

帰宅困難者のためのGPSを用いた リアルタイム地図作成システム

于文龍^{1,a)} 榎原博之^{2,b)} 松崎頼人^{1,c)} ラガワンベンカテッシュ^{3,d)}

概要: 日本は地震災害が多発する世界有数の地震国である。日本で震災が起こると多くの帰宅困難者が発生する。帰宅困難者の多くは移動端末を所持しているが、通信障害のため利用できない可能性が高い。本研究では、移動端末のGPSと無線LAN機能を用いて、リアルタイムで通行可能な道路地図を作成するシステムを提案する。本システムは地震災害時における帰宅困難者の支援に応用することを目指している。性能評価として、大阪府大阪市阿倍野区、神奈川県横浜市旭区の地図情報を基にシステムをモデル化してシミュレーション実験を行う。その結果から、神奈川県横浜市旭区の場合は移動端末数が1000台あれば、1分以内に完成度ほぼ100%の地図を作成することができる。

キーワード: GPS, 移動端末, アドホックネットワーク, 帰宅困難者

Real-time Mapping System Using GPS for Stranded Commuters

YU WENLONG^{1,a)} EBARA HIROYUKI^{2,b)} MATSUZAKI RAITO^{1,c)} RAGHAVAN VENKATESH^{3,d)}

Abstract: Japan is known as one of the world's most quake-prone countries. Many commuters are stranded if an earthquake occurs in Japan. Most of the stranded commuters cannot use mobile devices to connect the Internet because of communication failure. In this paper, we propose a Real-time Mapping System based on GPS and wireless LAN function of the mobile devices. In this system, we aim to support for stranded commuters in an earthquake disaster. As performance evaluation, we perform simulations with modeling systems based on maps of Abeno-ku, Osaka and Asahi-ku, Yokohama. As a result, our proposed system creates a map almost completely by 1000 mobile devices within 1 minute in Asahi-ku.

Keywords: GPS, Mobile device, Ad-Hoc network, Stranded Commuter

1. はじめに

地震災害が多発する世界有数の地震国である日本は、1995年に発生した阪神・淡路大震災や2011年に発生した

東日本大震災により特に多大な被害を被っている。震災が起こると多くの帰宅困難者が発生する。また、通信インフラの途絶や停電などの被害を被り、携帯などの通信機器はインターネットに接続できない状態に陥るため、帰宅困難者は必要な情報を得られず、パニックを引き起こす。そのため、帰宅困難者への支援は非常に重要な課題である。

近年、位置情報の技術は、急速な進歩を遂げている。当初、GPS技術は航空機や測量機に利用されていたが、近年では車やモバイル端末などにも搭載され、ここ数年で普及している。また、近年の半導体技術の進歩により高性能なモバイル端末が登場しており、地図情報サービスと連携することで災害救助の領域において広く利用できる可能性が

¹ 関西大学大学院理工学研究科
Kansai University Graduate School for Science and Engineering

² 関西大学システム理工学部
Kansai University Faculty Of Engineering Science

³ 大阪市立大学大学院創造都市研究科
Osaka City University Graduate School for Creative City

a) yule_tt@yahoo.co.jp

b) ebara@kansai-u.ac.jp

c) luigilike8rai@yahoo.co.jp

d) raghavan@media.osaka-cu.ac.jp

ある。しかし、通話やインターネット接続は期待できない場合もある。

本研究では、帰宅困難者を支援するため、モバイル端末のGPS機能と無線LANネットワークを用いて位置情報をモバイル端末同士で共有し合い、リアルタイムで通行可能な道路地図を作成するシステムを提案する。本システムは、GPS機能を用いて、モバイル端末の一定時間内の移動情報を記録し、その情報から経路を作成する。そして、通信インフラを使用せず、複数のモバイル端末の経路を無線LANによるアドホックネットワークを介して共有し、リアルタイムで通行可能な経路の地図を作成する。既存の通信インフラを利用せず、モバイル端末同士で直接通信するので、モバイル端末のバッテリーが長く限りシステムは動作し、災害時の避難や帰宅困難者の支援に十分応用できると考える。

2. 関連研究

現在、地図情報に関する様々な研究が行われている。インターネットのようなインフラ機能を利用するかしないか、地図情報は共有できるか、どのような通信機器を利用するかなど、研究の方針も多様である。ここでは、本研究と同様にGPSを利用した地図情報に関する研究を紹介する。

