

災害時帰宅経路支援のための帰宅経路導出手法

阿部田高光[†] 鈴木 優^{††} 川越 恭二^{††}

[†] 立命館大学大学院 理工学研究科

^{††} 立命館大学 情報理工学部

〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: †abeta@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ††{yusuzuki,kawagoe}@is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 本稿では、災害時に帰宅困難者を支援するため、アドホックネットワークを用い、帰宅困難者の移動軌跡を利用した帰宅経路導出手法の提案を行う。本研究では、ある帰宅困難者が地図を用いて帰宅経路を導出する場合、隣接する交差点の情報を取得し、取得した情報を用いて帰宅経路となる交差点を決定している点に着目した。そこで本研究では、帰宅経路を導出する携帯端末が、隣接する交差点に対応付けた携帯端末から移動軌跡を取得する。そして、隣接する交差点の中から、取得した移動軌跡を用いて帰宅経路となる次の交差点を決定する。決定された次の交差点に対応付けた携帯端末においても同様の処理を繰り返す。これによって、帰宅経路となる次の交差点を逐次導出できる。ここで本研究では、帰宅できる可能性が高い次の交差点を決定するため、次の交差点の決定手法として四つの手法を提案した。四つの手法の内、*NBranchMod* 法では、目的地の方向を考慮し、移動軌跡に含まれる交差点によって木構造を構築する。そして、隣接する交差点の木構造の高さを比較し、高さの高い隣接する交差点を次の交差点として決定する。これは木構造を構築することによって、移動軌跡から通過できる道路が取得でき、木構造の高さに着目することによって、通過できる経路の数を考慮できるため、帰宅できる可能性が高い次の交差点を決定できると考えたからである。評価実験の結果、四つの手法の内、*NBranchMod* 法において、約 98%の精度、約 8%の移動軌跡で帰宅経路を導出できることを確認できた。

キーワード 移動軌跡, アドホックネットワーク, モバイルコンピューティング, GPS

Route Generation Methods for Supporting Return Route in Disaster

Takamitsu ABETA[†], Yu SUZUKI^{††}, and Kyoji KAWAGOE^{††}

[†] Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University.

^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

Nojihigashi 1-1-1, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: †abeta@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ††{yusuzuki,kawagoe}@is.ritsumeai.ac.jp

Abstract In a disaster, there are many persons in the disaster place, called Return Difficult Victims(RDVs), who cannot go home. This is because, RDVs do not have enough information to find their return route. In this paper, we propose four methods to provide RDVs with information about safe return routes. We assume that the ad-hoc network of cell-phones for RDVs is already constructed and the trajectory data, the route history information of certain victims, can be stored in each cell-phone. To reduce traffic cost of the trajectory data on two victims' cell-phones, we propose four return route generation methods which focus on the direction of desired place. In our experiments, we confirm that the method focusing on tree height composed of branches makes the best performance.

Key words Trajectory, Ad Hoc Network, Mobile Computing, GPS

1. はじめに

本稿では、災害時において帰宅困難者の帰宅を支援するため、帰宅経路を導出する手法を提案する。

現在、帰宅困難者に対して、帰宅経路を提供するサービスが

いくつか行われている。例えば、旺文社が震災時帰宅支援マップ [1] という本を発行している。このマップは、主な幹線道路の情報など災害発生前の情報を利用することによって、帰宅を支援する道路を地図上に色分けして表示したものである。しかし震災時帰宅支援マップは災害発生前の情報を利用するため、

災害によって通過できない道路が発生した場合、このマップを用いて選択した帰宅経路が災害時に本当に通過できるとは限らない(注1)。そこで本提案手法では、災害発生後に通過できる帰宅経路を導出するため、災害発生後の情報として帰宅困難者の移動軌跡を用いる。これは帰宅困難者の移動軌跡が、ある帰宅困難者が災害発生後に実際に通過した経路の情報であるから、他の帰宅困難者もこの経路を通過できる可能性が高いと考えたからである。

ここで本研究では、帰宅困難者の移動軌跡を用いるため、以下の環境を想定する。まず帰宅困難者が保持する携帯電話などの携帯端末によってアドホックネットワーク[2]を構築する。また帰宅困難者の携帯端末が、この帰宅困難者の移動軌跡をデータとして取得する。これによって、携帯端末間において移動軌跡の共有を可能にし、移動軌跡の利用が可能となる。

ところが、アドホックネットワーク環境を想定した場合、ある帰宅困難者の携帯端末が遠方の携帯端末から移動軌跡データを取得することは困難である。すなわち、ある携帯端末が被災地における帰宅困難者の移動軌跡データをすべて取得し、取得した移動軌跡を用いて帰宅経路を導出することは困難である。これはアドホックネットワークにおける携帯端末同士の通信可能範囲[3]が、携帯電話と基地局によって構築される無線ネットワークにおける携帯電話と基地局間の通信可能範囲と比べ非常に狭いからである。

そこで本研究では、帰宅経路を必要とする利用者が現在地から目的地までの帰宅経路を導出する場合、各携帯端末が近隣の携帯端末だけから移動軌跡を取得することによって、帰宅経路を導出する。ここで提案手法では、ある帰宅困難者が地図を用いて帰宅経路を導出する場合、隣接する交差点の情報取得し、取得した情報を用いて帰宅経路となる交差点を決定している点に着目した。したがって提案手法では、あらかじめ帰宅困難者の携帯端末を、この帰宅困難者が最後に通過した交差点に対応づけておき、以下の手順によって帰宅経路を導出する。まず、帰宅経路を必要とする利用者の携帯端末では、隣接する交差点に対応付けた携帯端末から移動軌跡を取得する。そして、取得した移動軌跡を用いて、隣接する交差点の中から、帰宅経路となる次の交差点を決定する。同様に、決定された交差点の携帯端末においても次の交差点を決定する。これによって、次の交差点を逐次決定でき、通信可能範囲の狭い携帯端末によっても、帰宅経路を導出できると考える。

