

LP手法を用いた都市歩行者モビリティモデルの形成

前田久美子[†] 佐藤 和基[†] 山口 弘純[†] 安本 慶一^{††} 東野 輝夫[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

〒 630-0192 生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{k-maeda,kz-satou,h-yamagu,higashino}@ist.osaka-u.ac.jp, ††yasumoto@is.naist.jp

あらまし ネットワークシミュレーションにより MANET アプリケーションの正確な評価を行うには、より現実的なモビリティモデルが必要とされている。本稿では都市における歩行者の行動に焦点を当て、Urban Pedestrian Flows (UPF) と呼ばれる新たなモビリティモデルを提案する。提案手法では、観測された道路の密度から各経路をたどる歩行者の単位時間当たりの発生数を導出する。いくつかの実験を通し、導出された歩行流と観測値との類似性を示すとともに、モビリティを特徴付けるいくつかのメトリクスを示す。

キーワード モビリティモデル, モバイルアドホックネットワーク, シミュレーション

Modeling Urban Pedestrian Flows with Linear Programming Techniques

Kumiko MAEDA[†], Kazuki SATO[†], Hirozumi YAMAGUCHI[†], Keiichi YASUMOTO^{††},

and Teruo HIGASHINO[†]

[†] Graduate School of Info. Sci. & Tech., Osaka Univ., Japan

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

^{††} Graduate School of Info. Sci., Nara Institute of Sci. & Tech., Japan

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

E-mail: †{k-maeda,kz-satou,h-yamagu,higashino}@ist.osaka-u.ac.jp, ††yasumoto@is.naist.jp

Abstract In order for precise evaluation of MANET applications, more realistic mobility models are needed in wireless network simulations. In this paper, we focus on the behavior of pedestrians in urban areas and propose a new method to generate a mobility model called *Urban Pedestrian Flows* (UPF). In the proposed method, we derive how many pedestrians per minute follow each flow from the survey of road density. Through several case studies, we show similarity of the derived flows to the observed ones as well as the metrics that characterize the mobility of the scenario.

Key words Mobility Model, Mobile Ad-hoc Network, Simulation

1. まえがき

近年の計算機システムのユビキタス化や無線技術の普及に伴い、移動通信端末がアクセスポイントなどを用いずに自立的に分散、協調して通信するモバイルアドホックネットワーク (MANET) の研究が盛んに行われている。効率の良い MANET システムを設計するためには性能評価が必要となるが、現実世界において大規模かつ現実的な実験を行うことはほとんど不可能に近い。そのため MANET の性能評価にはネットワークシミュレータが用いられることが多い。近年、MANET シミュ

レーションの現実性を高めるために、様々なモバイルノードの移動モデル (モビリティモデル) が提案されている [1]~[3]。

ここで、現実的な移動モデルに近づくための代表的な手法を二つ紹介する。一つ目の手法は Random Way Point (RWP) のような単純なモビリティモデルに改良を加えるというものである。RWP はほとんどのネットワークシミュレータで実装されており、このような単純なモデルを用いることで MANET アプリケーションの解析をある程度簡素化することができる。例えば、文献 [1] では解析的な性質を用いて、目的地をスムーズに変更することができるようにしたモデルを提案している。

二つ目に紹介する手法ではより現実に近いモビリティモデルを生成している [4]~[9]。文献 [4] で提案されている手法では電波を遮断する障害物（建物など）をモデルに取り入れており、ポロノイ図を用いた計算アルゴリズムにより、障害物間を移動するような経路を自動的に生成することができる。文献 [5] では大規模な無線ネットワークに向けたマクロ的なモビリティモデルを提案している。シミュレーション領域を住宅地や繁華街などいくつかのゾーンに区分し、またノードを労働者や消費者などの種類に分類し、ゾーン単位でのユーザ種別毎の密度の変遷を、既存の交通計画手法を用いて推定している。また、文献 [6] で提案されているモデルではカフェや教室のような混雑した領域のセットを定義し、領域ごとの滞在時間の分布や領域間のノードの遷移確率をもとに、マルコフモデルを用いて領域間の移動をモデル化している。しかしながらこの手法はノードの“密度”を現実的に再現することを主な目的としており、現実的な“行動”、すなわち領域の周囲の様々な経路を辿って移動するような歩行者の動きはモデル化されていない。

