

テクニカルノート

モバイル端末を活用した災害時最短避難経路 提示システムの開発

渡邊 博之^{1,a)} 成田 祐一¹ 大山 勝徳¹ 加瀬澤 正¹ 武内 惇¹ 竹中 豊文¹

受付日 2011年10月8日, 採録日 2012年1月13日

概要: 本論文では, 災害時にモバイル端末を用いて, ダイクストラ法で最短避難経路を求め, 避難所まで誘導するシステムを開発している. このため, 避難所や交差点に ID とグループ番号を付加することによって経路を作成する方法を提案している. また, GPS 付き携帯電話が利用できない場合は, WiFi で代替することによって避難経路と移動経路を継続して地図上に表示することを可能としている. 実験の結果, 提案手法は通行不能箇所の設定が容易であり, GoogleMapsAPI 関数の経路に比べて実際の経路に近く, 実測値との誤差が 5%以下であることを示した.

キーワード: 最短避難経路, ダイクストラ法, GPS, WiFi, GoogleMap

Development of Disaster Evacuation System for Finding Shortest Routes with Mobile Devices

HIROYUKI WATANABE^{1,a)} YUICHI NARITA¹ KATSUNORI OYAMA¹
TADASHI KASEZAWA¹ ATSUSHI TAKEUCHI¹ TOYOFUMI TAKENAKA¹

Received: October 8, 2011, Accepted: January 13, 2012

Abstract: This paper introduces development of a disaster evacuation system with mobile devices to find the shortest routes by Dijkstra's algorithm, and guide the users to shelters. A calculation method is proposed by appending ID with group number to intersections and shelters on a map. Even if GPS module is inactivated, the system is still accessible from mobile devices with WiFi to show the evacuation routes and pathways on the map continuously. The results of experiment show that the proposed algorithm provides high usability to set impassable roads and the calculated routes are close to actual evacuation routes compared with the GoogleMapsAPI within error of 5%.

Keywords: evacuation routes, Dijkstra's algorithm, GPS, WiFi, GoogleMap

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災では, 従来から利用されている携帯電話の「災害用伝言ダイヤル」に加え, 新たに PC を利用した「災害用伝言板」が登場した. 災害時において携帯電話が利用できないときは, 断片的でも PC で有用な情報を得ることが可能である. しかし, 伝言ダイヤルや伝言板は, 携帯電話と PC との連携ができず, 避難

所までの誘導を対象としたシステムではない. 避難所は各市町村のハザードマップなどで公開されているが, これを活用して現在地から避難所までの最短経路を地図上に表示するにはいくつかの問題点がある.

第 1 は経路作成の問題点である. 目的地を避難所に置き換えれば, カーナビや経路探索システム [1] を活用できるが, 前者は地図の利用に制限があり, 後者は経路を地図上に表示していない. GoogleMap は汎用的な地図であるが, その API 関数 [2] は避難所の入口や構内を考慮した経路を表示できないという問題点がある.

第 2 は現在地と避難所を入力しなければならない問題点

¹ 日本大学工学部
College of Engineering, Nihon University, Koriyama,
Fukushima 963-8642, Japan

a) hiroyuki@ee.ce.nihon-u.ac.jp

である。GPS 付き携帯電話（以下では 4 章を除き、GPS の有無にかかわらず携帯電話と略す）や WiFi 付きノート PC（以下では 4 章を除き、スマートフォンを含めて WiFi の有無にかかわらずノート PC と略す）で現在地を測位できるが、あらかじめアプリケーションが必要なシステム [3] もある。