- (1) GPS機能を搭載した車を利用して、リアルタイムに都市の交通状況を提供するW.Shi[1]らの研究がある。この研究では、都市道路網上のGPS搭載車からのGPSトラックデータを収集し、有効的な交通状況情報を随時更新することができ、交通渋滞状況などを掌握することができる。この研究では、クラスタのGPSトラックデータを効率的に地図として利用する方法を提案し、交通状況推定により交通信号の影響を除去することができる。また、中国上海のGPSタクシースケジューリングデータに基づいて実験を行っており、その結果から、システムの有効性を実証している。
- (2) GPS機能を搭載した車を利用して、GPSトラックデータから都市道路網を抽出するX.Song[2]らの研究がある。この研究では、動いている車のGPSトラックデータから都市道路網を作成することができる。この研究は、GPSトラックデータの精度に主眼をおいた研究となっている。車の速度、角速度や方向などのパラメータの変更から、低精度のGPSトラックデータを修正することができる。また、Hausdorff空間とFrechet空間を活用し、地図データの精度を向上させることができる。最後に、大阪市杉本町エリアのデータを使用して実験を行っている。その結果、低精度のGPSトラックデータを検出し、削除できることを示している。

3. 帰宅困難者のためのGPSを用いたリアルタイム地図作成システム

3.1 システム要件

現在、多くの地図作成システムや地図サービスがこれまでに開発されている。しかし、多くのシステムはインターネットに接続されていない状態(オフライン)では利用できず、特に災害時に利用できない。本研究では、従来の問題を克服した新たな地図サービスを提供するため、GPS衛星情報を利用したリアルタイム地図作成システムを提案する。本システム設計の目標を以下に示す。

- (1) インターネットに接続されていない状態でも利用することができる。
- (2) アドホックネットワーク上で情報を交換することができる。
- (3) リアルタイムで、通行可能な道路地図を表示することができる。
- (4) 作成した地図上に、最新情報を随時更新することができる。

提案システムでは、各モバイル端末のGPS情報を利用し、一定時間内の移動経路を各モバイル端末内に記録する。また、各モバイル端末はアドホックネットワークを構築し、基地局を介さずに通信を行う。アドホックネットワーク内にいる各端末は互いに地図情報を交換し、自身の地図情報と統合することで地図情報を更新することができる。

3.2 システムの構築

本論文で提案するシステムでは、位置情報の取得にGPS機能、モバイル端末間通信にアドホックネットワークを使用する。また、アドホックネットワークの構築には無線LANを用いるものとする。

3.2.1 位置情報の取得とGPSトラックの生成

位置情報を取得するには、モバイル端末のGPS機能を利用する。モバイル端末は、所有者の現在地について、緯度や経度などの情報をGPSにより定期的に自動受信し、保存する。このデータから所有者の進行方向を割り出し、進行方向が変わった地点の位置情報をGPX(GPS eXchange Format)ファイルとして保存する。GPXファイルとは、GPS装置やGPSソフトウェアなどのアプリケーション間で、GPSのデータをやりとりするためのファイル形式である。このGPXファイルに保存された各位置情報をトラックポイントと呼び、トラックポイントを時刻順につないだ移動経路の情報をGPSトラックと呼ぶ。GPS情報の受信間隔を1秒としたGPSトラックの例を図1に示す。

GPSからの受信データの詳細を以下に示す。

(1) 緯度データ

緯度は-90~90度の範囲で、北が正の値になる。値は小数点第6位まで考慮する。(日本では正の値のみ)

