

マルチホップ無線網における いくつかの移動パターンと連結性の関係について

白井 佑子[†] 中野 敬介^{††} 仙石 正和^{††} 篠田 庄司^{†††}

[†]新潟大学大学院自然科学研究科 950-2181 新潟市五十嵐2の町 8050 番地

^{††}新潟大学工学部 950-2181 新潟市五十嵐2の町 8050 番地

^{†††}中央大学理工学部 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

E-mail: †yshirai@net.ie.niigata-u.ac.jp, ††{nakano,sengoku}@ie.niigata-u.ac.jp,
†††shinoda@elect.chuo-u.ac.jp

あらまし 本報告では、端末の移動がマルチホップ無線ネットワークの連結性に与える影響を明らかにすることを目的とする。ここでは、具体的なネットワークとしてマルチホップ無線通信技術を適用したセルラシステムを考え、端末がデッドスポットに入った後、ある時間内に基地局とのマルチホップ無線回線を失う確率や、失うまでの時間、再び回線が現れるまでの時間等の連結性に関する性質を考える。いくつかの移動パターンを考え、移動パターンの違いによるこれらの性質に対する影響を考察する。

キーワード マルチホップ無線ネットワーク、セルラ方式、移動

On relation between some mobility patterns and connectivity in multi-hop wireless networks

Yuko SHIRAI[†], Keisuke NAKANO^{††}, Masakazu SENGOKU^{††}, and Shoji SHINODA^{†††}

[†] Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2-8050, Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

^{††} Faculty of Engineering, Niigata University, 2-8050, Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

^{†††} Faculty of Science and Engineering, Chuo University, 1-13-27, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

E-mail: †yshirai@net.ie.niigata-u.ac.jp, ††{nakano,sengoku}@ie.niigata-u.ac.jp,
†††shinoda@elect.chuo-u.ac.jp

Abstract The purpose of this report is to make effects of mobility on performance of multi-hop wireless network clear. This report pays attention to cellular networks with multi-hop networking, which is a countermeasure to the dead spot problem. This report considers the probability that a mobile node in a dead spot loses connection to the base station within some time period after entering a dead spot. This report also considers how long mobile nodes are connected to base station, and disconnected to base station. Performance is evaluated for some different mobility patterns, and the effects of difference between the mobility patterns on the performance of multi-hop wireless networks are discussed.

Key words Multi-hop wireless network, Cellular system, Mobility

1. まえがき

今日、移動端末を用いた通信が盛んに行われ、新しい通信技術としてマルチホップ無線通信にも注目が集まっている。現行のセルラ方式ではサービスエリア全域がセル（基地局）により被覆されている事が前提となるが、建物の影や地下などには

電波が届かない領域（デッドスポット）が発生することもある。デッドスポット問題を改善する方法の1つとしてセルラ方式に前述のマルチホップ無線通信を適用したネットワークが検討されている[1]。マルチホップ通信では各移動端末が端末間直接通信を行いながら、他の端末の中継により通信を確立する。デッドスポットに存在する端末が、基地局との間にマルチホップ無

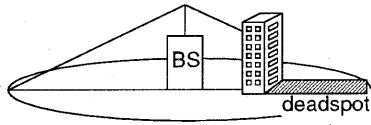


図1 デッドスポット

線回線を構築することで、デッドスポット問題が改善されることがシミュレーションにより確認されている[1].

マルチホップ無線通信を利用したネットワークにおいて、端末が移動する場合には端末間の距離が時間的に変化する。それに伴い、ネットワーク構造も刻々と変化する。例えば、移動端末 mn_0 がデッドスポット内に存在し、マルチホップ無線回線を介して基地局と通信していたとする。しかし、 mn_0 や中継端末の移動によっては mn_0 と基地局とを接続するマルチホップ無線回線が全くなることがある。よってマルチホップ無線ネットワークの連結性には端末の空間的な分布や密度、端末の移動パターンに大きく依存することが容易に予想できる。

