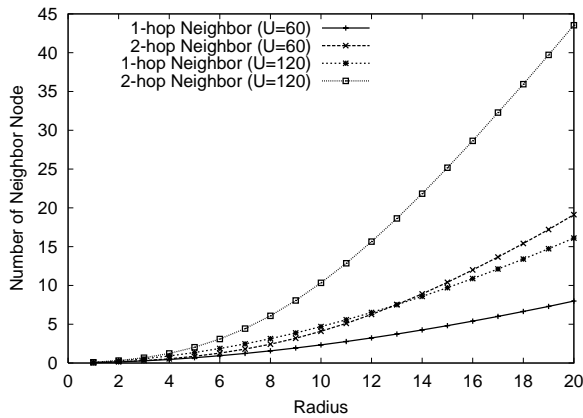


図 7: 近隣ノード数

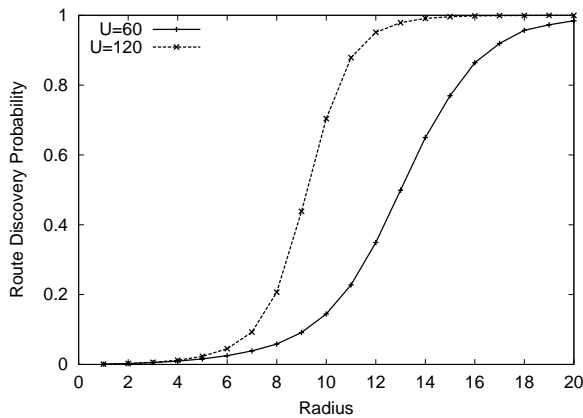
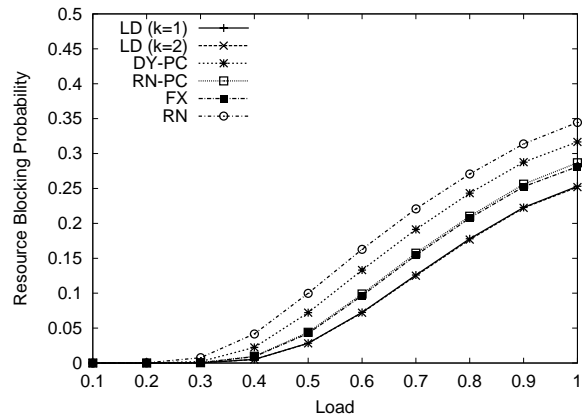


図 8: 通信経路発見確率

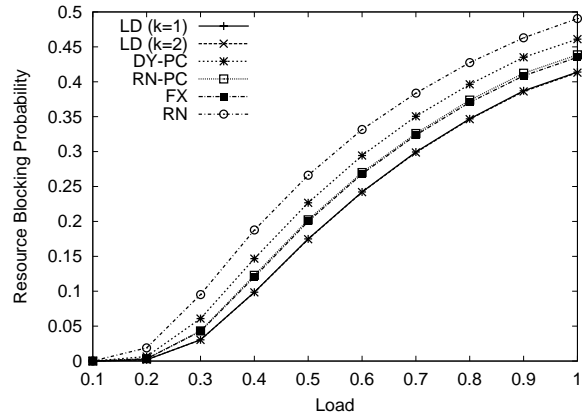
の場合は通信半径 12 で、それぞれ通信経路発見確率が 95% を超えるため、各ノードの通信半径をこれらの値に設定する。図 9 は、シナリオ 3 における、負荷の変化に対する資源ブロッキングの変化を示したグラフである。しかし、図 9 でも、チャンネル選択方式による性能差が確認できる。最も低い資源ブロッキング確率は LD 方式であり、RN 方式よりも約 10% 低い資源ブロッキング確率を示している。このことから、送信電力の調整を取り入れた場合でも、LD 方式を適用することで、さらにチャンネルの再利用性を向上させることができることがわかる。

6 結論

本研究では、複数チャンネルを持つアドホックネットワークにおいて、チャンネルの再利用性の向上を図るチャンネル選択方式を提案し、シミュレーション手法を用い



$U = 60, R = 18$



$U = 120, L = 12$

図 9: 資源ブロッキング確率 (シナリオ 3)

て、それらの性能評価を行った。その結果から、LD 方式が最も性能がよく、RN 方式と比較して、資源ブロッキング確率が 10% も低いことがわかった。また、LD 方式においては、 $k = 1$ と $k = 2$ の場合で、資源ブロッキング確率の差は無視できる程度であった。さらに、移動局の送信電力の調整を取り入れた場合でも、LD 方式はチャンネルの再利用性の向上に対して効果的であることがわかった。今後の課題としては、コントロールチャンネルでの衝突、干渉量と伝送速度の関係などを考慮に入れたシミュレーション実験を行い、チャンネル利用率の観点から従来方式と比較することが考えられる。

謝辞

本研究は筑波大学学内助成研究 (A) の助成を受けた。

参考文献

- [1] Vaduvur Bharghavan, Alan J. Demers, Scott Shenker, and Lixia Zhang. MACAW: A media access protocol for wireless LAN's. In *Proc. SIGCOMM*, pp. 212–225, 1994.
- [2] Limin Hu. Distributed code assignments for CDMA packet radio networks. *IEEE/ACM Transactions on networking*, Vol. 1, No. 6, pp. 668–677, December 1993.
- [3] Nitin Jain, Samir R. Das, and Asis Nasipuri. A multichannel MAC protocol with receiver-based channel selection formultihop wireless networks. In *Proc. IEEE International Conference on Computer Communication and Networks*, 2001.
- [4] Phil Karn. MACA - A new channel access method for packet radio. In *Proc. AARU/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference*, pp. 134–140, 1990.
- [5] Asis Nasipuri, Jun Zhuang, and Samir R. Das. A multichannel CSMA MAC protocol for mobile multihop networks. In *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 1402–1406, 1999.
- [6] Chai-Keong Toh. *Ad Hoc Mobile Wireless Networks : Protocols and Systems*. Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [7] Asimakis Tzamaloukas and J. J. Garcia-Luna-Aceves. A receiver-initiated collision-avoidance protocol for multi-channel networks. In *Proc. INFOCOM*, pp. 189–198, 2001.
- [8] 浅見重幸, 吉田成志, 安久正鉦. RTS・CTS を用いたデータバーストごとの動的チャネル割当て DCA/DB 方式の提案. 電子情報通信学会誌, Vol. J85-B, No. 7, pp. 1051–1060, July 2002.
- [9] 蓮池和夫, Somprakash Bandyopandhyay, 植田哲郎. アドホックネットワークの技術的課題. 電子情報通信学会誌, Vol. J85-B, No. 12, pp. 2007–2014, November 2002.
- [10] 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司. アドホックネットワーク. 電子情報通信学会誌, Vol. 84, No. 2, pp. 127–134, February 2001.