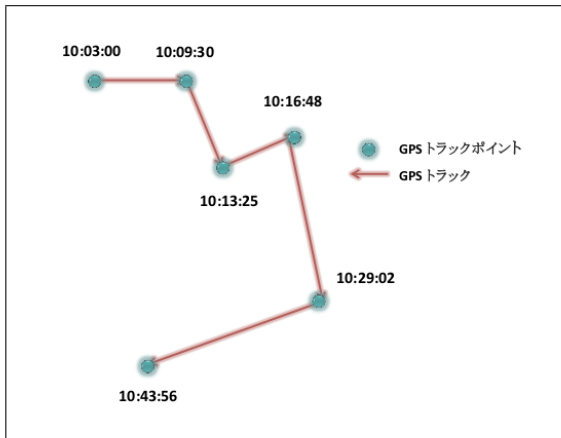


図 1 GPS トラック
Fig. 1 GPS truck

表 1 GPS データ情報

Table 1 Information of GPS data

GPS データ情報	情報量 Byte	内容
端末 ID 情報	6	6 桁の文字列
経度データ	10	小数点後第 6 位まで
緯度データ	9	小数点後第 6 位まで
精度データ	1	レベル 1, レベル 2, レベル 3
高度データ	8	WGS84 で定義されている
時間データ	10	更新時刻 (yyMMddhhmm)
データ識別子	8	データ識別用

(2) 経度データ

経度は-180 ~ 180 度の範囲で、東が正の値になる。値は小数点第 6 位まで考慮する。(日本では正の値のみ)

(3) 精度データ

測位の誤差がどの程度かを示す測位レベルを取得する。誤差が 300m 以上をレベル 1, 50-300m をレベル 2, 50m 未満をレベル 3 とする。

(4) 高度データ

海面を基準とした高度ではなく、世界測地系の最新改訂版 (WGS84) で定義されている準拠楕円体を基準とした高度を米単位で取得する。

(5) 時間データ

GPS 信号の時刻情報により受信地域に応じた現在の時刻を取得する。

GPS データ情報を表 1 に示す。

3.2.2 位置情報の共有

本システムは、無線アドホックネットワークを用いて情報の交換を行う。そのため、まず各モバイル端末は近隣に存在するモバイル端末と無線アドホックネットワークの構築を行う。アドホックネットワークの構築が完了するとフラッディング (flooding) により、データを送信する。フラッディングとは、送信したいパケットをブロードキャストにて通信範囲内の全モバイル端末へ送信し、受信したモバイル端末が再びそのパケットをブロードキャストするこ

とを繰り返す方法で、ネットワーク内の不特定端末へ同一情報の配信を行うものである。

フラッディングの利点として、制御情報は一切不要であり、制御が容易であることがあげられる。しかし、単純なフラッディングはモバイル端末が多いほど、大量のコリジョンを発生させるため、通信品質に影響を与える。この欠点は、TTL(Time To Live) を用いて転送回数を制限することで解決できる。TTL フィールドには、許容 (残余) ホップ数か残存時間 (秒) のどちらかを指定できる。TTL フィールドはデータグラムの送り主が設定し、目的地までのルート上にある全てのノードを経由することで減らされる。データグラムが目的地に到着する前に TTL フィールドがゼロになると、データグラムは破棄される。本研究では、TTL フィールドはホップ数で定義され、各ホップごとに 1 だけ減らされる。

各モバイル端末は、フラッディングによりお互いに GPX ファイルを送受信する。以後、トラックポイントが追加されるたびに、アドホックネットワーク内の端末に新しいトラックポイントの情報を送信する。また、新しいトラックポイントが送信されてきた場合、自分が持っている GPX ファイルに追加する。

3.2.3 地図作成

自分が持っている各 GPX ファイルから GPS トラックを生成し、それぞれの GPS トラックを組合せることで、地図を作成する。この時、位置情報の整理を行って重複ポイントの結合と精度が低いポイントの削除などを行う必要がある。また、人が通った場所は現在通行可能であることを保証できるため、震災発生時は震災発生後に記録した経路情報のみを表示する地図を作成することもできる。図 2 に地図の作成例を示す。

4. 性能評価

本システムは、モバイル端末同士でアドホックネットワークを構築し、GPS 機能を用いて取得・保存した情報を共有することによって、リアルタイムで地図を作成することを目的としている。本章では、このシステムに基づいてシミュレーション実験を行う。

4.1 シミュレーション実験

本シミュレーション実験では、モバイル端末の台数と地図の作成時間によって、地図の完成度などの特性を検討するために行う。

4.1.1 シミュレーション実験の環境

本研究では、Eclipse 上で Java 言語により独自に実装したシミュレータを利用してシミュレーション実験を行う。また、現実的な状況に近いシミュレーションを行うため、国土地理院 [3] から取得した大阪府大阪市阿倍野区と神奈川県横浜市旭区の実際の地図データを利用する。