本報告では、ネットワークの連結性と移動の関係に着目して考察を行う。連結性の指標として、次の3つを考察する。

(1) マルチホップ無線回線が全くなくなる確率

移動端末 mn_0 がデッドスポットに入った後、ある時間 t の間に基地局とのマルチホップ無線回線が全くなり Call Dropping が起こる確率 (Call Dropping Probability) を考える。以下、 CDP と略する。

(2) 端末と基地局が連結状態を保つ時間

(3) 端末と基地局が非連結状態である時間

mn_0 が基地局とマルチホップ回線で通信している時、移動により基地局との間にマルチホップ無線による通信回線が全くなり無くなる可能性がある。また、その後の移動で基地局までの回線が現れる場合もある。ここでは、移動端末 mn_0 がデッドスポット内でマルチホップ無線回線を介して基地局と通信できる状態を連結状態、回線が全く無い状態を非連結状態と呼ぶことにする。 mn_0 はデッドスポットを通過する間に自身や中継端末の移動によって連結状態と非連結状態を何回か繰り返す。 i 回目の連結状態から非連結状態になるまでの時間、つまりマルチホップ無線回線が連結状態を保つ時間を T_i で表し、平均値を $E\{T_i\}$ で表す。同様に、 i 回目の非連結状態から連結状態になるまでの時間、つまりマルチホップ無線回線が非連結状態を保つ時間を T'_i で表し、平均値を $E\{T'_i\}$ で表す。

これまでの研究では CDP について、中継端末を移動速度と進行方向により2種類に分けた場合だけを考え、理論解析やシミュレーションによりその特性を明らかにした[2], [3]。しかし、実際には移動端末の移動速度が2種類以上であることが予想される。そこで本報告では、中継端末の速度がある範囲内のランダムな値である場合の解析を行う。

また、 T_i 、 T'_i については、[4]において $E\{T_1\}$ 、 $E\{T_2\}$ の理

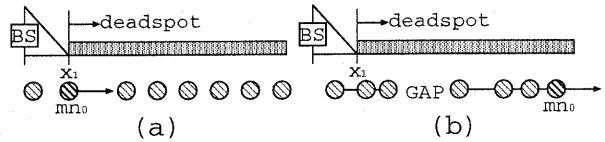


図2 考察モデル

論解析、 $E\{T'_1\}$ の下限の理論解析を行った。ここでは $E\{T_3\}$ 、 $E\{T_4\}$ 、... の性質と $E\{T'_i\}$ の実際の値を[4]の結果と合わせて考える。

2. 仮定

以下のような仮定を基に考察をすすめる。デッドスポットは道路に沿って存在するとする。図2の様に基地局の電波は x_1 まで到達する。したがって、 x_1 より右側はデッドスポットになっている。図2(a)において、 mn_0 は右に向かって速度 v で移動している。今、 x_1 に位置し、デッドスポットに入ろうとしている。この時刻において端末群は密度 λ のポアソン分布に従っていると仮定する。

中継端末の移動方向は右か左か静止しているかのどれかである。端末 mn_i はある速度 v_i で移動するが、移動中の速度は変化しない。

端末間直接通信可能な範囲を d とする。端末間の距離が d を超えると端末間直接通信ができない。この場所をギャップと呼ぶ。図2(b)のように mn_0 と基地局の間にギャップができると基地局と通信するためのマルチホップ無線回線は全くなり無くなってしまふ[2], [3].

3. Call Dropping Probability: CDP

この章ではマルチホップ無線回線が全くなり無くなる確率と端末の移動パターンとの関係について考察する。ここでは、 $t = 10.0$ 、 $d = 1.0$ 、 $v = 1.0$ とする。 mn_0 と逆方向に移動している中継端末の速度には“-”をつけて表記する。また、2種類の移動速度を考える場合には各速度を“,”で区切り、ランダムに与えた場合は相対速度が最大となる速度の対を“~”でつなぐように表記する。