第 3 は災害時に通行不能箇所が生じ、迂回経路が分からず、通行止めに遭遇するという問題点である。

第 4 は携帯電話またはノート PC の独立したシステム [4] ではデータが共有できず、前者の代替として後者が利用できないという問題点である。

本論文は、災害時にモバイル端末を用いて、ダイクストラ法で最短避難経路を求め、避難所まで誘導するシステムを開発することを目的としている。このため、避難所や交差点に ID とグループ番号を付加することによって経路を作成する方法を提案している。また、本システムは携帯電話が利用できない場合、ノート PC で代替することによって避難経路と移動経路を継続して GoogleMap 上に表示することを可能としている。実験運用によって、提案手法による避難所までの最短経路の表示、通行不能箇所による避難経路の変化、モバイル端末による測位誤差、経路算出法による誤差について検討した。なお、災害発生直後は携帯電話やデータ通信で輻輳が発生するが、その回避策は別途考えられるので、本論文では通信障害は議論の対象外としている。

2. 経路作成と最短避難経路算出のアルゴリズム

経路の作成をノート PC で行う場合は GoogleMapsAPI 関数で道路に沿った避難経路と距離を求めることができる。しかし、携帯電話では機能の制限から、この API 関数を用いることはできない。そこで、携帯電話やノート PC で GoogleMap 上に経路を作成するため、国土地理院の発行する数値地図 2500（直交座標系）を用いる [5]。数値地図 2500 は複数の座標で交差点間の道路を構成している。通行止めで分岐となる点は交差点で、交差点間が短い場合は直線で近似できるため、複数の座標から始点と終点の各座標だけを読み取ることによって、経路作成のデータ量の削減と計算時間の短縮をはかる [3]。ただし、カーブなどは直線で近似できないため、GoogleMap 上で座標をマーカーで指示することによって経路を作成・編集することも可能としている。座標には ID をデータベースの機能で自動付加する。また、逆ジオコーディングによって住所を割り振り、住所区分ごとにグループ番号を付加する。

図 1 は経路と避難所の例を示している。△は現在地、◎は避難所、○は中継所、□は交差点である。表 1 は図 1 における経路設定の例を示している。「ID」には「接続先 ID」を設けることによって、お互いの ID どうしを接続す

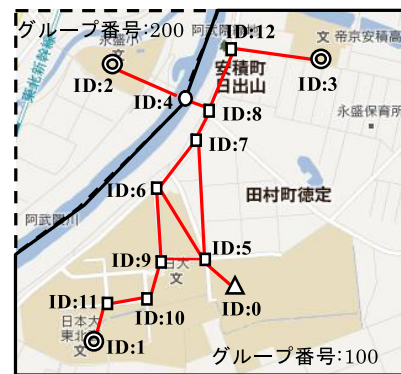


図 1 経路と避難所の例

Fig. 1 Example of routes and shelters.

表 1 図 1 における経路設定の例

Table 1 Routes settings in the case of Fig. 1.

ID	名称	グループ番号	接続先 ID
1	避難所 A	100	11
2	避難所 B	200	4
3	避難所 C	100	12
4	橋 (中継所)	200	2, 8
5	交差点	100	6, 7, 9
6	交差点	100	5, 7, 9
7	交差点	100	5, 6, 8
8	交差点	100	4, 7, 12
9	交差点	100	5, 6, 10
10	交差点	100	9, 11
11	交差点	100	1, 10
12	交差点	100	3, 8

る。また、通行不能箇所を示すフラグも設けられる。モバイル端末で測位された現在地には ID の 0 と、緯度経度から住所への逆ジオコーディングによってグループ番号が付加され、同一グループ番号内の最短距離に属する交差点と接続される。

現在地から数箇所の避難所までの最短経路を求めるにあたって、経路数が多いとデータ量や計算時間が大きくなる。このため、まず現在地から半径 1 km 以内の避難所を測地線航海算法で探索する。次に現在地、避難所、中継所、交差点における各 2 点間の距離をコストとして、ダイクストラ法を用いて最短避難経路を求める。

現在地から避難所までの最短経路は一意に決まる。しかし、現在地までの過去に移動した経路はユーザによって異なる。ユーザがログインしない場合は、携帯電話では現在地と個別識別番号をデータベースに、ノート PC では現在地をキャッシュに保存することによって移動経路を表示する。ログインした場合は、ユーザ名と現在地をデータベースに保存することによって、移動途中で携帯電話が利用できなくなった場合に、ノート PC で継続して移動経路を表示する。