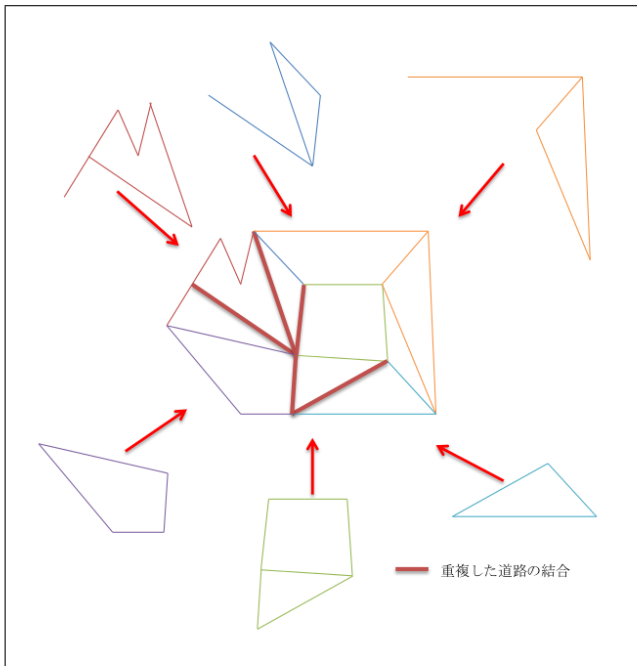


図 2 地図作成の流れ
Fig. 2 Example of mapping

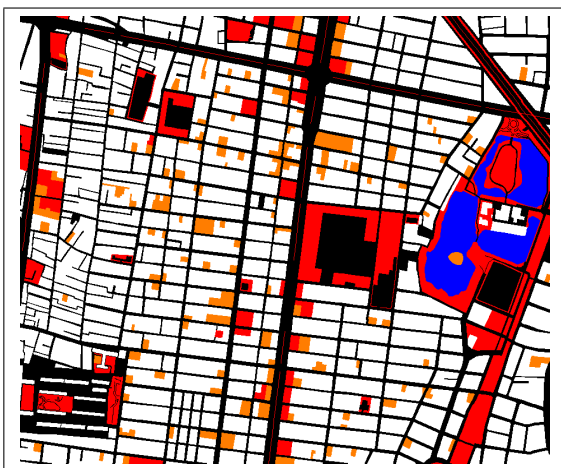


図 3 シミュレーション実験エリア (大阪)
Fig. 3 Map of simulation area (Osaka)

大阪府大阪市阿倍野区 [4], 神奈川県横浜市旭区が被災したもとして, 地図データに任意の被災情報を付け加えたものをシミュレーションに用いる. 地図データは, 道路など通行できる場所を黒色, 被災された危険場所を赤色, 住宅など通行できない場所を白色, 池川など水をたたえた場所を青色, 工場など人が居住していない建物の場所をオレンジ色に色分けしている, シミュレーションでは, 黒色に色分けされた領域上をモバイル端末が通行することで地図を作成する. また, 神奈川県横浜市旭区より大阪府大阪市阿倍野区のほうが区画が狭い. 地図データを図 3, 図 4 に示す. シミュレーション実験におけるパラメータを表 2 に示す.

シミュレーション実験に利用する各パラメータについて



図 4 シミュレーション実験エリア (横浜)
Fig. 4 Map of simulation area (Yokohama)

説明する.

(1) シミュレーション実験範囲

シミュレーションエリアは, 大阪府大阪市阿倍野区と神奈川県横浜市旭区それぞれの一部とし, シミュレーション実験範囲は約 1km^2 とする.

(2) モバイル端末数

モバイル端末数を 200 台, 400 台, 600 台, 800 台と 1000 台の場合に分けてそれぞれシミュレーション実験を行う.

(3) 移動速度

今回のシミュレーション実験では, 人間がモバイル端末を持つことを仮定しているため, 実際の人間の平均移動速度を考慮した $[1.2\text{m/s}]$ に設定している. モバイル端末を持つ人間の移動は, ランダムウェイポイント [5] に従う. ランダムウェイポイントとは, ランダムに目的地を設定し, その目的地に最短経路で移動するものである. ただし, 通常ランダムウェイポイントは, 本シミュレーションのように移動範囲を制限 (エリアの黒い部分のみ移動可能) されると壁などの障害物による行き止まりや袋小路にはまると移動できなくなってしまう. そこで, 本シミュレーションでは, 障害物により移動できない場合は, 一時的に障害物に沿って移動することで問題を解決している.