なお本稿では、利用者が最後に通過した交差点を出発点、目的地に最も距離が近い交差点を目的点とし、出発点から目的点までの帰宅経路を導出する。また、処理の中心となる携帯端末に対応づけた交差点を処理点、処理点に隣接する交差点を隣接点、帰宅経路となる交差点を中継点と定義する。

図1を用いて提案手法の処理手順を説明する。利用者の携帯端末P1は、隣接点A,B,Cに対応付けた携帯端末A1,A2,B1,C1,C2から、移動軌跡データを取得する。そして携帯端末P1は、取得した移動軌跡データを用いて、隣接点A,B,Cの中から、中継点を決定する。さらに携帯端末P1は、

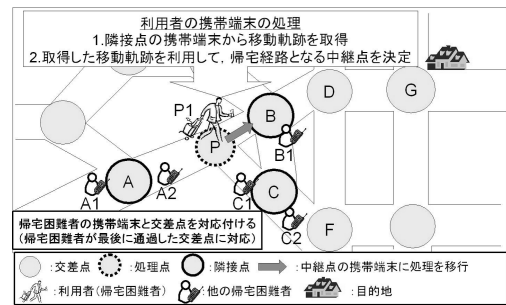


図1 帰宅経路導出手法の概要

Fig. 1 Overview of route generation methods.

決定した中継点が交差点Bである場合、中継点Bに対応する携帯端末B1の中から、処理の中心となる携帯端末を無作為に選択する。そして携帯端末P1は、選択された携帯端末B1に処理を移行する。次に、処理の中心となる携帯端末B1は、中継点を決定する処理を行う。これによって、出発点Pから目的地Gまでの中継点を逐次導出する。

ここで本研究では、処理の中心となる携帯端末が中継点を決定する場合、処理点から目的点の方向における帰宅困難者の移動軌跡を考慮する。これは処理点から目的点の方向に存在する交差点が帰宅経路に最低限含まれるため、出発点から目的点の方向における情報が中継点を決定するために重要であると考えたからである。

そして本研究では、中継点を決定する手法として、目的点の方向を考慮した四つの手法を提案する。四つの手法の内、NBranchMod法では、目的点の方向を考慮し、移動軌跡に含まれる交差点によって木構造を構築する。そして、隣接する交差点の木構造の高さを比較し、高さの高い隣接する交差点を次の交差点として決定する。これは木構造を構築することによって、移動軌跡から通過できる道路の情報が取得でき、木構造の高さに着目することによって、通過できる経路の数を考慮できるため、帰宅できる可能性が高い次の交差点を決定できると考えたからである。

2. 帰宅経路導出手法

本手法では、利用者が帰宅経路を導出する場合、利用者の保持する携帯端末に目的地を入力する。そして利用者の携帯端末は、他の帰宅困難者の移動軌跡を利用して、利用者に対し導出した帰宅経路を出力する。

本手法の処理手順では、処理の中心となる利用者の携帯端末が、隣接点の携帯端末から、帰宅困難者の移動軌跡データを取得する。次に、利用者の携帯端末は、取得した移動軌跡データの内容を考慮して、以下のいずれかの処理を行う。

ケース1. 隣接する交差点が中継点としてすべて選択されていた場合、利用者の携帯端末において、帰宅経路を導出できない旨を出力する。

ケース2. 取得した移動軌跡データに目的点を発見できた場合、利用者の携帯端末において、導出した帰宅経路を出力する。

ケース3. 取得した移動軌跡データに目的点を発見できない場

(注1): レスキューナウ 震災時想定: 徒歩帰宅体験レポート
<http://rescuenow.nifty.com/tokusetsu/>

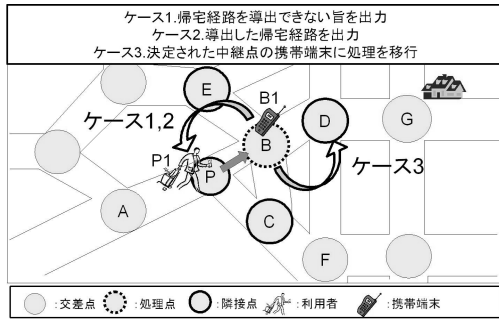


図2 処理の中心となる携帯端末 B1 における処理
 Fig. 2 A process in the cell-phone B1.

合、隣接する交差点から次の中継点を決定し、決定された中継点の携帯端末に処理を移行する。

なお利用者の携帯端末において、ケース1またはケース2に該当した場合、本手法の全体の処理を終了する。一方、ケース3に該当した場合、次の中継点に対応付けた処理の中心となる携帯端末が上記の処理を繰り返す。

図2を用いて説明する。この図は、利用者の携帯端末 P1 が交差点 B を中継点に決定した後、中継点 B の携帯端末 B1 が処理を行う場合の例である。この場合、処理の中心となる携帯端末 B1 は、隣接点 P, C, D, E の携帯端末から取得した移動軌跡データの内容を考慮して、ケース1、ケース2またはケース3のいずれかの処理を行う。

以降、2.1節では、本研究の想定環境について述べる。また、2.2節では、帰宅経路導出手法の処理手順について述べる。さらに、2.3節では、中継点の決定手法について述べる。

2.1 アドホックネットワーク環境および使用するデータ

本研究の想定環境として、まず帰宅困難者の携帯端末にこの帰宅困難者の移動軌跡データおよび地図データを格納する。そして帰宅困難者の携帯端末だけによってアドホックネットワークを構築し、携帯端末間相互で移動軌跡データを共有する。携帯端末によってアドホックネットワークを構築する理由は、いくつかの道路が寸断されるような大規模な災害時を想定しているためである。この大規模な災害時には、PCなどの計算機を繋ぐ有線ネットワークが切断され、携帯電話と基地局を繋ぐ無線ネットワークが輻輳状態されると考える。したがって本研究では、この大規模な災害時においてもネットワークを構築できるアドホックネットワークを用いることを考えた。