3. システム構成

図 2 は本システムの構成を示している。クライアントは携帯電話とノート PC などのモバイル端末で構成され、サーバはユーザの権限によって異なる情報が提供できるコミュニティサイトで構成されている。実線はデータベースへの登録の流れで、破線は表示の流れである。以下では図中の①から⑦を順番に述べる。①管理ユーザ（行政担当者など）や登録ユーザ（ボランティアなど）は、ノート PC を用いて「経路登録部」で数値地図 2500 を基に ID とグループ番号を付加した経路情報をデータベースに一括登録する。道路が通行不能になった場合は、最新の情報に変更される。②管理ユーザや登録ユーザは「避難所登録部」にアクセスして、避難所や中継所の名前、位置などをデータベースに登録する。モバイル端末を用いて測位した避難所の位置や、画像に含まれる位置情報を基に登録することも可能である。③一般ユーザは「避難所表示部」にアクセスする。④携帯電話の場合、GPS 衛星や基地局の測位要求が中継会社に送信され、中継会社を経て測位された現在位置が携帯電話に送信される。⑤携帯電話の現在地と個体識別番号がサーバに送信され、データベースに登録される。

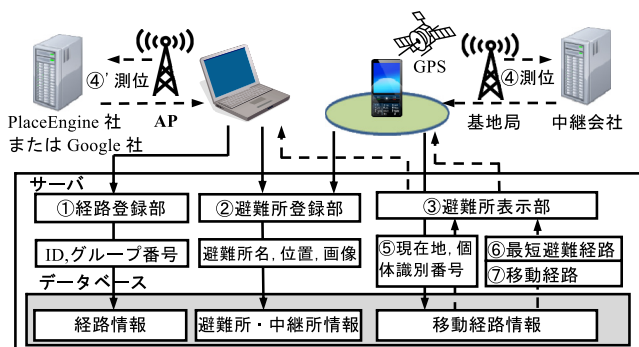


図 2 災害時最短避難経路提示システムの構成
Fig. 2 Structure of the disaster evacuation system.

⑥サーバでは現在地から半径 1 km 以内の避難所を基にダイクストラ法によって最短避難経路が求められ、⑦移動経路とともに携帯電話上に表示される。④ノート PC の場合、PlaceEngine 社または HTML5.0 の Geolocation によって Google 社から WiFi のアクセスポイント (AP) と IP アドレスを基に測位された現在地がノート PC に送信される。⑥サーバで計算された最短避難経路と、⑦移動経路がノート PC 上に表示される。

4. 実験結果

GPS 付き携帯電話や WiFi 付きノート PC を用いて避難所までの最短避難経路と移動経路を示すことによって、経路算出法による避難経路の違い、通行不能箇所による避難経路の変化を検討する。また、測位誤差と経路算出法の誤差について検討する。

4.1 最短避難経路と移動経路の表示

図 3 (a) は WiFi 付きノート PC (PlaceEngine) で測位し、GoogleMapsAPI 関数で求めた避難所までの最短経路を示している。左下の「現在地を取得」をクリックすると、アクセスポイントを基に緯度経度が取得される。現在地 (⊙) と半径 1 km 以内の避難所 5 カ所がマーカーで示される。最短避難所 A は直線 (細線) と経路 (太線) で同一であるが、川があるため 2 番目は避難所 E (直線) ではなく、実際は橋を渡った避難所 B の経路となる。道路のない場所や構内が考慮できないため、現在地と交差点、避難所 A や B の各入口と交差点とは接続されず、周辺の道路で止まっている。マーカーをクリックすることによって避難所情報が表示される。実際の経路は避難所 A の西門が閉鎖されているため、(a) の経路どおりには通行できない。

図 3 (b) は WiFi 付きノート PC (Geolocation) で測位し、提案手法で求めた避難経路を示している。避難所 A までは実際に歩く最短経路に近く、直線と GoogleMapsAPI



(a) GoogleMapsAPI による避難経路
(a) The shortest routes by GoogleMapsAPI



(b) 提案手法による避難経路
(b) The shortest routes by proposed method

図 3 WiFi 付きノート PC による避難所と避難経路

Fig. 3 Shelters and evacuation routes on GoogleMap using laptop PC with WiFi.