図 5 に, 大阪府大阪市阿倍野区のシミュレーション実験での 600 秒後の一例を示す. 図中の黄色の実線は各モバイル端末の移動経路を示す.

4.2 シミュレーション実験の結果

大阪府大阪市阿倍野区の時間に対する地図完成度のグラフを図 6, 神奈川県横浜市旭区の時間に対する地図完成度のグラフを図 7 に示す. シミュレーション実験で地図作成を行うモバイル端末数はそれぞれ 200 台, 400 台, 600 台, 800 台, 1000 台と設定する. また, 地図データを 60 秒ご

表 2 シミュレーション実験のパラメータ
Table 2 Parameters in simulations

項目	大阪府大阪市阿倍野区	神奈川県横浜市旭区
シミュレーション範囲	947x799m ²	1000x870m ²
モバイル端末数	200台,400台,600台,800台,1000台	200台,400台,600台,800台,1000台
移動速度	1.2m/s	1.2m/s
実験時間	600秒	600秒
試行回数	5回	5回

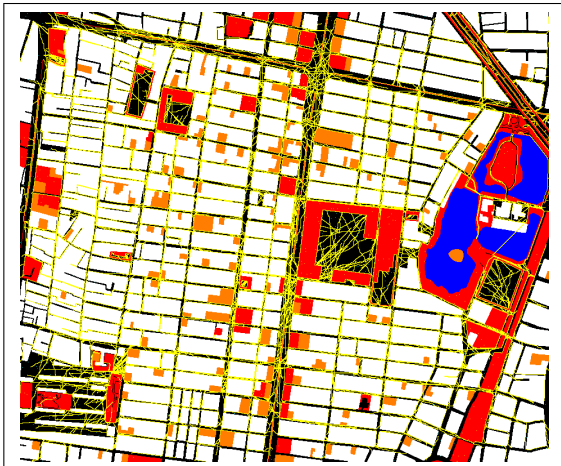


図 5 シミュレーション実験 (大阪)
Fig. 5 Example of simulation(Osaka)

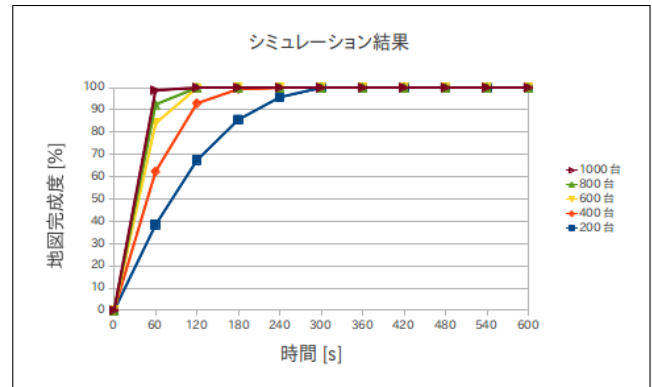


図 7 時間による地図完成度 (横浜)
Fig. 7 The perfection of mapping(Yokohama)

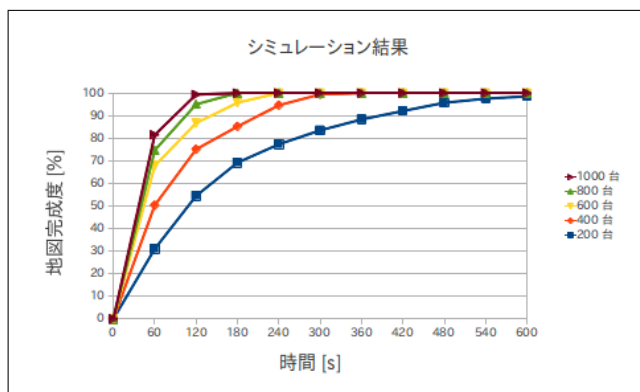


図 6 時間による地図完成度 (大阪)
Fig. 6 The perfection of mapping(Osaka)

