

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21700076  
 研究課題名(和文) 無線ネットワークシミュレーションを対象としたユーザモビリティモデルに関する研究  
 研究課題名(英文) Node Mobility Model for Wireless Network Evaluation  
 研究代表者  
 廣森 聡仁 (HIROMORI AKIHITO)  
 大阪大学・大学院情報科学研究科・助教  
 研究者番号：90506544

## 研究成果の概要(和文)：

モバイルワイヤレスネットワークにおいては、ノードの移動が通信プロトコルやアプリケーションの性能に大きな影響を与えることが知られており、様々な移動特性がネットワーク性能に与える影響について、網羅的に評価できることが望まれる。本研究では、移動特性の一つであるノード密度分布に着目し、ネットワーク性能に対するノード密度分布の影響を評価するために、様々なノード密度分布を実現し、かつそのノード密度分布を維持し続けることができる Waypoint モビリティモデルを生成する手法を提案する。

## 研究成果の概要(英文)：

In mobile wireless networks, node mobility has a great impact on performance of communication protocols and applications. In this paper, in order to evaluate the impacts of node density distribution on network performance, we propose a new method to generate a waypoint mobility model that realizes various node density distributions and maintains them. We have also shown this feature is valuable for elaborate performance evaluation of mobile wireless networks.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：モビリティ、シミュレーション、無線ネットワーク、性能評価

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ユビキタス社会の実現を目指した様々な研究開発が進められており、特に、根幹部分となる無線ネットワークの役割がより一層重要視されている。例えば、携帯電話ネットワークにおいては、i-mode等に代表されるデータ通信は年々増加し、さらに、

iPhone や Android 携帯など高機能なスマートフォンの登場により、より多彩なアプリケーションにも応えられる多様な無線通信環境が求められている。

無線ネットワークにおいては、通信端末を保有するユーザが移動するため、ユーザの移動の程度や傾向により、通信容量や通信遅延などネットワーク性能は大きく変化する。そ

のため、無線ネットワークを使用するアプリケーションを開発する際、人や車の現実的な移動特性に基づき、無線ネットワークの設計や性能解析を行う必要がある。

モビリティによる影響を適切に評価できるように、性能評価に用いるモビリティモデルについて様々な研究が為されている。それらの研究の多くは、現実世界でのユーザの動きを反映できるように、個々のユーザの行動を詳細に考慮したモビリティモデルを提案している。例えば、複数のユーザを互いに近くに配置し、同じ目的地に向かわせることで集団の移動を再現するモデルや、地図データから抽出した道に沿って移動させることで現実世界に即した移動範囲を定めるモデルなどが提案されている。また、そのモビリティモデルにより得られた移動軌跡のもとで、無線ネットワーク上のアプリケーションに対し性能評価を行い、細かなユーザ行動を導入することにより、現実的な性能評価が実現できていることを示している。しかしながら、評価対象となる無線ネットワーク、アプリケーション、地域などで考慮すべきユーザ行動は異なるため、様々な状況を包括的に扱えるようなモビリティモデルが求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では、無線ネットワークにおけるモビリティの影響を適切に評価できるように、個々のノード移動から生じ、ノード全体もしくはノードの一部を対象として観測できるような移動特性、特にノード密度分布に着目し、それらを任意の状態に誘導するモビリティモデルを確立する。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず、Weighted Way Point モビリティモデルを拡張し、様々なノード密度分布を実現する Waypoint モビリティモデルを生成する手法を考案した。この手法では、ノードの移動とノード密度分布の関係性を解析し、指定されたノード密度分布を実現するだけでなく、そのノード密度分布を維持し続けることができるノード移動の重み付けを導出している。具体的には、既存のモビリティモデルに基づき、ユーザの目的地を意図的に操作することで、目的とする移動特性状態へと誘導している。また、この手法を拡張し、任意のノード密度分布を生成するだけでなく、指定されたノード密度分布を維持しつつ、移動方向とその移動方向に移動するノードの割合を領域毎で指定可能なモビリティモデルを考案した。