(a) 通行可(携帯電話) (b) 通行可(スマートフォン) (c) 通行不可(スマートフォン)
 (a) (b) In case of a non-broken bridge (left, center) (c) In case of a broken bridge (right)

図 4 「橋」の通行可否による避難所と避難経路の違い

Fig. 4 Difference of shelters and routes between a non-broken bridge and a broken bridge.

関数の中間の経路となっている。現在地は道路からわずかに外れているが、同一グループに属する最短距離の交差点と直線で接続されている。また、避難所 A や B の各入口と交差点とは表 1 の接続先 ID に従って接続されている。細線はデータベースに登録されている経路を示し、経路の交点(交差点)には ID が付加されている。交差点間の多くは直線にもかかわらず、道路に沿っている。また、数多い経路を迂回することなく、ダイクストラ法で計算された最短経路が太線で表示されている。避難所までが同一距離となる最短経路がいくつかある場合は、ID 順で最初の最短経路が表示される。最新の経路情報を基に、つねに再計算された最短避難所と経路が表示される。

図 4(a) は GPS 付き携帯電話で測位し、提案手法で求めた避難経路を示している。エージェントが判別され、地図の下部に DoCoMo と表示されている。左上の「現在位置登録」をクリックすると緯度経度が取得される。現在地から半径 1 km 以内の最短避難所 2 カ所がマークで示され、最短経路とともに表示されている。現在地(⊙)までの太線は図 3(b) の避難経路に沿って歩いた移動経路を示している。

4.2 通行不能箇所による経路変化

図 4(b) と (c) は図 4(a) の現在地から GPS 付き携帯電話の代替として、GPS 付きスマートフォンで 10 秒ごとに自動測位しながら歩いた移動経路と避難経路を示している。(b) は橋が通行可の場合であり、現在地の移動とともに、(a) の避難所 A と B が避難所 B と C に変化している。また、現在地は単純な最短距離の交差点との接続ではなく、グループ番号が橋(200)と川岸(100)で異なる場合は、住所に属するグループ番号(100)の交差点と接続されている。経路登録部(図 2①)にアクセスして 2 カ所の ID をマークするとフラグが立つので、道路を容易に通行不可にできる。(c) は洪水で避難所 B への橋を通行不可(図 1

の ID4 と ID8 をマーク)とした場合で、現在地が同一でも (b) の避難所 B と C が避難所 C と A に変化している。また、(c) の現在地から避難所 A への経路は (c) をたどるほうが、(a) を戻るより最短であることが分かる。すなわち、実際にはつねに最新の現在地を基にした経路を避難所までたどればよい。

4.3 測位誤差と経路算出誤差

モバイル端末を用いて本システムにアクセスすることによって表示される現在地を、屋外の基準点(緯度 37.359594, 経度 140.381917)とアクセスポイント(基準点から 20 m 離れた点)の各位置で 10 回測位した。ただし、図 3(a) の WiFi 付きノート PC (PlaceEngine) と図 4(a) の GPS 付き携帯電話は「現在地を取得」をクリックしたときを 1 回とし、図 3(b) の WiFi 付きノート PC (Geolocation) と図 4(b) の GPS 付きスマートフォンはアクセスして約 30 秒間は測位値が 1 秒ごとに変化するので、一定となった値を 1 回としている。表 2 は基準点で測位した緯度経度の最頻値、直線距離での平均誤差、標準偏差を示している。「GPS 付き携帯電話」は GPS 衛星の移動にもなって現在地が毎回変化するため、標準偏差はやや大きい。1 回ごとの平均誤差は 21 m であるが、10 回測定した平均緯度と平均経度から求めた誤差は 4 m で、カタログの誤差 10 m 以内である。アクセスポイントの影響を受けないため、アクセスポイントでの平均誤差と標準偏差は表 2 と変わらない。GPS のない「携帯電話(簡易位置測定)」は基地局からの電界強度で測位するため、測定回数によらず標準偏差は 0 である。1 つの基地局で広範囲をカバーするため、平均誤差は大きい。しかし、避難所までの相対誤差(= (現在地と基準点との距離)/(平均的な最短避難所までの距離))は 5% 以下である。「WiFi 付きノート PC (PlaceEngine)」はアクセスポイントの出力が小さく、登録したアクセスポイントで電波の届く範囲に限定されるため、平均誤差と標