とに収集し、試行回数 5 回の平均値を結果として出力する。実験結果から、大阪府大阪市阿倍野区と神奈川県横浜市旭区の両エリアで、どちらの地図完成度も 80%程度まで急激に増加することがわかる。また、大阪府大阪市阿倍野区は 1000 台で 120 秒、800 台で 180 秒、600 台で 240 秒、400 台で 300 秒、200 台で 600 秒に地図完成度 100%に達成することがわかる。神奈川県横浜市旭区は 1000 台で 60 秒、800 台で 120 秒、600 台で 120 秒、400 台で 180 秒、200 台で 300 秒に地図完成度 100%に達成することがわかる。

実験結果から、大阪府大阪市阿倍野区で 200 台のモバイル端末を用いて地図を作成した場合は 60 秒 (1 分) では地図の完成度が 30%と低いが、600 秒 (10 分) で 100%に近づ

くことがわかる。それに対して、1000 台モバイル端末を用いて地図を作成した場合は 60 秒 (1 分) では地図の完成度が 80%と高く、120 秒 (2 分) で 100%に達することがわかる。また、神奈川県横浜市旭区で 200 台のモバイル端末を用いて地図を作成した場合は 60 秒 (1 分) では地図の完成度が 39%と低いが、300 秒 (5 分) で 100%に達することがわかる。結果からモバイル端末数が多いと地図の完成度が高くなる。グラフの特性として、地図完成度は 80%までは急激に上昇するが、80%以上で増加率が減少することがわかる。

4.3 考察

本節では、シミュレーションの結果について考察する。図 6, 図 7 から、大阪府大阪市阿倍野区でモバイル端末 200 台のシミュレーションを行った場合、120 秒 (2 分) では地図完成度が 60%を下回る (54.5%) が、神奈川県横浜市旭区では同様の条件で地図完成度は 60%を上回った (67.4%)。地図完成度に差が生じた理由としては、大阪府大阪市阿倍野区に比べ、神奈川県横浜市旭区は同面積エリアの区画が広く、住宅の面積が広いことが原因と考えられる。モバイル端末数に着目すると、大阪府大阪市阿倍野区のエリアでは 2 分以内に地図完成度を 100%にするには、1000 台以上のモバイル端末が必要であることがわかる。同様に、神奈川県横浜市旭区で 2 分以内に地図完成度を 100%にするには、600 台以上のモバイル端末が必要であることがわかる。また、モバイル端末数を増やすと短い時間で完成度の高い地図が作成できると考えられる。大阪府大阪市阿倍野区で

200 台でも 300 秒 (5 分) で地図完成度が 80% を超える。神奈川県横浜市旭区で 200 台でも 300 秒 (5 分) で地図完成度が 100% に達し、特に 1000 台で 60 秒 (1 分) 以内に完成度 100% の地図を作成することができる。以上の結果から、本システムは十分に利用できると考えられる。

今回、被災した場合の地図作成についてシミュレーション実験を行った。モバイル端末の移動方法をランダムに設定したため、図 14 の赤色で色分けされているような通行することができない危険場所の近くまでモバイル端末は移動した。しかし、実際に人間が移動する場合は通行できない場所に近づかず、他の経路を移動すると考えられる。地図の完成度はシミュレーション結果より低くなると考えられるが、建物の倒壊などで通行できなくなった経路は二次災害が発生することが予測されるため、避難の際は通行しない方が懸命である。よって、実際に本システムを使用した際に地図の完成度が 100% に達しなくとも問題はないと考えられる。また、新たに通行できなくなった経路などの情報をモバイル端末を持つ人間が補正することで、完璧な避難地図を作成できると考えられる。

5. おわりに

本研究では、モバイル端末の GPS 機能とアドホックネットワークを用いて位置情報を共有し、リアルタイムで通行可能な道路地図を作成するシステムを提案した。提案システムは、複数のモバイル端末の経路をアドホックネットワークを介して共有し、リアルタイムで通行可能な経路の地図を作成することができる。また、システムの有効性を評価するため、実際の大府府大阪市阿倍野区と神奈川県横浜市旭区の一部の地図を利用したシミュレーション実験を行った。シミュレーション実験の結果から、作成時間に対する地図完成度によって、システムの妥当性などを検討した。同時に、モバイル端末数の増加によって地図作成時間が大幅に短縮することが分かった。提案システムは十分に利用できると考える。

今後の課題としては、まず、システムの実装である。モバイル端末用のアプリを開発したい。また、本研究で利用したシミュレーションは通信環境において遅延や呼損のない理想的なものとなっている。シミュレーションソフトウェアを通信負荷を考慮したものに改良したい。さらに、作成した地図上で多くの人が集まる所は避難所や休憩施設であると考え、それを表示したり、災害時においての安全な経路を通る最良避難ルートなどの指示機能などを随時追加したい。

参考文献

[1] Shi, W. and Liu, Y.: Real-time urban traffic monitoring with global positioning system-equipped vehicles, *Intelligent Transport Systems, IET*, Vol. 4, pp. 113-120

(2010).