## 4. 研究成果

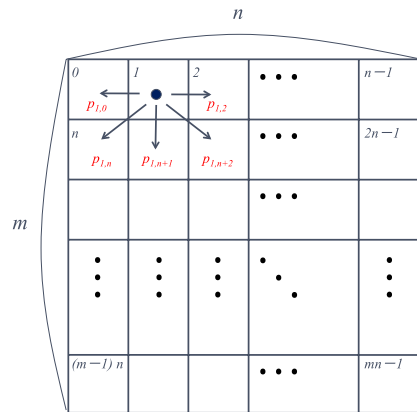


図1. 提案方式におけるシミュレーション領域と移動確率によるノード移動

提案方式では、図1のように、シミュレーション領域は、複数のセルに分割されているものとし、各ノードはセル内から目的地を選択し、その目的地に向かって一定速度で直線移動を行う。また、ノードは目的地に到着すると、その目的地に一定時間停止した後、新たに別の目的地を選択し、再びその目的地に向かって直線移動を行う。このとき、あるセルから出発しようとするノードが、別のセルを目的地セルとする確率を移動確率とする。この移動確率に基づき、ノードの移動を数式により表すことにより、移動確率に基づき移動する限り、いかなる移動確率であっても、ノード密度分布について定常状態が存在することを示した。また、このモビリティモデルに対し、ある移動確率が与えられたとき、その移動確率によりノードを移動させ、定常状態に到達した時のノード密度分布を導出する方法を考案した。さらに、指定されたノード密度分布を実現し、かつそのノード密度分布を維持し続けることができる移動確率を導出する問題を、指定されたノード密度分布と提案手法において実現されるノード密度分布の差を最小にするような移動確率を決定する最適化問題として定式化する。この問題は非線形制約を含むため、効率的に解を導出するためのヒューリスティックなアルゴリズムを提案した。

評価実験では、提案手法により、ノードが均一に散らばっている状況、ノード密度の高い領域や低い領域が交互に並んでいるような状況など、様々なノード密度分布を生成した。図2に示すように、提案方式により、多様なノード密度分布が生成できていることがわかる。また、生成されたノード密度分布を利用し、MANETのルーティングプロトコルAODVを対象とした評価実験を行った。評価実験では、ノード間で転送されたパケット数をセル毎で集計することにより、ルーティン

グプロトコルにより構築される経路の傾向を調査した。図3に、各ノード密度分布におけるパケット数を示す。これらの結果から、AODVにおいては、ノードが多いセルに経路が構築されていることがわかる。また、ノード密度が一律な場合には、ノードが周辺のセルに止まる頻度が高いために、周辺セルに経路が構築されていることがわかる。このように、提案手法により、ノード密度分布の違いがネットワーク性能に与える影響を簡単に評価することができる。この研究成果は、アドホック・ネットワーク分野で著名な国際会議 MASS 2011 に採録されている。

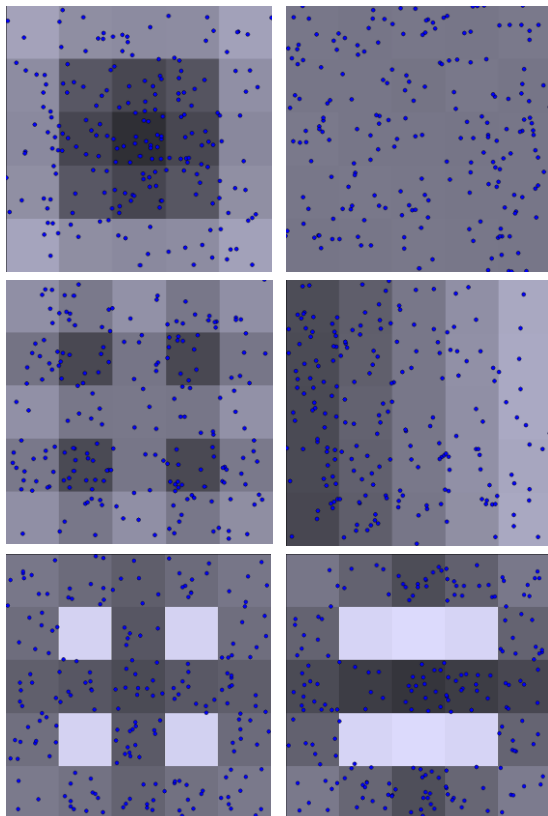


図2. 提案方式により実現されたノード密度分布

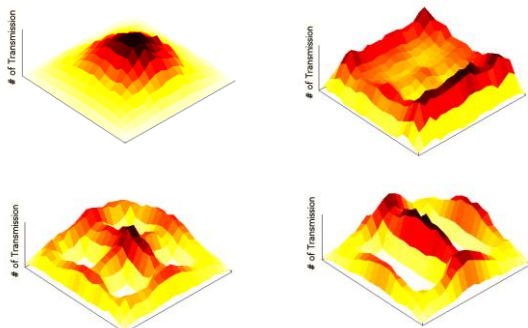


図3. 各セルにおけるパケット通過数

次に、提案するモビリティモデルを発展させ、任意のユーザ密度分布を生成するだけで

なく、指定されたユーザ密度分布を維持しつつ、移動方向とその移動方向に移動するユーザの割合をセル毎で指定可能なモビリティモデルを考案した。この手法においても、あるセルから別のセルに移動するユーザの割合を移動確率で表し、その確率に基づきユーザが移動するモデルを採用している。このモビリティモデルにおいて、移動方向毎でユーザの割合を指定できるよう、あるセルにおいてある移動方向に移動するユーザを移動確率により表し、指定された移動方向毎のユーザの割合を満たすような移動確率を決定する非線形計画問題として定式化した。この非線形計画問題を解くことにより、ユーザ密度分布が同じで、移動方向が異なるモビリティを多数生成できることを示した。