3.1 mn_0 を追い越す中継端末が無い場合

この節では、 mn_0 より遅い速度で移動している中継端末または、 mn_0 と逆方向に移動する中継端末が存在する状況について CDP の解析を行う。

[2], [3] において CDP を考える際、取り上げられてきた典型的な例は中継端末を mn_0 と同方向に速度 v で移動するものと mn_0 と逆方向に速度 v で移動するものに分ける場合である。この例の CDP については、理論的に求めることができる[2], [3]。冒頭でも述べたように実際には中継端末の速度が v と $-v$ だけでなく、2種類以上になることが考えられる。ここでは、 $-v \sim v$ をランダムに与えた場合の CDP をシミュレーションから求め、 v や $-v$ 以外の速度をもつ中継端末の存在が CDP に対してどのような影響を与えるのかを考える。図3に示した2つの特性を比較すると類似し、目立った変化が現れな

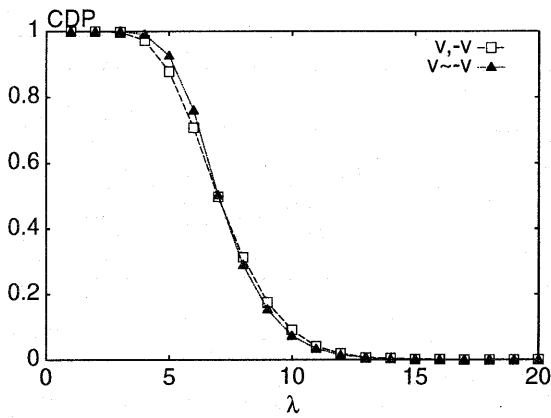


図3 $v, -v$ と $-v \sim v$ のCDP

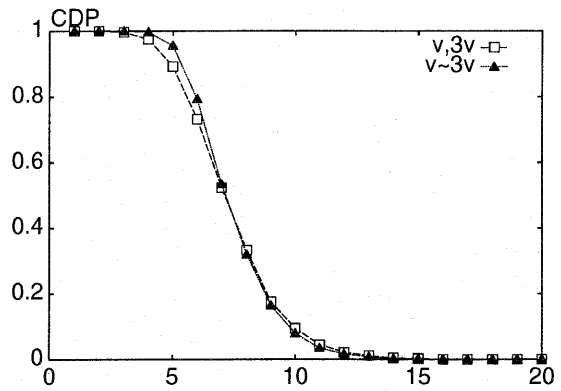


図5 $v, 3v$ と $v \sim 3v$ のCDP

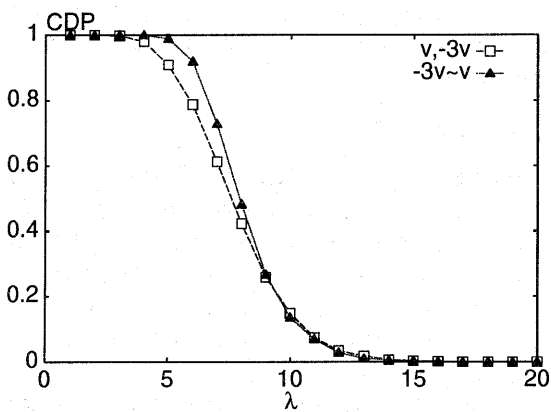


図4 $v, -3v$ と $-3v \sim v$ のCDP

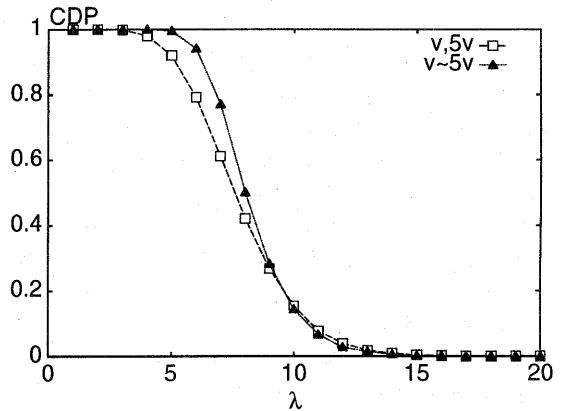


図6 $v, 5v$ と $v \sim 5v$ のCDP

いことが分かる。よって、 $-v \sim v$ の速度で移動する中継端末があっても理論解析手法を用いてCDPを推定できることが分かる。

次に $v, -3v$ と $-3v \sim v$ のCDPの特性について考える。結果を図4に示す。2つの特性には低密度の領域で違いが見られる。ランダムに割り当てる速度の範囲を広げると中継端末同士の相対速度が大きくなる可能性が高くなる。相対速度が大きくなれば、CDPは悪化する事が分かっている[2],[3]。低密度領域ではその影響が現れ、図4のような特性の違いになったと考える。この場合には、上記の理論解析手法の値は危険側の近似となることに注意する必要がある。

3.2 mn_0 を追い越す中継端末のみの場合