なお本研究では、 V km 四方の被災地において、 J 人の帰宅困難者が存在すると仮定する。また帰宅困難者は、携帯端末 $C_j (j = 1, 2, \dots, J)$ を保持し、地図上に存在する幅員 3m 以上の道路を移動すると仮定する。さらに、本研究における交差点および交差点間を結ぶ道とは、地図上に存在する幅員 3m 以上の道路により抽出できる交差点および交差点間を結ぶ道をいうものとする。これは国土地理院が、GIS (Geographic Information System) 技術によって、幅員 3m 以上の道路を対象としたデジタル地図である数値地図 2500 (空間データ基盤) を提供しているためである^(注2)。以下、アドホックネットワーク環境および

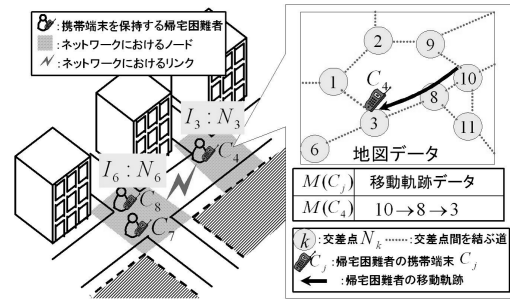


図3 アドホックネットワークおよび携帯端末 C_4 が保持するデータ
 Fig. 3 An ad hoc network and data of the cell-phone C_4 .

使用する地図データ・移動軌跡データについて具体的に述べる。

2.1.1 携帯端末によるアドホックネットワーク環境

本研究では、携帯端末の通信可能範囲によってネットワークのリンクが構築される物理ネットワークではなく、論理ネットワークを対象とする。本研究における論理ネットワークとは、地図上に存在する交差点 $N_k (k = 1, 2, \dots, K)$ をノード I_k とし、交差点間を結ぶ道をリンクとして構成される。ここでノード I_k には、交差点 N_k に対応づけた一又は複数の携帯端末が含まれる。これによって、処理の中心となる携帯端末は、隣接点の携帯端末から移動軌跡データ $M(C_j)$ を取得できる。例えば図3では、ノード I_3 において処理の中心となる携帯端末 C_4 がノード I_6 から移動軌跡データ $M(C_7), M(C_8)$ を取得できる。なおノード I_k において処理の中心となる携帯端末は、交差点 N_k に対応づけた携帯端末の中から無作為に選択される。

ここでこの論理ネットワークを構築する理由は、以下の二つである。まず帰宅経路において交差点が曲り角の情報として有効であると考えたからである。また携帯端末同士の間建物が存在する場合、携帯端末の通信が建物によって遮断され[4]、直接通信が不可能となる。つまり、交差点が通信経路の分岐点となる可能性が高いと考えたからである。

なおこの論理ネットワークを構築するためには、処理の中心となる携帯端末と隣接点の携帯端末間で通信する際、携帯端末の位置情報を考慮したマルチキャスト通信を行う必要があると考える。具体的に以下の方法によって通信を行う必要があると考える。まず処理の中心となる携帯端末は、隣接点に隣接する交差点の座標を用いて移動軌跡データの取得範囲を決定する。そして処理の中心となる携帯端末は、移動軌跡データの取得範囲に存在する帰宅困難者の携帯端末に対して、アドホックネットワークを介し、移動軌跡データを要求するメッセージを送信する。次にメッセージを受信した携帯端末は、自己が隣接点に対応するか否かを判断する。そしてメッセージを受信した携帯端末は、自己が隣接点に対応する場合、自己の移動軌跡データを処理点の携帯端末に送信する。これによって処理の中心となる携帯端末は、隣接点の携帯端末から移動軌跡データを取得することが可能になる。

2.1.2 携帯端末が保持する地図データ

携帯端末が保持する地図データは、交差点と交差点間を結ぶ道だけによって構成される。利用者に対して帰宅経路を導出する場合、帰宅経路において必要な情報は、帰宅経路の曲がり角となる交差点であると考えられる。また帰宅困難者の携帯端末は、

(注2): 国土地理院 数値地図 2500 (空間データ基盤)
<http://www.gsi.go.jp/GIS/index.html>

表 1 地図データにおいて交差点が持つ情報
Table 1 Data of the intersection in map data

交差点	N_k
識別番号	ID_k
座標 (X 座標, Y 座標)	(X_k, Y_k)
隣接する交差点の識別番号	(ID_l, ID_m, ID_n)

PC などの計算機と比べ記憶容量が非常に小さい．そのため携帯端末が保持する地図データは，必要最低限の情報により構成すべきと考えた．したがって携帯端末が保持する地図データは，交差点と交差点間を結ぶ道によって構成した．

具体的には，表 1 に示すように，ある交差点 N_k が持つ情報として，交差点の識別番号 ID_k ，交差点の座標 (X_k, Y_k) ，および道によって隣接する交差点の識別番号 $ID_l, ID_m, ID_n (l, m, n \neq k)$ を含ませる．これによって，図 3 に示すような，交差点と交差点間を結ぶ道によって構成される地図データを作成する．

2.1.3 携帯端末が保持する移動軌跡データ

携帯端末が保持する移動軌跡データは，位置情報を要素とする時系列のデータではなく，交差点を要素とする時系列のデータとする．これは少ない情報量によって，災害時に他の帰宅困難者が通過できた道の情報を取得したいと考えたためである．つまり，災害発生後に帰宅困難者が移動した交差点を要素とすれば，交差点間を結ぶ道の中から，どの道を通じたか判断できるためである．ここで携帯端末 C_j の移動軌跡データ $M(C_j)$ には，一つ以上の交差点 N_k が存在する．例えば，図 3 に示す移動軌跡データ $M(C_4)$ は，携帯端末 C_4 を保持する帰宅困難者が交差点を $N_{10} \rightarrow N_8 \rightarrow N_3$ の順に移動した場合， (N_{10}, N_8, N_3) となる．ここで携帯端末 C_4 は最後に通過した交差点 N_3 に対応付けられる．なお，交差点を要素とする時系列の移動軌跡データは，GPS (Global Positioning System) 技術により取得可能であると考えられる [5]．