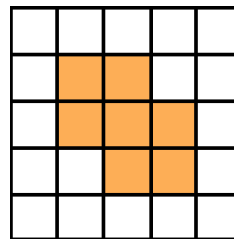


図4. 移動方向制約を与えるセル

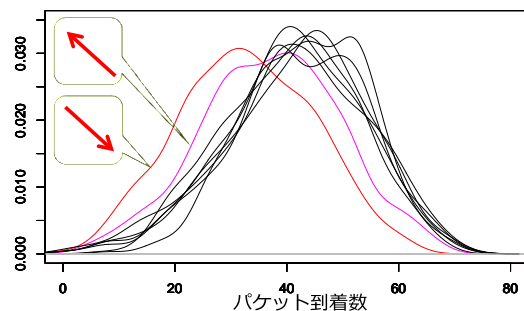


図5. 移動方向制約毎のパケット到着数分布

また、このモビリティモデルを利用し、AODVに対する性能評価試験を行なった。この性能評価試験では、図4に示す色付のセル上を移動するノードは、ある方向にのみ移動するよう制限し、左上に位置するノードから右下に位置するノードへパケットを送信した際のパケット到着数を測定した。この評価実験では、送信ノードと受信ノードの位置関係から、左上から右下方向に経路が確立される。図5に移動方向制約毎のパケット到着数分布を示す。この図から、左上から右下方向及び右下から左上方向にノードが移動する事例では、他の例と比較し、パケット到着数が低いことがわかる。これらの事例では、経路の順方向及び逆方向にノードが移動するため、次の転送先となるノードが通信範囲から離脱し、経路の再構築が頻繁に発生するため、パケット損失が多くなっていた。このように、

提案するモビリティモデルにより、ノードの移動によるネットワークの影響を多方面から影響できることを示した。

さらに、この性能評価試験においては、ノードの移動方向とその割合の全てのパターンに対して試験を実施するのではなく、ネットワーク性能に影響を与える移動方向を機械的に発見する方法を提案し、ネットワーク性能に与えるモビリティ特性を効率的に発見できることを示している。これらの研究成果の一部を情報処理学会 DICOMO 2011 シンポジウムで発表し、最優秀論文賞を受賞している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 上野 瑛次郎, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "任意のノード密度分布を実現可能な Waypoint モビリティモデルの提案", 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 1, pp. 232-242, 2012.

2. Ei jiro Ueno, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, "A Simple Mobility Model Realizing Designated Node Distributions and Natural Node Movement", The 8<sup>th</sup> IEEE Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2011), 査読有, pp. 302-311, Oct. 2011.

3. Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, "Modeling and Evaluation of Rescue Operations Using Mobile Communication Devices", The 19<sup>th</sup> Annual Meeting of the IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2011), 査読有, pp. 188-196, Jul. 2011.

[学会発表] (計 5 件)

1. 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "モバイルワイヤレスネットワークに影響を与えるノード移動制約特定手法の提案", 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp. 1367-1375, 2011 年 7 月 8 日, 京都府 (最優秀論文賞)

2. 上野 瑛次郎, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "ネットワーク性能に対するノード密度分布の影響を評価するためのモビリティ生成手法", 情報処理学会研究報告. MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス

通信研究会研究報告], 2010-MBL-56, pp. 1-8, 2010 年 11 月 12 日, 兵庫県 (優秀論文)

3. 上野 瑛次郎, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "多様なノード移動制約と地理制約を指定できる Waypoint モビリティモデルの提案", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, pp. 1775-1782, 2010 年 7 月 9 日, 岐阜県

4. 上野 瑛次郎, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "目的地選択の公平性と指定されたノード密度分布を実現する移動モデルの提案", 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信, 109(441), pp. 7-12, 2010 年 3 月 3 日, 神奈川県

5. 上野瑛次郎, 前田久美子, 廣森 聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, "指定されたノード密度分布を実現する移動モデルの生成手法", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, pp. 1084-1093, 2009 年 7 月 9 日, 大分県

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

廣森 聡仁 (HIROMORI AKIHITO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号 : 90506544