我々の目的はシミュレーション上で現実の歩行流を再現することであるが、ほぼ完全に再現するためには GPS によるログデータなどの完全な行動のトレースが必要となる。しかしながら、コストやプライバシーなどの様々な理由から歩行流を再現するために必要となる調査は十分に簡単なものでなければならぬのもまた事実である。

そこで本稿では無線ネットワークシミュレーションにおいて、現実の都市の歩行者の動きをシミュレーションするための新たなモビリティモデル Urban Pedestrian Flows (UPF) を提案する。本手法では歩行者を分類し、典型的な行動パターンを経路（以下フローと呼ぶ）として指定する。そして定点観測などの簡単な調査により入手可能ないくつかの道路における歩行者の平均密度をもとに、線形計画法 (LP) を用いて各フローをたどる歩行者の単位時間当たりの発生数を密度の観測値との差が最小になるように求める。LP の解から得られた密度と観測値との差の最大値が十分小さければ、導出された行動パターンは現実の歩行流をおおよそ再現できていると考えられる。そして導出されたフローを用い、ネットワークシミュレータのモビリティシナリオとして UPF シナリオを生成する。本研究では我々の研究グループで開発した MobiREAL シミュレータ [10], [11] で利用可能な UPF シナリオを作成した。いくつかの事例を通し、モビリティの特性を表す指標となるパラメータを計測するとともに、導出されたシナリオと観測結果の類似性を示す。

2. Urban Pedestrian Flows の生成

本章では、都市での歩行者の行動に焦点を当て、Urban Pedestrian Flows (UPF) シナリオを生成する手法を提案する。

2.1 入力

2.1.1 シミュレーション領域

シミュレーション領域には建物などの障害物を表す多角形を指定し、また交差点や駅などの建物の入り口を頂点、道路を辺とした無向グラフ $G = (V, E)$ を指定する。また各辺 $e_{ij} \in E$ に対して、道幅 W_{ij} を指定する。

次に人が発生、消滅する頂点（目的地）の集合 $V' (\subseteq V)$ を定義する。目的地となる頂点には例えば駅、店、地下街への入り口にあたる頂点や、地図の端にあたる頂点などが挙げられる。交差点のように人が通過するだけの頂点は目的地には含まれない。この目的地は後述の歩行流の始点、あるいは終点となる。

2.1.2 歩行者の行動特性（歩行流）

ユーザは典型的な行動パターンを経路（以下フローと呼ぶ）として予測する。例えば、通勤者は駅から発生し別の駅へと向かう、買い物客は駅から発生し一つから複数の店を訪れ、駅へと帰っていくというような行動が考えられる。このような行動を道路の構造グラフ G 上の経路（フロー）の集合 P として与える。各フローは頂点の列として表現され、列の両端は目的地集合 V' に含まれていなければならない。行動パターンを予測するのが困難、あるいは煩雑な場合は、各目的地間の最短経路を求め、それらをフローの集合 P としてもよい。

2.1.3 密度の観測

この手法に必要とされるのはシミュレーション領域におけるいくつかの道路の歩行者の平均密度の調査のみであり、経路に関する歩行者への詳細なアンケートなどは必要ない。密度を観測した辺の集合を $E_M (\subseteq E)$ とし、辺 $e_{ij} (\in E_M)$ の密度の観測値を D_{ij} とする。

2.2 歩行流導出アルゴリズム

このアルゴリズムでは、道路の構造グラフ G 、辺 $e_{ij} \in E$ の幅 W_{ij} 、目的地集合 V' 、目的地間のフローの集合 P 、辺 $e_{ij} \in E_M$ に対する密度の観測値 D_{ij} を入力とし、観測された密度と導出された密度との差を最小とするようなフロー毎の歩行者の発生量を導出する。発生量とはフローの始点において単位時間当たりに生成する歩行者の数と定義する。