表 2 携帯電話とノート PC による測位誤差 (屋外)

Table 2 Measurement errors with mobile phones and laptop PCs.

モバイル端末の種類	現在地 (基準点)		平均誤差 [m]	標準偏差 [m]
	緯度	経度		
GPS 付き携帯電話	37.359760	140.382041	21	6
携帯電話 (簡易位置測定)	37.359237	140.382270	51	0
WiFi 付きノート PC(PlaceEngine)	37.359584	140.382128	18	1
WiFi 付きノート PC(Geolocation)	37.359771	140.381776	23	8
WiFi+GPS 付きスマートフォン	37.359582	140.382041	11	2
GPS 付きスマートフォン	37.359531	140.381817	11	2

表 3 算出法による 2 点間の距離

Table 3 Distances from current location to shelters given by the calculation methods.

算出法		現在地からの距離[m]				
		避難所 A	避難所 B	避難所 C	避難所 D	避難所 E
計算値	測地線航海算法 (直線)	279	684	927	576	487
	geoGetDistance (直線)	279	684	927	576	487
	loadFromWaypoints	864	1169	1268	1393	1579
	提案手法	371	1053	1174	1441	1503
実測値		389	1078	1193	1462	1537

標準偏差は小さい。アクセスポイントでの平均誤差は 3m, 標準偏差は 0m とさらに小さい。「WiFi 付きノート PC (Geolocation)」は IP アドレスと登録していないアクセスポイントとを併用するため、平均誤差は PlaceEngine に比べて大きい。アクセスポイントでの平均誤差は 12m, 標準偏差は 0m である。「WiFi+GPS 付きスマートフォン」と「GPS 付きスマートフォン」の平均誤差は同じであるが、アクセスポイントでの前者は平均誤差 3m, 標準偏差 0m で、後者 (表 2 と同じ) に比べて小さい。屋外での平均測位誤差の小さい順は WiFi+GPS 付きスマートフォン, GPS 付きスマートフォン, WiFi 付きノート PC, GPS 付き携帯電話, 携帯電話である。

表 3 は現在地 (表 2 の基準点) から図 3(a) の避難所 5 カ所までの距離を示している。測地線航海算法と GoogleMapsAPI 関数の geoGetDistance は同一値である。loadFromWaypoints は避難所構内の経路と入口が考慮できず、周辺の道路で止まるため、実測値との誤差は構内の広い学校 (避難所 A, B, C) では大きく、狭い公民館や公園 (避難所 D, E) では小さい。それに対して、提案手法は geoGetDistance より長く、loadFromWaypoints を補正した値を示している。実測値はアナログメジャーを用いて提案手法に沿った経路で避難所までを 3 往復した距離の平均値である。アナログメジャーの往復の平均誤差は 8m 以下である。提案手法と実測値は、表 3 の各避難所から隣接する 2 カ所の最短避難所までをさらに合計 10 カ所測定した。その結果、提案手法はカーブを除いて交差点間を直線としているが、実測値との相対誤差 (= (実測値 - 計算値)/実測値) は 5%以下を得た。実測値は道路の凸凹、横断歩道を渡るなどのために計算値よりやや長い。