この節では中継端末が mn_0 より高速で、 mn_0 を追い越す場合を考える。図5から分かるとおり、相対速度がそれほど大きくない場合は $v, 3v$ の特性と $v \sim 3v$ の特性が類似する。前節でもそうであったように、相対速度が大きくなれば図6に示すとおり低密度領域でCDPの悪化が生じる。

ここで考えた移動パターンの場合、数値計算からCDPを求めることはできないが、相対速度が同じであれば中継速度が逆

方向に移動する場合(静止している場合を含む)のCDPと近い値になる事が分かっている[2]。(図3と図5または図4と図6を比較すれば分かる。)この性質を利用することで、この節の移動パターンについても数値計算によってCDPの推定を行うことができると思う。

4. 連結時間と非連結時間

この章では連結状態を保持する時間、非連結状態である時間と移動パターンの関係について考察する。デッドスポットは非常に大きいと仮定する。 mn_0 と同方向、同速度 v で移動する端末群を $M1$ で表す。その他の端末群は静止しておりこれらを $M2$ で表す。 $M1$ の密度を $\frac{1}{2}$ 、 $M2$ の密度を $\frac{1}{2}$ とする。

4.1 連結時間

連結状態を保持する時間について考える。最初の連結状態平均時間 $E\{T_1\}$ は、

$$E\{T_1\} = \frac{4(e^{\frac{\lambda}{2}d} - 1)}{\lambda v} - \frac{2d}{v} \quad (1)$$

2回目の連結状態の平均時間 $E\{T_2\}$ は、

$$E\{T_2\} = \frac{(e^{\frac{\lambda}{2}d} - 1)}{\lambda v} \quad (2)$$

表 1 実時間環境の設定

端末間直接通信可能な範囲	$d = 10.0m$
mn_0 の速度	$v = 1.54m/s$ (通勤中の歩行者の平均歩行速度 [5])

表 2 実時間環境での連結時間を非連結時間

端末の密度	$E\{T_1\}$	$E\{T_i\}$ の下限値	$E\{T_2\}$
3 端末/10m	17.16s	8.66s	7.54s
$\lambda = 0.3$			

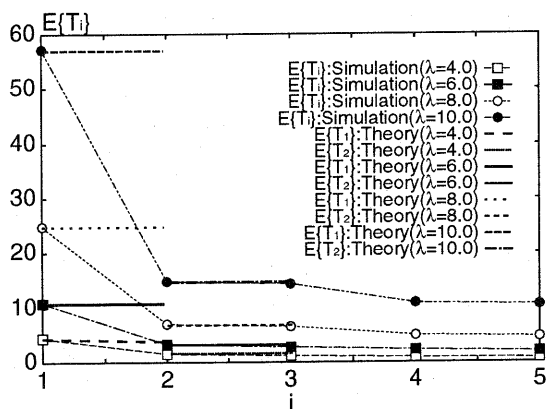


図 7 連結時間

によって導くことができ、これらの式から $E\{T_2\}$ が $E\{T_1\}$ よりも、どのように減少するかは分かっている [4]。ここでは $E\{T_3\}$ 以降の値について考える。