道路上の歩行者の密度を d 、道路の通行量（例えば 1 秒間に道路に流入する歩行者数）を g 、歩行者の平均速度を v 、道幅を w とすると、一般に以下の等式が成り立つ。

$$d_{(\text{person}/\text{m}^2)} = \frac{g_{(\text{person}/\text{s})}}{w_{(\text{m})} * v_{(\text{m}/\text{s})}} \quad (1)$$

文献 [12] によると、道路上の歩行者の速度 v はおおよそ密度の逆比例に従うという結果が出ている。ゆえに、

$$v = k * d + v_0 \quad (2)$$

ここで $k < 0$ 、 $v_0 > 0$ である定数とする。また、文献 [12] より、速度 v が 0 に限りなく近づくときの密度 (D_{max} とする) は道路によらずほぼ同じであることがわかっている。よって、式 (2) より以下の式を得る。

$$k * D_{max} + v_0 = 0 \quad (3)$$

従って、不等式 (1), (2), (3) から道幅 w 、密度 d より通行量 g を計算する関数 G を得る。

$$g = G(d, w) = v_0 * w * d * \left(1 - \frac{d}{D_{max}}\right) \quad (4)$$

LP 問題として形式化するため、フロー $p_k \in P$ における歩行者の発生量を表す変数 f_k 、辺 $e_{ij} \in E$ での通行量を表す変

数 g_{ij} を導入する。ここで、フロー p_k は E の部分集合で表される。また、観測された密度から得られる通行量と、 f_k より導出される通行量との差の最大値を表す変数 δ を導入する。

2.2.1 制約式

辺 e_{ij} の通行量は e_{ij} を含む経路の発生量の総和となる。

$$\forall e_{ij} \in E; g_{ij} = \sum_{p_k \in P \wedge e_{ij} \in p_k} f_k \quad (5)$$

次に、以下の不等式を制約式とし、通行量の観測値と導出値との差を δ 以下に制限する。ここで関数 G は式 (4) で定義されたものである。

$$\forall e_{ij} \in E_M; -\delta \leq \frac{G(D_{ij}, W_{ij}) - g_{ij}}{G(D_{ij}, W_{ij})} \leq \delta \quad (6)$$

通行量 g_{ij} は関数 G の性質上、上限が存在する。式 (4) より、

$$\begin{aligned} g_{ij} &= G(d_{ij}, W_{ij}) \\ &= v_0 * W_{ij} * d_{ij} * \left(1 - \frac{d_{ij}}{D_{max}}\right) \\ &= -\frac{v_0 * W_{ij}}{D_{max}} d_{ij}^2 + v_0 * W_{ij} * d_{ij} \\ &= -\frac{v_0 * W_{ij}}{D_{max}} \left(d_{ij} - \frac{D_{max}}{2}\right)^2 + \frac{v_0 * W_{ij} * D_{max}}{4} \end{aligned}$$

を得る。ここで、 v_0, W_{ij}, D_{max} は全て正の定数であるため、制約式として以下の不等式を得る。

$$g_{ij} \leq \frac{v_0 * W_{ij} * D_{max}}{4} \quad (7)$$

2.2.2 目的関数

目的は観測値より得られる通行量と導出値との差の最大値 δ を最小にすることである。ゆえに、目的関数は次のようになる。

$$\min \delta \quad (8)$$

LP を解くことにより、各道路の観測値より得られる通行量と導出値との差の最大値 δ を最小とするような、経路 $p_k \in P$ の歩行者の発生量 f_{ij} を求める。我々は大阪駅前実際に密度を観測して UPF シナリオを作成し、さらに現実の歩行流をいかに正確に再現できたかを調べるため、シミュレーションによる実験を行った。実験結果については 4.3 節で述べる。

なお、歩行流だけでなく車両などによる交通流に対しても、車線を考慮するために道路の構造グラフ G を有向グラフとし、密度、もしくは通行量自体を入力として与え、適切な速度の減衰モデルを適用すれば、本章で述べた手法を用いて同様に作成することが可能であると考えられる。

3. ツールによるシナリオ生成のサポート

我々は UPF シナリオの生成機能を MobiREAL シミュレータ [10], [11] へ実装した。MobiREAL シミュレータは行動シミュレータ、ネットワークシミュレータ、アニメータの 3 つのコンポーネントから構成され、MobiREAL のネットワークシミュレータは米ジョージア工科大学で開発された GTNetS を改造して利用している。アニメータはシミュレーションのトレ