5. まとめ

本論文では、災害時にモバイル端末を用いて現在地を測位し、避難所までの最短経路をダイクストラ法で求め、避難誘導するシステムを開発した。このため、避難所や交差点に ID とグループ番号を付けることによって、通行不能箇所を考慮した経路を作成する方法を提案した。また、携帯電話が利用できない場合はノート PC で代替することによって、避難経路と移動経路を継続して GoogleMap 上に表示した。実験では避難所の入口や構内を考慮し、通行不能箇所を避けた実経路に近い表示ができた。提案手法による最短避難所までの距離 (計算値) は、実測値に対して相対誤差 5%以下であることを示した。東日本大震災時には避難所 B 付近の橋が通行不能となり、周辺の道路が混雑した。現在、この付近に車の通行可能な橋が建設中であり、完成すれば災害時の避難に有用となることが検討できた。

参考文献

- [1] 川村尚生, 菅原一孔: パスネットワークのための実用的な経路探索システム, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.2, pp.780–790 (2007).
- [2] 勝又雅史: GoogleMapsAPI プログラミング入門, アスキー・メディアワークス (2010).
- [3] 渡邊博之, 成田祐一, 大山勝徳, 加瀬澤正, 武内 惇, 竹中豊文: GoogleMap と数値地図 2500 を活用した災害時最短避難経路提示システムの開発, 情報処理学会研究会報告第 45 回高度交通システム研究会, ITS45, Vol.2011, No.3, pp.1–8 (2011-6).
- [4] 土屋隆司, 杉山陽一, 山内香奈, 藤浪浩平, 有澤理一郎, 中川剛志: 列車ダイヤや乱れ時における経路選択支援システムとその受容性評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.868–880 (2008).
- [5] 国土地理院: 数値地図 2500 (空間データ基盤) について, 国土交通省 (オンライン), 入手先 (<http://www.gsi.go.jp/>)

geoinfo/dmap/dm2500sdf/index.html).



渡邊 博之 (正会員)

昭和 31 年生. 1979 年日本大学工学部電気工学科卒業, 1981 年同大学院工学研究科電気工学専攻修了. 同年同大学工学部助手, 2000 年同准教授, 現在, 学習支援システムの開発と教育評価に関する研究に従事. 博士 (工学).

IEEE, 電子情報通信学会, 日本工学教育協会各会員.



成田 祐一 (正会員)

昭和 36 年生. 1986 年東京理科大学理学部物理学科卒業, 1991 年東京都立大学大学院理学研究科物理学専攻修了. 2001 年日本大学工学部准教授, 現在, データベース技術を用いた Web アプリケーションの研究に従事. 博士 (理学博士).

電子情報通信学会, 日本データベース学会, 日本物理学会各会員.



大山 勝徳 (正会員)

昭和 53 年生. 2001 年日本大学工学部情報工学科卒業, 2007 年同大学院工学研究科情報工学専攻修了. 日本大学工学部助教, 現在, ナレッジメントをベースに情報通信システムの構成法の研究に従事. 博士 (工学).

IEEE 各会員.



加瀬澤 正 (正会員)

昭和 35 年生. 1983 年東北大学工学部通信工学科卒業, 1998 年同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻修了. 日本大学工学部教授, 現在, 画像信号処理, 画像符号化の研究に従事. 博士 (情報科学).

電子情報通信学会, 映像情報メディア学会各会員.



武内 惇 (正会員)

昭和 21 年生. 1970 年日本大学理工学部電気工学科卒業, 1972 年北海道大学大学院工学研究科電子工学専攻修了. 日本大学工学部教授, 現在, 情報通信を用いたコミュニティ活性化技術の研究に従事. 博士 (工学).

電子情報通信学会, 人工知能学会各会員.



竹中 豊文 (正会員)

昭和 25 年生. 1973 年京都大学工学部数理工学科卒業, 1975 年同大学院工学研究科数理工学専攻修士課程修了. 同年日本電信電話 (株) 入社. 1999 年日本大学工学部教授, 現在, アドホックネットワークとセルラーネットワーク

の連携技術の研究に従事. 工学博士. ACM, IEEE (シニアメンバ), 電子情報通信学会 (フェロー) 各会員.