2.2 帰宅経路導出手法の処理手順

本節では，帰宅経路導出手法の処理手順について述べる．利用者が帰宅経路を導出する場合，利用者は自己の携帯端末に目的地を入力する．利用者の携帯端末では，他の携帯端末と協調して，次の交差点を逐次導出する．そして利用者の携帯端末は，導出された帰宅経路を利用者に対して出力する．

なお本研究では，利用者の携帯端末における目的地の入力環境および帰宅経路の出力環境を考慮しない．そのため利用者の携帯端末は，入力された目的地から目的地の座標を取得でき，この目的地の座標によって目的地の識別番号および座標を取得できるものとする．したがって利用者の携帯端末 C_j に目的地が入力された場合，利用者の携帯端末 C_j は以下の処理を行う．利用者の携帯端末 C_j は，目的点 N_G の識別番号 ID_G と座標 (X_G, Y_G) によって構成される目的地情報を取得する．また利用者の携帯端末 C_j は，中継点として決定された交差点 N_k のリストである中継リスト $T(q_1, q_2, \dots, q_Q)$ を作成する．なお中継リストの q_1 には，出発点 N_P を情報として含む．

例えば図 4 において，利用者が携帯端末 C_1 に目的地を入力し，目的点として交差点 N_{100} が選択された場合，作成される目的地情報は，交差点 N_{100} の識別番号 ID_{100} および座標

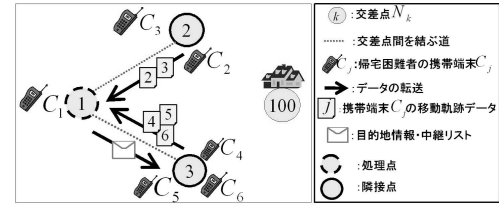


図 4 処理の中心となる携帯端末 C_1 における処理手順
Fig. 4 A process in the cell-phone C_1 .

(X_{100}, Y_{100}) の情報である．また作成される中継リストは，出発点 N_1 によって $T(N_1)$ となる．以下，図 4 を用いて，利用者の携帯端末 C_1 ，つまり，処理の中心となる携帯端末の処理手順について説明する．

- Step1 目的地情報及び中継リストの受信

処理の中心となる携帯端末 C_1 は，目的地情報および中継リストを取得すると処理を開始する．

- Step2 隣接点の携帯端末から移動軌跡データを取得

目的地情報および中継リストを取得した携帯端末 C_1 は，隣接点 N_2, N_3 の携帯端末 C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 から移動軌跡データ $M(C_2, C_3, C_4, C_5, C_6)$ を取得する．なお処理の中心となる携帯端末は，中継リストに含まれる交差点の携帯端末から移動軌跡データを取得しない．これは中継リストに含まれる交差点が中継点，すなわち，帰宅経路として一旦選択されおり，再度選択したとしても帰宅経路は発見できないと考えるからである．例えば，隣接点の交差点 N_2 が中継リストに含まれていた場合，携帯端末 C_1 は交差点 N_3 の携帯端末 C_4, C_5, C_6 だけから移動軌跡データを取得する．ここで，隣接点がすべて中継リストに含まれている場合，利用者の携帯端末において，本節のケース 1 に示すように，帰宅経路が導出できない旨を出力する．

- Step3 目的点の探索

移動軌跡データを取得した携帯端末 C_1 は，取得した移動軌跡データ $M(C_2, C_3, C_4, C_5, C_6)$ に目的点 N_{100} が含まれないかを確認する．そして，取得した移動軌跡データに目的点 N_{100} を発見できない場合，Step4 へ進む．一方，取得した移動軌跡データに目的点 N_{100} を発見できた場合，利用者の携帯端末 C_1 において，本節のケース 2 に示すように，導出した帰宅経路を出力する．

- Step4 中継点の決定

目的点を見ることができなかった携帯端末 C_1 は，隣接点 N_2, N_3 の中から中継点を決定する．その後，決定された中継点，図 4 では交差点 N_3 を中継リスト $T(N_1)$ に追加する．これによって中継リストは $T(N_1, N_3)$ となる．なお中継点の決定手法については 2.3 節で詳しく記載する．

- Step5 中継点の携帯端末に目的地情報及び中継リストの送信

中継点を決定した携帯端末 C_1 は，中継点 N_3 に対応付けた処理の中心となる携帯端末 C_4 に目的地情報及び中継リストを送信する．これによって，中継点における処理の中心となる携帯端末 C_4 は，同様に本節の Step1 ~ Step5 の処理を実行できる．なお処理の中心となる携帯端末 C_4 は，2.1.1 節で示したとおり，携帯端末 C_4, C_5, C_6 の中から無作為に決定される．

上記の処理を、中継点の処理の中心となる携帯端末が繰り返すことによって、出発点から目的点までの帰宅経路を導出する。なお以下では、本節で示したケース 1、ケース 2 およびケース 3 の詳細について述べる。

- ケース 1. 隣接点が中継点として全て選択されていた場合

このケースの場合、処理の中心となる携帯端末は、中継リストに含まれる交差点の携帯端末を介して、帰宅経路が作成できない旨を利用者の携帯端末に送信する。そして、利用者の携帯端末は帰宅経路が導出できない旨を出力する。