スの視覚化を行う。ノードの動きを可視化することは、モバイルノードの現実的な行動が再現されていることを確認するために極めて重要である。アニメータ実行時の静止画像と動画像は MobiREAL の Web ページ [10] で公開している。

MobiREAL の行動シミュレータへの入力、(i) シミュレーション領域のモデル、(ii) モバイルノードの行動モデル (ミクロモデル)、(iii) シミュレーションシナリオ、の三つから構成されており、我々は (iii) として UPF シナリオを生成した。(ii),(iii) についての詳細な記述は文献 [11] で説明している。また、我々はシミュレーション領域を視覚的に作成できるサポートツール、MobiREAL シナリオジェネレータを作成した。このツールにより開発者は UPF シナリオの入力となる道路の構造グラフや、密度の観測値などを視覚的に指定し、ツールに組み込まれている線形計画問題解法ツール lp_solve [13] を用いて 2. 章で提案された手法に従いシミュレーションシナリオを生成できる。

4. 実験結果

MANET アプリケーションに対する我々のモビリティモデルの影響を評価するために、典型的な MANET ルーティングプロトコル (DSR) について、MobiREAL シミュレータを用いて性能評価を行った。このプロトコルは MobiREAL シミュレータの有用性を示すために、文献 [11] でも用いられている。さらに本稿ではプロトコルやアプリケーションに対するモビリティの影響を表すメトリクスを計測するため、新たな実験を行った。

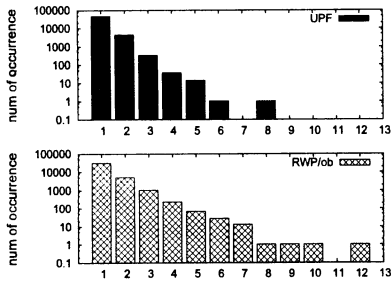
新たに計測したのは、文献 [14] で提案されている、ネットワークポロジグラフの接続性とモビリティに対するメトリクスである。例えば、リンク変更率 (2 つのノード間でリンクが生成された数) やリンク持続率 (2 つのノードが互いに通信可能であった最も長い時間) は DSR の性能に直接的な影響を与え、空間依存度 (2 つのノード間の速度の類似性) や、時間依存度 (ノードの現在の速度と少し時間が経ってからの速度の類似性)、2 つのノード間の相対速度は、例えば車々間アドホックネットワーク [15] における情報配布のように、ノードが一度情報をストアしてから近隣ノードにあるポリシーに従って転送するような情報配布アプリケーションの性能に影響を与える。これらの評価結果については 4.2 節で述べる。

また、4.3 節では UPF モビリティシナリオの現実性について述べる。ここでの現実性とは、現実の道路で観測された歩行者の密度にどれだけ近いものが導出できたかを意味する。UPF シナリオの導出過程を通してその現実性に対する評価を示す。

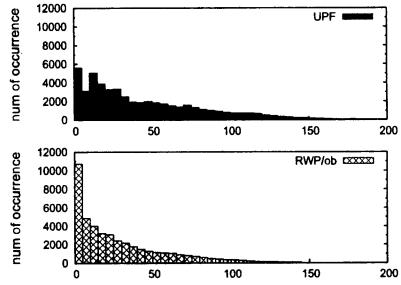
4.1 シミュレーション設定とアプリケーション

シミュレーション領域は JR 大阪駅前の 500m×500m の範囲をモデル化した。約 30 分程度の観測からこの領域のいくつかの道路における歩行者の平均密度を入手し、その値を用いて 2. 章で提案した線形計画問題を解き、得られた UPF シナリオをシミュレーションに用いた。

実験では UPF モビリティと、RWP モビリティを拡張した障害物つき RWP モビリティ (以下 RWP/ob) を用いて性能を計測し、比較を行った。RWP/ob では、各ノードは UPF シナリオに用いられている道路の構造グラフ上を移動し、各交差点で、