[2] Song, X., Raghavan, V. and Yoshida, D.: Matching of vehicle GPS traces with urban road networks, *Current Science(Bangalore)*, Vol. 98, pp. 1592-1598 (2010).

[3] 国土交通省: 国土地理院, (オンライン), 入手先 (<http://www.gsi.go.jp/>) (2013.02.08).

[4] 大阪市阿倍野区役所: 大阪市阿倍野区の統計, (オンライン), 入手先 (<http://www.city.osaka.lg.jp/abeno/page/0000001145.html>) (2013.02.08).

[5] 松崎頼人, 榎原博之: 地震時におけるスマートホームを利用したアドホックネットワーク, 情報処理学会論文誌. MPS, 数理モデル化と応用, Vol. 6, pp. 1-15 (2013).

[6] 間瀬憲一, 阪田史郎: アドホック・メッシュネットワーク - コピキタスネットワーク社会の実現に向けて, コロナ社 (2007).

[7] C. K.Toth: アドホックモバイルワイヤレスネットワーク プロトコルとシステム, 技術評論社 (2003).

[8] 政勝青木, 俊一米村, 伸洋武藤, 匡伸阿部: 携帯電話を用いた災害時情報共有システムにおける入力手法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 107, pp. 31-36 (2008).

[9] 直治山田, 佳徳磯田, 正輝 南, 博之森川: GPS 搭載携帯電話を用いた移動経路履歴に基づく訪問地・経路地予測システム, 情報処理学会研究報告. コピキタス・センサネットワーク, Vol. 110, pp. 1-8 (2010).

[10] 安藤暁史: GPS 携帯電話端末を利用した災害情報収集・提供システムの開発, 地理情報部技術報告, No. 10, pp. 17-20 (2004).

[11] 坂本大吾, 橋本浩二, 米本清, 柴田義孝: 無線を利用した防災・災害情報ネットワークシステムの基本的考察, 情報処理学会研究報告. マルチメディア通信と分散処理研究会報告, Vol. 2000, pp. 7-12 (2000).

[12] Yoshida, D., Song, X. and Raghavan, V.: Development of track log and point of interest management system using Free and Open Source Software, *Applied Geomatics*, Vol. 2, pp. 123-135 (2010).

[13] Anagnostopoulos, C. and Hadjiefthymiades, S.: Optimal, quality-aware scheduling of data consumption in mobile ad hoc networks, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 72, pp. 1269-1279 (2012).

[14] Magnusson, C., Rassmus-Gröhn, K. and Szymczak, D.: Navigation by pointing to GPS locations, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 16, pp. 959-971 (2012).

[15] Lwin, K. and Murayama, Y.: Web-based GIS system for real-time field data collection using a personal mobile phone, *Journal of Geographic Information System*, Vol. 3, pp. 382-389 (2011).

[16] Shah, S., Bashir, A., Chauhdary, S., Jiehui, C. and Park, M.: Mobile ad hoc computational grid for low constraint devices, *Future Computer and Communication.*, Vol. 10, pp. 416-420 (2009).

[17] Haerri, J., Fiore, M., Filali, F., Bonnet, C., Chiasserini, C. and Casetti, C.: A realistic mobility simulator for vehicular ad hoc networks, *Eurecom Technical Report* (2005).

[18] Cain, J., Bernhardt, R. and Windham, W.: Mobile ad hoc network (MANET) providing connectivity enhancement features and related methods (2006).

[19] Wolf, J. and Guensler, R.: Using GPS data loggers to replace travel diaries in the collection of travel data, *Dissertation, Georgia Institute of Technology* (2001).

[20] Čapkun, S., Hamdi, M. and Hubaux, J.: GPS-free positioning in mobile ad hoc networks, *Cluster Computing*, Vol. 5, pp. 157-167 (2002).