- ケース 2. 移動軌跡データに目的点を発見できた場合

このケースの場合、処理の中心となる携帯端末は、中継リストに含まれる交差点の携帯端末を介して、作成した帰宅経路を利用者の携帯端末に送信する。そして、利用者の携帯端末は帰宅経路を出力する。ここで処理の中心となる携帯端末が導出する帰宅経路 $R(u, \dots, U)$ は、目的点 N_G を含む移動軌跡データおよび中継リストによって導出される。例えば、処理の中心となる携帯端末 C_1 において、目的点 N_{100} を通過する移動軌跡データ $M(C_4) = (N_{100}, N_3)$ と中継リスト $T(N_1)$ が存在する場合、帰宅経路は、 $R(N_1, N_3, N_{100})$ となる。

- ケース 3. 移動軌跡データに目的点を発見できない場合

このケースの場合、処理の中心となる携帯端末は、隣接点の中から中継点を決定する。そして携帯端末は、中継点における処理の中心となる携帯端末に目的地情報及び中継リストを送信する。なお目的地情報・中継リストを取得した携帯端末では、同様に本節の処理を実行する。

2.3 中継点の決定手法

本節では、最初に中継点の決定方法の基本的な考え方について述べる。そして中継点の決定手法の詳細について述べる。

2.3.1 中継点の決定手法における基本的な考え方

本研究では処理の中心となる携帯端末が、近隣の携帯端末から移動軌跡データを取得するものである。したがって一定の範囲から取得した移動軌跡データの内、目的点を発見するために有効な移動軌跡データだけを用いて中継点を決定する必要がある。そのため本研究では二つの考え方をを用いる。処理点を含む移動軌跡データは考慮しない。また移動軌跡データに含まれる交差点の内、処理点から目的点の方向を考慮する。以下、詳細に説明する。

- 処理点を含む移動軌跡データは考慮しない

処理点を含む移動軌跡データは、処理点から隣接点へと移動した移動軌跡データである。そのためこの移動軌跡データは、中継点を決定する情報として必要性が低い。したがって、処理点を含む移動軌跡データを取得対象外とする。図 5 では、取得した移動軌跡データ $M(C_2 \sim C_6)$ の内、移動軌跡データ $M(C_3)$ が処理点 N_1 を含むため、取得対象外となる。そのため、処理の中心となる携帯端末 C_1 は隣接点 N_2 の携帯端末 C_3 から移動軌跡データ $M(C_3)$ を取得しない。

- 移動軌跡データに含まれる交差点の中で、処理点から目的点の方向を考慮

処理の中心となる携帯端末は、次の中継点の携帯端末が取得する移動軌跡データに目的点を含むことを期待する。そのため本研究では、処理点よりも目的点側の情報が目的点までの経路を発見するために重要であると考えられる。そこで、処理点から目

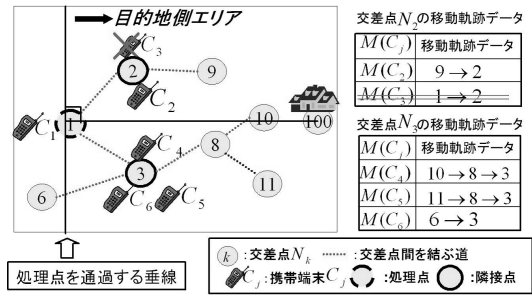


図 5 中継点の決定手法における基本的な考え方
Fig. 5 The basic idea of the proposed methods.

的点の方向にある目的地側エリアを定義する。そして処理の中心となる携帯端末は、目的地側エリアにおける移動軌跡データの内容を考慮して中継点を決定する。

ここで処理の中心となる携帯端末が利用者の携帯端末である場合、目的地側エリアは以下の手順によって取得できる。まず処理点 N_P の座標 (X_P, Y_P) と目的点 N_G の座標 (X_G, Y_G) を通過する直線を取得する。そして取得した直線の垂線の内、式 (1) に示すような、交差点 N_P を通過する垂線を作成する。さらに作成された垂線によって分割されたエリアの内、目的点が存在するエリアを目的地側エリアとする。図 5 では、交差点 N_1 を通過する垂線により分割される二つのエリアの内、目的点 N_{100} が存在するエリアが目的地側エリアとなる。

$$\begin{cases} aX_P - Y_P + b = 0 \\ a = -1 * \frac{X_P - X_G}{Y_P - Y_G} \\ b = Y_P - a * X_P \end{cases} \quad (1)$$

2.3.2 中継点の決定手法の詳細

本研究では、2.3.1 節で記載した基本的な考え方を基に以下の四つの手法を提案する。ここで図 5 では、処理の中心となる携帯端末 C_1 が、隣接点 N_2 の携帯端末 C_2 から帰宅困難者の移動軌跡データ $M(C_2)$ と、隣接点 N_3 の携帯端末 C_4, C_5, C_6 から帰宅困難者の移動軌跡データ $M(C_4), M(C_5), M(C_6)$ を取得した例を示している。この場合、処理の中心となる携帯端末は、隣接点 N_2 において移動軌跡データ $M(C_2)$ を用い、一方、隣接点 N_3 において移動軌跡データ $M(C_4), M(C_5), M(C_6)$ を用いて、以下の手法によって隣接点 N_2, N_3 を比べ、隣接点 N_2, N_3 の中から中継点を決定する。

なお隣接点において、以下の手法を適用した場合、手法を適用できない場合がある。具体的には、すべての隣接点において、手法の要件を満たさない場合である。このような場合、2.2 節のケース 1 に示す処理と同様に、利用者の携帯端末において、帰宅経路を導出できない旨を出力する。

- 手法 1 (NData 法)

手法 1 は、目的地側エリアから出発する移動軌跡データの数に着目する。隣接点において、目的地側エリアから出発する移動軌跡データの数が多ければ、この隣接点においても目的地側エリアから出発する移動軌跡データが多いため、帰宅できる可能性が高いと考えたためである。したがって隣接点の中で、目的地側エリアから出発する移動軌跡データが最も多く存在する隣接点を中継点とする。