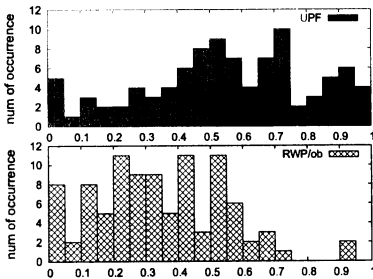


(a) リンク変更率

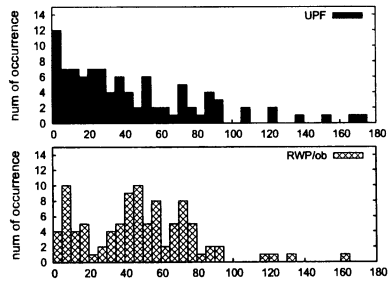


(b) リンク持続率

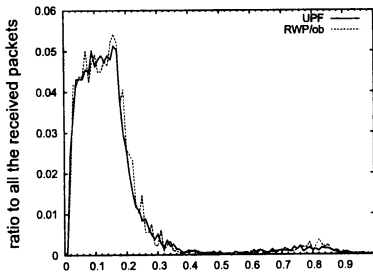
図1 グラフの接続性のメトリクス



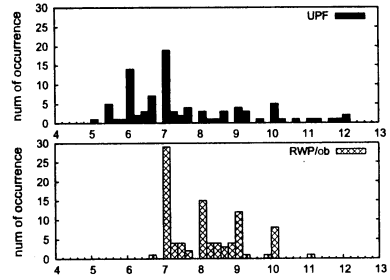
(a) パケット到着率分布 (5 秒毎の平均値)



(b) DSR 制御パケット数分布 (5 秒毎の総発生数)



(c) パケット遅延分布



(d) DSR ホップ数分布 (5 秒毎の平均値)

図2 DSR 性能評価

ノードは次の目的地として隣接する交差点をランダムに選択する。RWP/ob での領域上に存在するノードの総数は、UPF シナリオとおおよそ同じとなるように調整した。

以下に DSR ルーティングプロトコルのシミュレーション結果を示す。シミュレーション時間は 720 秒、通信は UDP を用い、240 秒から 720 秒まで行った。経路が確立されれば、10kbps のトラフィックが 2 人のアプリケーションユーザの間で生成され、対話的リアルタイム通信のシミュレーションを行う。MAC 層は RTS/CTS IEEE 802.11 DCF を用い、各ノードの無線伝播距離は 100m と設定した。

4.2 グラフの接続性とモビリティの特性

4.2.1 グラフの接続性

まず、我々は前述の (i) リンク変更率、(ii) リンク持続率のグラフの接続性に関する 2 つのメトリクスを計測した。これらのメトリクスの分布を図 1 に示す。RWP/ob は UPF に比べてややリンク変更率が高いほうに偏っている。UPF では RWP/ob

より多くの近隣ノードが同じ目的地へ向かっているのも、ノードが互いの通信範囲外に移動することによるリンクの切断、再構築がそれほど頻繁には起こらないことによると考えられる。このことは、図 1(b) において UPF のリンク持続時間のほうが長いことから裏づけられる。

次に、領域の外周を沿うように移動しているが、距離が離れている 2 人のアプリケーションユーザ間で通信を行い、DSR の性能を示すいくつかのメトリクスを計測した。結果を図 2 に示す。UPF シナリオでは、DSR の経路は歩行流に沿って確立されるため RWP/ob よりも安定している。このことは図 2(a)、(b) に表れている。経路が不安定であれば切断が頻繁に起こるためパケット到着率は低く、コントロールパケット数は多くなる。一方、図 2(c) では、UPF と RWP/ob は似たような特性を示している。これは両ケースにおいて、2 つのノード間の距離はおおよそ同じであるためと考えられる。また、図 2(d) では、UPF に比べて RWP/ob のホップ数の分布は中心付近に集

中している。これは、RWP/ob では道路上の歩行者密度はすべての道においておおよそ同じであるが、UPF は道路によって異なった密度となっており、そのため UPF のほうがホップ数は広く分散したと考えられる。