図 7 にシミュレーションから求めた $E\{T_i\}$ と (1) 式, (2) 式から求めた理論値を示す。ただし、 $d = 1.0$, $v = 1.0$ である。式からもわかるとおり、 $E\{T_1\}$ に対して $E\{T_2\}$ は小さくなる。またシミュレーション値から $E\{T_3\}$, $E\{T_4\}$, ... とさらに減少して行くことが分かる。

4.2 非連結時間

非連結状態である時間について考える。非連結状態の平均時間 $E\{T_i^{\prime}\}$ の下限値は、 $\frac{4}{\lambda v}$ となる [4]。

図 8 にシミュレーションから求めた $E\{T_i^{\prime}\}$ と下限値を示す。 λ が大きくなるにつれ $E\{T_i^{\prime}\}$ は下限値とほぼ一致することが見てとれる。しかし、 λ が小さい場合、 $E\{T_i^{\prime}\}$ が下限値より大きな値をとり、 i が増すに従って増加することが分かる。

特に $\lambda = 4.0$ の場合は明らかに $i = 2$ 以降の非連結時間が連結時間よりも長くなっている。通信している時間より切断されている時間が長くなるということは遅延、情報損失の大きな原因になると考えられる。このような場合が存在するというこ

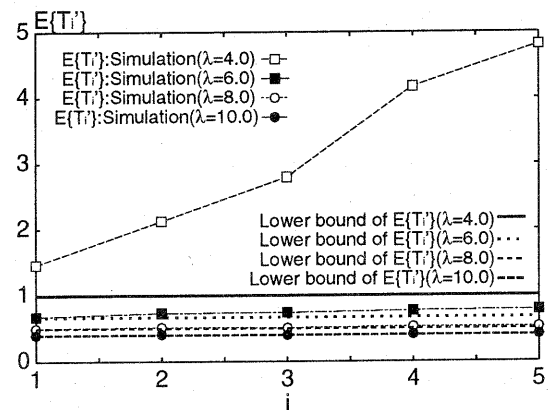


図 8 非連結時間

から、状況に応じて直接通信範囲 d を慎重に設定する必要があることがわかる。

ここで、実時間環境での考察を行う。表 1 に環境の設定を示す。式 (1), 式 (2), $E\{T_i^{\prime}\}$ の下限値に表 1 の値を代入した結果を表 2 にまとめた。表 2 から分かるように、 $\lambda = 0.3$ の場合は 1.7 秒程度しか通信ができない。再び通信ができるようになるまで 8 秒かかり、できたとしてもほんの数秒しか通信できない事になる。

5. あとがき

本報告ではマルチホップ無線通信のネットワーク構造を評価するために CDP, 連結時間, 非連結時間の 3 つを用いた。マルチホップ通信を考える際、通信経路が常に存在する事が前提になっている場合が多い。本報告はその前提を確立するための必要事項を洗い出すことを目標として解析を行ってきた。

CDP については [2], [3], [4] で得られた結果を他の状況にも利用できることが分かった。

連結時間や非連結時間の特性については、連結状態と非連結状態の繰り返し方などマルチホップ無線回線の時間的な変化の様子が考察できた。中継端末として 1 つのパターンのみに対して行ったので、さらなる考察が必要であると考え。

文 献

- [1] G. N. Aggelou et al., "On the relaying capability of next-generation GSM cellular networks," IEEE Personal Communications, pp.40-47, Feb. 2001.
- [2] 中野敬介, 白井佑子, 仙石正和, 篠田庄司, "マルチホップ無線網におけるノードの移動とコネクティビティに関する考察," 信学技報 CQ2002-2, pp.7-12, April. 2002.
- [3] Keisuke Nakano, Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda, "Effect of Mobility on Connectivity of Mobile Multi-hop Wireless Networks," 2002 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2002-Spring) Proceedings, May. 2002.
- [4] 中野敬介, 白井佑子, 仙石正和, 篠田庄司, "マルチホップ無線網における連結性と移動の関係に関する考察," 2002 年電気通信情報学会通信ソサイエティ大会, SB-3-5, Sept. 2002.
- [5] 河上省吾, 松井寛, "交通工学," pp.101, 森北出版, 東京, 1994.