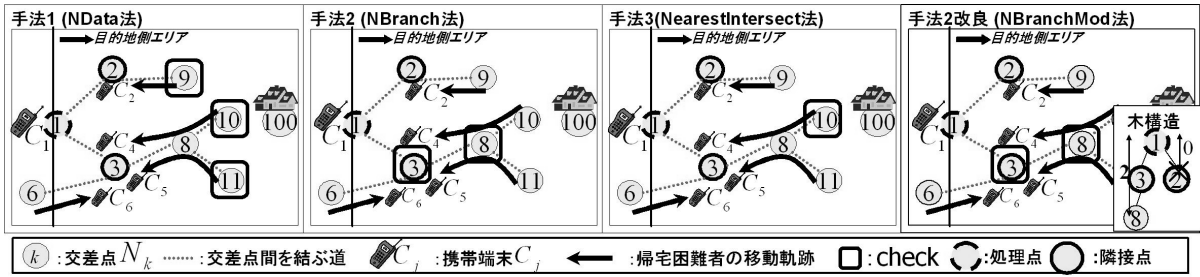


図6 中継点の決定方法の詳細
Fig. 6 Details of proposal methods.

なお、二つ以上の隣接点において、目的地側エリアから出発する移動軌跡データの数と同じ場合、無作為に選択した隣接点を中継点とする。また、隣接点から取得した移動軌跡データにおいて、目的地側エリアから出発する移動軌跡データが全く存在しない場合、手法1が適用できないことになる。

図6では、隣接点 N_2 において、移動軌跡データ $M(C_2)$ が目的地側エリアから出発している。また隣接点 N_3 において、移動軌跡データ $M(C_4), M(C_5)$ が目的地側エリアから出発している。そのため、目的地側エリアから出発する移動軌跡データの数が多い隣接点 N_3 を中継点とする。

• 手法2(NBranch法)

手法2は、目的地側エリアにおいて、移動軌跡データから抽出された分岐の数に着目する。ここで移動軌跡データから抽出された分岐とは、移動軌跡データによって抽出できる交差点の中で、移動軌跡データから抽出した他の交差点と三つ以上隣接している交差点のことをいう。これは隣接点において、移動軌跡データから抽出された分岐の数が多ければ、通過できる道路の数が多いため、帰宅できる可能性が高いと考えたためである。したがって隣接点の中で、目的地側エリアにおいて移動軌跡データにより抽出された分岐の数が最も多い交差点を中継点とする。

なお本研究では、処理点を移動軌跡データから抽出された交差点に加える。また二つ以上の隣接点において、取得できた分岐の数と同じ場合、無作為に選択した隣接点を中継点とする。さらに隣接点の移動軌跡データにおいて、移動軌跡データから抽出された分岐が目的地側エリアに全く存在しない場合、手法2が適用できないことになる。

図6では、例えば、交差点 N_8 が分岐となる。この交差点 N_8 は、移動軌跡データから抽出された三つの交差点 N_3, N_{10}, N_{11} と隣接しており、分岐と判断される。そのため隣接点 N_2 において分岐は存在しないこととなる、一方隣接点 N_3 において、分岐は交差点 N_3, N_8 となる。したがって、目的地側エリアにおける移動軌跡データから抽出された分岐の数が最も多い隣接点 N_3 を中継点とする。

• 手法3(NearestIntersect法)

手法3は、移動軌跡データによって抽出された交差点の中で、目的点に最も距離が近い交差点に着目する。隣接点において、目的点に最も距離が近い交差点は目的地に最も近い交差点の情報である。したがって、この交差点を含む移動軌跡データを取得できる隣接点は目的点に到達できる可能性が高いと考える。

そのため隣接点の中で、目的点に最も距離が近い交差点を含む移動軌跡データが存在する隣接点を中継点とする。

なお二つ以上の隣接点において、目的点に最も距離が近い交差点を含む移動軌跡データが存在する場合、無作為に選択した隣接点を中継点とする。また、隣接点の移動軌跡データにおいて、目的地側エリアに存在する交差点を抽出できない場合、手法3が適用できないことになる。

図6では、目的点 N_{100} に最も距離が近い交差点は、移動軌跡データから抽出された交差点の中で、交差点 N_{10} である。したがって、この交差点 N_{10} を含む移動軌跡データ $M(C_4)$ が存在する隣接点 N_3 を中継点とする。

• 手法2改良(NBranchMod法)

手法2改良は、手法2の考えを改良する。手法2改良は、まず手法2と同様の方法によって移動軌跡データから目的地側エリアの分岐を抽出する。そしてこの分岐と処理点を用いて木構造を作成し、この木構造の高さに着目する。この木構造とは、処理点を根とし、分岐を節又は葉としたものである。

隣接点において、分岐により構成される木構造の高さに着目する理由は、木構造の高さが高ければ、木構造の枝を考慮でき、目的地まで到達できる経路の数を考慮できるため、目的地に到達できる可能性が高いと考えたからである。したがって処理点と分岐によって木構造を構築した場合、隣接点の木構造の高さを比較し、高さが最も高い隣接点を中継点とする。

なお二つ以上の隣接点において、分岐により構成された木構造の高さが同じ場合、無作為に選択した隣接点を中継点とする。また隣接点の移動軌跡データにおいて、移動軌跡データから抽出された分岐が目的地側エリアに全く存在しない場合、手法2改良が適用できないことになる。

図6では、手法2によって抽出した分岐を用いて右下に木構造を構築した。そして、この木構造の高さを各々の隣接点 N_2, N_3 において判断する。この場合、隣接点 N_2 において、木構造の高さが0であり、一方隣接点 N_3 において、木構造の高さが2である。したがって、隣接点の内、木構造の高さが最も高い隣接点 N_3 を中継点とする。

3. 評価実験

本章では、2.章で提案した手法のシミュレーション実験および評価について述べる。

3.1 実験環境

本実験では大阪府において直下型地震が発生した環境を想定

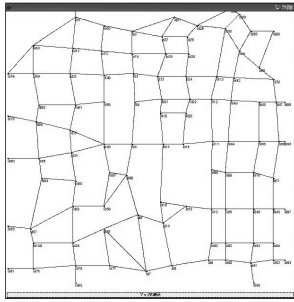


図 7 実験用地図データ

Fig.7 A map data of experiment.