4.2.2 モビリティの特性

次に、(i) 空間依存度 (ユークリッド距離が 50m 以下であるような任意の 2 つのノード間の速度の違い)、(ii) 時間依存度 (ノードの 2 つのタイムスロット間の速度の違い)、(iii) ユークリッド距離が 50m 以下であるような任意の 2 つのノード間の相対速度、の 3 つのモビリティの特性を表すマトリクスを計測した。マトリクスの詳細な定義については文献 [14] を参照していただきたい。3 つのマトリクスの計測結果を図 3 に示す。図 3(a), (c) では、UPF と RWP/ob の類似性は非常に高い。両ケースにおいて各ノードは同じ道路の構造グラフに沿って移動しているため、空間依存度、相対速度の点においては差が現れなかったものと考えられる。しかしながら、分布をとる対象となったノード対の総数は UPF のほうが多くなっている。これは、RWP/ob ではノードの密度が均一であるのに対し、UPF では場所によって偏りがあるため、より多くのノード対が計測対象となったものと考えられる。一方、図 3(b) では大きな違いが生じている。UPF では、各ノードは最短経路を通じて目的地に向かっており、交差点において方向転換を行う可能性が低い。従って、RWP/ob よりも時間的依存度が非常に高くなったと考えられる。

4.3 密度の観測値との類似性

我々は大阪駅前実際に密度を測り、2. 章の手法を用いて歩行流を作成した。密度の計測はデジタルカメラを用いて撮影を行い、写真に写った範囲内に存在する歩行者の数と、道路幅・道路長から算出した。大阪駅前の地図と道路のグラフ構造、および密度の観測値を図 4 に示す。グラフの頂点の数は 35、辺の数は 34 である。

UPF シナリオを作成するために、まず目的地 (ノードが発生、消滅する頂点) の候補を頂点の中から選択した。目的地候補には店や地図の端などの頂点に加え、人通りの多い地下の出入り口がある交差点を選択した。そして各目的地候補間の最短経路を求め、それらを経路候補とした。目的地候補数は 20、よって経路候補数は 190 通りである。また、文献 [12] より、 $v_0 = 1.39m/s$ 、 $D_{max} = 1.4person/m^2$ であると仮定した。作成された LP のパラメタの数は 191、制約式の数は 130 であった。LP の計算には lp_solve [13] を用いた。我々の実験では、LP の解の算出にかかった時間はほぼ一瞬であった。

LP を解くことで得られた目的関数の値、すなわち観測値より得られた通行量と導出値との差の最大値は 35.4% (0.398 person/s) となった。これはあまりよい値であるとはいえないので、原因を探るために、目的関数 (8) と制約式 (6) を以下のように変更し、LP を解くこととした。

$$\min \sum_E \delta_{ij} \quad (9)$$

$$\forall e_{ij} \in E_M : -\delta_{ij} \leq \frac{G(D_{ij}, W_{ij}) - g_{ij}}{G(D_{ij}, W_{ij})} \leq \delta_{ij} \quad (10)$$

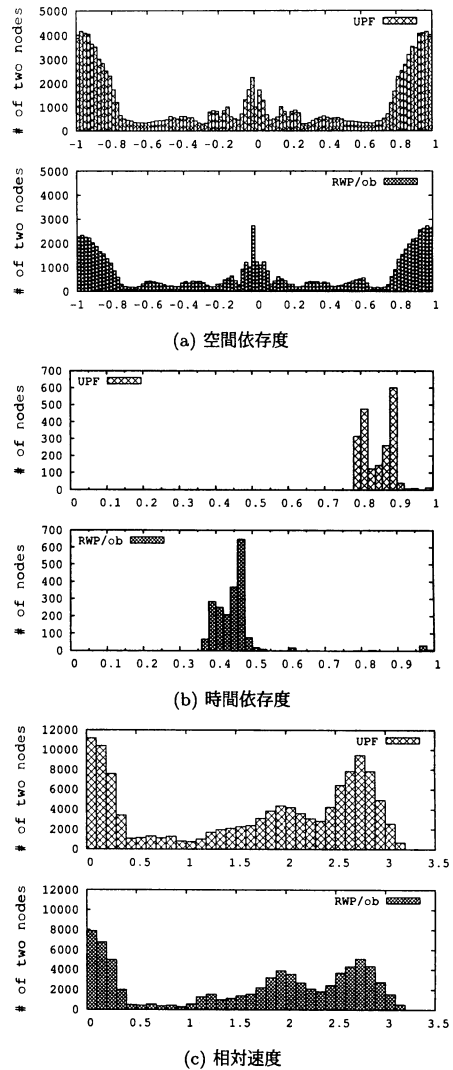
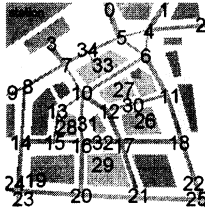


図 3 モビリティの特性のマトリクス

このように各辺での通行量の差の総和を最小にすれば、結果が観測値に近づかない原因となっている辺の差が他の辺よりも大きくなる可能性が高い。修正した LP を解いた結果、目的関数の値は 2.24428、差の最大値は 0.341 person/s、68.2% となった。結果を分析すると辺 $e_{7,10}$ 、 $e_{6,10}$ 、 $e_{10,31}$ 、 $e_{31,16}$ の導出値が実測値よりも低くなっていることがわかった。実験環境の地理に詳しい人に話を聞いてみると、 v_{16} の付近にも人通りの多い地下街の出入り口があるという情報が得られたため、新たに目的地候補に v_{16} を加えることにした。目的地候補数は 21、経路候補数は 210 通り、LP のパラメタの数は 253 となった。これを解いた結果、目的関数の値は 0.279183、差の最大値は 0.062 person/s、16.0% となった。だがこのままでは誤差が局所的に集中してしまいあまり好ましくないため、目的地候補に v_{16} を加えた状態で、差の最大値を最小とする目的関数 (8) と制約式 (6) を用い、再び LP を解いた。



辺	幅	密度	辺	幅	密度	辺	幅	密度	辺	幅	密度	辺	幅	密度
9-8	7	0.033	14-15	12	0.008	8-14	8	0.045	18-22	12	0.026	1-4	12	0.002
8-7	8	0.059	15-16	8	0.006	14-19	12	0.026	12-17	12	0.012	4-6	5	0.030
7-34	8	0.041	16-32	12	0.012	19-23	8	0.058	17-21	12	0.012	30-26	3	0.013
34-5	8	0.041	32-17	12	0.012	3-7	14	0.060	11-30	8	0.040	30-27	3	0.066
5-4	4	0.025	17-18	12	0.013	7-10	6	0.065	30-12	8	0.040	28-31	3	0.025
4-2	10	0.013	24-19	12	0.032	10-31	8	0.046	0-5	14	0.034	32-29	3	0.012
15-13	6	0.005	19-20	12	0.035	31-16	8	0.045	5-6	7	0.050	34-33	3	0.053
13-10	6	0.005	20-21	12	0.023	16-20	12	0.008	6-11	12	0.060			
10-6	8	0.030	21-22	12	0.027	10-12	12	0.015	11-18	12	0.063			

*幅の単位 = m, 密度の単位 = person/m²
 図4 大阪駅前の地図と密度の観測結果

表1 LPで導出した各経路の発生量

経路	発生量	経路	発生量	経路	発生量
g11.4	0.1117	g6.18	0.6987	g2.20	0.0205
g24.11	0.0396	g6.21	0.0103	g2.28	0.0958
g24.16	0.0545	g11.21	0.1590	g2.33	0.0481
g24.25	0.3574	g27.11	0.0963	g0.1	0.0048
g24.33	0.0063	g27.16	0.0058	g0.3	0.2536
g29.11	0.0074	g27.33	0.1407	g0.6	0.4292
g29.18	0.0380	g4.14	0.0729	g1.2	0.0364
g29.33	0.0088	g9.11	0.0463	g23.20	0.1694
g18.14	0.0290	g9.18	0.0346	g23.24	0.0286
g18.20	0.1009	g9.23	0.0529	g3.9	0.2105
g6.11	0.0780	g25.11	0.3497	g0.33	0.0306
g6.14	0.0081	g25.16	0.0479	g3.16	0.2433
g6.16	0.1728	g25.26	0.0502	g3.23	0.3170