し、以下に示すシミュレーション環境を作成した。

- 1km 四方の地図
 - － 交差点の数 … 100 個
 - － 交差点間を結ぶ道の数 … 164 個
- 1km 四方の地図における帰宅困難者
 - － 帰宅困難者の数 … 1000 人
- 帰宅困難者が保持する移動軌跡データ
 - － 移動軌跡データの要素となる交差点の数 … 2～10 個

まず、本実験における地図は、1km 四方を対象とし、交差点の数を 100 個とし、交差点間を結ぶ道の数 を 164 個とする。これは東京都 23 区における道路幅 3m 以上の道路を対象とした交差点の数および交差点間を結ぶ道の結果 [6] に基づき、大阪府においても同程度の交差点および交差点間を結ぶ道が存在すると考えたからである。作成した地図データを図 7 に示す。

また、大阪府内において 142 万人が帰宅困難者になると想定されているため^(注3)、1km 四方の地図における帰宅困難者は 1000 人とする。これにより、帰宅困難者の携帯端末および移動軌跡データの数も各々 1000 個とする。加えて、帰宅困難者が保持する移動軌跡データにおいて、要素となる交差点の数を 2～10 個とする。

ここで移動軌跡データを作成する際、まず、1000 個の携帯端末を地図上の交差点に無作為に配置し、これらの携帯端末を無作為に移動させる。この際、交差点間を 2～10 個移動させる。これによって、交差点を要素とする移動軌跡データを作成できる。なお携帯端末に対応させる交差点は、携帯端末が移動により最後に行き着いた交差点である。

3.2 評価

本実験における評価は、3.1 節で示す実験環境において 500 回の実験を行い、帰宅経路を導出できた割合を示す帰宅経路導出率と、帰宅経路導出までに隣接点の携帯端末から処理の中心となる携帯端末へ転送された移動軌跡データの数を示す移動軌跡データ転送数とにより評価を行う。これは帰宅経路の導出率と移動軌跡データを利用した数とがトレードオフの関係にあるためである。なお利用者の携帯端末は、作成した携帯端末から無作為に決定する。また目的点も交差点から無作為に決定する。

評価環境は、以下の三つの環境で行う。

環境 1 2.3.1 節に示すように、処理点を含む移動軌跡データ

を収集対象外とすることを考慮せず、隣接点の携帯端末から移動軌跡データをすべて取得する。

環境 2 2.3.1 節に示すように、処理点を含む移動軌跡データを収集対象外とすることを考慮する。

環境 3 提案した四つの手法において、2.3.2 節に示すように、手法を適用できない場合、隣接点の中から無作為に中継点を決定する。

この三つの環境を用いる理由は、環境 1 と環境 2 において、処理点を含む移動軌跡データを収集対象外とする点の有効性を確認するためである。また環境 2 と環境 3 において、手法が適用できない場合、隣接点から無作為に中継点を決定するように構成したため、この構成の有効性について確認を行うものである。ここで環境 2 は環境 1 と比べ、処理点を含む移動軌跡データを収集しない。そのため処理の中心となる携帯端末は取得できる移動軌跡データの数が減少する。したがって環境 2 は、提案した四つの手法において、手法を適用できない場合が環境 1 より多くなる。そこで環境 3 では、手法が適用できない場合、隣接点から無作為に中継点を決定するように構成した。

3.2.1 帰宅経路導出率に関する評価

帰宅経路導出率 $Rate$ は、式 (2) に示すように、各々の手法によって帰宅経路を導出できた回数 Cal と、実験回数 Exp との商により取得できる。帰宅経路導出率によって、どの程度の確率で帰宅経路を導出できるかについて評価した。実験結果を図 8 に示す。図 8 は、三つの環境において各々の手法を用いた場合の帰宅経路導出率を表している。

$$Rate = \frac{Cal}{Exp} \quad (2)$$

図 8 より、環境 1 と環境 2 を比較することによって、四つの手法すべてにおいて、向上が見られることを確認できた。これは処理点を含む移動軌跡データが中継点を決定する情報として有効でないことに基づくものであると考える。しかし環境 2 において、手法 2 改良は他の 3 手法と比べ向上が小さい。これは取得できる移動軌跡データが減少したことに伴い、手法が適用できなくなったことに基づくものであると考える。

また環境 2 と環境 3 を比較する場合、環境 3 において手法 2 改良が環境 2 と比べて約 7%の向上がみられた。これは手法が適用できない場合を考慮し、中継点を隣接点から無作為に選択できたからであると考えられる。

さらに、環境 3 において手法 2 改良の帰宅経路導出率が約 98%という結果を得ることが確認できた。これは手法 2 改良が移動軌跡データによって作成した木構造の高さを考慮できたため、隣接点の中から、帰宅経路になる可能性が高い中継点を選択できたことに基づくと考えられる。

3.2.2 移動軌跡データ転送数に関する評価

移動軌跡データ転送数は、最初に各々の実験において、帰宅経路を導出できた場合、出発点および中継点において、処理の中心となる携帯端末が取得した移動軌跡データの数を計算する。そして、帰宅経路を導出できた実験において、この取得した移動軌跡データの数の総和と、帰宅経路を導出できた回数との商により取得できる。移動軌跡データ転送数によって、どの程度の数の移動軌跡データを利用して帰宅経路を導出したかを確認

(注3)：大阪府 地震被害想定調査結果等の概要

<http://www.pref.osaka.jp/fumin/html/11170.html>

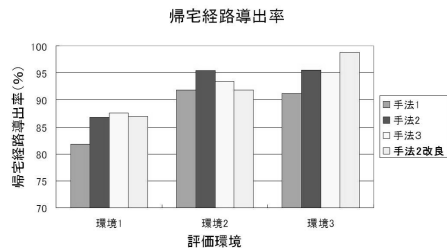


図 8 帰宅経路導出率

Fig. 8 Generation rate of a return route.