*発生量の単位 = person/s, 表にない経路の発生量 = 0

最終的に得られた各経路での発生量を表1に示す。最大誤差は8.67925% (0.097 person/s) となった。もちろん、現実の大阪駅前の人の流れを上述のような形で忠実に抽象化できるわけではないが、MANETアプリケーションの設計や評価には十分有用なモビリティモデルが形成できたと考えている。

5. まとめ

本稿では、Urban Pedestrian Flows (UPF) と呼ばれるモビリティシナリオを生成する手法を提案した。この手法により、シミュレーション領域における歩行者がたどる経路と、簡単な調査により得られる歩行者の密度の観測値をもとに、線形計画法を用いて各経路をたどる歩行者の発生量 (単位時間当たり生成する歩行者数) を求めることができ、また導出された発生量を用い、ネットワークシミュレータで利用可能なUPFシナリオを生成することが可能となる。また、GUIを通してUPFシナリオに必要な入力を指定でき、我々が開発した無線ネットワークシミュレータMobiREALで利用可能なシナリオを自動生成することができるツールを作成した。シミュレーション結果の動画のサンプルは、MobiREAL Web ページ [10] にて公開予定である。また、実験を通して障害物つきRWPモビリティとの比較を行うことで、UPFモビリティの特徴を示し、さらに我々の手法が現実の観測値と十分に近い歩行流を再現できたことを示した。今後はこのモデルを用いて、様々なMANETアプリケーションのより詳細な評価を行う予定である。

文 献

- [1] C. Bettstetter: "Mobility modeling in wireless networks: Categorization, smooth movement, and border effects", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 5, 3, pp. 55-67 (2001).
- [2] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano and I. Stojmenovic Eds.: "Mobile Ad Hoc Networking - in Section 14; Simulation and Modeling of Wireless, Mobile, and Ad Hoc Networks", IEEE Press (2004).
- [3] T. Camp, J. Boleng and V. Davies: "A survey of mobility models for ad hoc network research", Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, pp. 483-502 (2002).
- [4] A. Jardosh, E. M. Belding-Royer, K. C. Almeroth and S. Suri: "Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks", Proc. of ACM MobiCom, pp. 217-229 (2003).
- [5] M. Hollick, T. Krop, J. Schmitt, H.-P. Huth and R. Steinmetz: "Modeling mobility and workload for wireless metropolitan area networks", Computer Communications, pp. 751-761 (2004).
- [6] W.-J. Hsu, K. Merchant, H.-W. Shu, C.-H. Hsu and A. Helmy: "Weighted waypoint mobility model and its impact on ad hoc networks", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, pp. 59-63 (2005).
- [7] A. K. Saha and D. B. Johnson: "Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks", Proc. of the 1st ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004), pp. 91-92 (2004). (poster paper).
- [8] M. Musolesi, S. Hailes and C. Mascolo: "An ad hoc mobility model founded on social network theory", Proc. of ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), pp. 20-24 (2004).
- [9] X. Hong, M. Gerla, G. Pei and C. Chiang: "A group mobility model for ad hoc wireless networks", Proc. of ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), pp. 53-60 (1999).
- [10] "MobiREAL web page". <http://www.mobireal.net>.
- [11] K. Konishi, K. Maeda, K. Sato, A. Yamasaki, H. Yamaguchi, K. Yasumoto and T. Higashino: "MobiREAL simulator - evaluating MANET applications in real environments -", Proc. of the 13th IEEE Int. Symp. on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS) (2005). (to appear).
- [12] Y. Yamamoto, T. Yashiro, H. Shigeno and K. Okada: "The acquisition and offer method of the real time congestion information on the road for pedestrians", Technical Report 2004-MBL-29(7), IPSJ SIG Technical Reports (2004).
- [13] "lp.solve". <http://groups.yahoo.com/group/lp.solve/>.
- [14] F. Bai, N. Sadagopan and A. Helmy: "The IMPORTANT framework for analyzing the impact of mobility on performance of routing for ad hoc networks", AdHoc Networks Journal, pp. 383-403 (2003).
- [15] L. Briesemeister and G. Hommel: "Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks", Proc. of ACM MobiHoc, pp. 45-50 (2000).