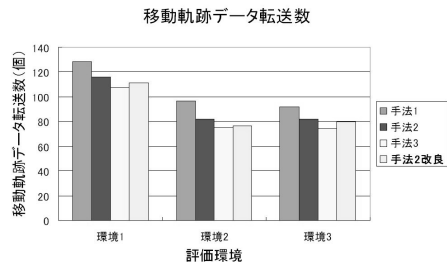


図 9 移動軌跡データ転送数

Fig. 9 Average forwarding count of trajectory data.

できる。実験結果を図 9 に示す。図 9 は、三つの環境において各々の手法を用いた場合の移動軌跡データ転送数を表している。

図 9 より、環境 1 と環境 2、環境 1 と環境 3 を比較することによって、四つの手法すべてにおいて、移動軌跡データ転送数の減少を図ることができる。これは処理点を含む移動軌跡データを収集対象外としたためである。

4. 関連研究

本章では従来研究の紹介を行い、本研究との違いを述べる。まず歩行者が保持する携帯端末を利用して移動経路を歩行者に提供する技術として、人の混雑度など状況を考慮した移動経路を提供する手法が上田ら [7] によって提案されている。文献 [7] では、まず地図データを論理空間として捉え、この論理空間をメッシュ化する。次に各々のメッシュに点数化した状況を格納する。これによって、この状況の点数が格納された論理空間を用い、*Dijkstra* 法により現在地から目的地までの移動経路を提供するものである。なお状況の格納は、対象となる範囲においてセンサーなどを設置し、このセンサーによって人の混雑度など状況を取得できるようにしている。したがって本研究との違いは、対象範囲における一部の情報を取得するのではなく、対象範囲におけるすべての情報を取得して、移動経路を導出している点にある。

次に、アドホックネットワークを構築するための通信プロトコルとして様々なプロトコルが提案されている。特に、ある端末が情報を要求する場合に限り、目的となる端末までの通信経路を発見する技術として、*DSR* [8] や *AODV* [9] 等が提案されている。これらの手法は、ある端末が情報を必要とするときに限り、周辺の通信経路の情報を集め、この情報を利用することによって、通信経路を導出するものである。したがって本研究との違いは、移動軌跡を用いて通信経路を導出するのではなく、

通信経路の情報をを用いて通信経路を導出している点にある。

5. おわりに

本稿では、利用者の携帯端末が隣接する交差点に対応付けた携帯端末から移動軌跡データを取得し、取得した移動軌跡データを用いて中継点を導出する四つの手法を提案した。四つの手法の内、*NBranchMod* 法では、目的地側エリアを考慮し、移動軌跡に含まれる分岐によって構築された木構造の高さに着目した。評価実験の結果、処理点を含む移動軌跡データを収集対象外とする点の有効性を確認することができた。また *NBranchMod* 法では、高い帰宅経路導出率を得ることができた。

今後の課題として、物理ネットワーク、つまり、携帯端末の通信可能範囲を考慮したアドホックネットワーク環境を想定し、実験を行う必要がある。これは本研究が論理ネットワークを対象としたためである。

また本研究では移動軌跡データとして帰宅困難者の交差点間の移動のみを対象とした。ここで移動軌跡データは交差点の情報だけでなく、交差点の要素に施設名など他の情報を付加できる。そこで、移動軌跡データに他の情報、例えば、帰宅経路の目印となるランドマークや被災者を支援する施設の情報などを付加することによって、より安全で有効な帰宅経路の導出について検討する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、ハイテク・リサーチ・センター整備事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」によるものである。

文 献

- [1] 黒田茂夫. “震災時帰宅支援マップ 京阪神版”. 旺文社, 2006.
- [2] J.Broch, D.A.Maltz, Y.-C. Hu, and J.Jetcheva. “Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks Routing Protocols”. *Proc.ACM MobiCom*, pp. 85–97, 1998.
- [3] Bluetooth Special Interest Group. The Official Bluetooth Wireless Info Site. <http://www.bluetooth.com/>.
- [4] A.Jardosh, E.M.Belding-Royer, K.C.Almeroth, and S.Suri. “Towards Realistic Mobility Models For Mobile Ad hoc Networks”. *Proc. ACM MobiCom*, pp. 217–229, 2003.
- [5] 岡峰正, 國頭吾郎, 高橋竜男, 田中聡. “GPS 携帯電話による位置情報ログを用いた訪問施設抽出方法”. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (2006) シンポジウム, pp. 273–276, 2006.
- [6] 渡部大輔, 阪田知彦. “図郭・行政界で分断された道路ネットワークの自動結合に関する基礎的研究”. (社)日本都市計画学会都市計画報告集 No. 3, pp. 114–119, 2005.
- [7] 上田真由美, 西出亮, 日裏博之, 川端将之, 上島紳一. “利用者コンテキストアウェアな歩行者ナビゲーションシステムの提案と利用可能性”. 日本データベース学会論文誌 (DBSJ Letters), Vol. 4, No. 1, pp. 65–68, 2005.
- [8] J.Broch, D.B.Johnson, and D.A.Maltz. “Dynamic source routing (DSR) in ad hoc wireless networks”. *Internet Draft*, 1998.
- [9] C.E.Perkins and E.M.Belding-Royer. “Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing”. *Internet Draft*, 1998.