Vol.2014-MBL-70 No.40
Vol.2014-UBI-41 No.40
2014/3/14

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の再検討

～Network Simulator 2 によるシミュレーション

于 文龍[1,a)]　榎原 博之[2,b)]　松崎 頼人[3]　吉田 大介[1]　ラガワン ベンカテッシュ[1]

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，移動端末間の無線通信機能と GPS などから得られる端末の移動履歴を用いて，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，大阪府大阪市旭区の一部地図情報を基にシステムをモデル化し，ネットワークシミュレータ NS-2[1] を利用することで，シミュレーション実験を行う．シミュレーション結果から，4568m x 2988m の領域を対象に移動端末数が 2000 台あれば，30 分以内に完成度がほぼ 100%の地図を作成することができ，提案手法が有用であることが示された．

キーワード：GPS，移動端末，遅延耐性ネットワーク，帰宅困難者，NS-2

A Revisit of: Real-time Mapping System Using GPS for Stranded Commuters

～A Simulation by Network Simulator 2

Yu Wenlong[1,a)]　Ebara Hiroyuki[2,b)]　Matsuzaki Raito[3]　Yoshida Daisuke[1]
Raghavan Venkatesh[1]

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. Using the position information and DTN(Delay Tolerant Network) which are automatically recorded during those users' rescue operations. As performance evaluation, we perform simulations with modeling systems based on maps of Asahi-ku, Osaka. The results from the experiments have shown that our method could achieve certain accuracy within reasonable time.

Keywords: GPS, Mobile device, DTN, Stranded Commuter, NS-2

[1] 大阪市立大学大学院創造都市研究科
Osaka City University Graduate School for Creative City
[2] 関西大学システム理工学部
Kansai University Faculty Of Engineering Science
[3] 関西大学大学院理工学研究科
Kansai University Graduate School for Science and Engineering
[a)] yule_tt@yahoo.co.jp
[b)] ebara@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

世界有数の地震国である日本は，昔から地震による多くの被害を受けてきた．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

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

する．帰宅困難者の問題点としては、居住地以外での避難支援が必要となること、普段利用しない経路を徒歩で長距離移動して帰宅しなければならないことが挙げられる．また，通信インフラの途絶や停電などの被害を被り，携帯電話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可能性がある．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．モバイル端末を用いた様々なサービス，例えば，ナビゲーションや現在地における周辺情報の検索などの位置情報サービスなどが提案されている．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で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，無線 LAN による遅延耐性ネットワークを介して複数のモバイル端末の経路情報を共有することで，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が続く限りシステムは動作することができる．災害で既存のネットワークインフラが遮断された際にも，被災地域内の時々刻々と変化する被災地情報と緊急避難地図を帰宅困難者に伝達することができる．

提案システムの地図完成時間や通信特性などについて，ネットワークシミュレータ NS-2 を利用し，シミュレーションによる性能評価や考察を行うことで，提案システムの有効性を示す．

2. 関連研究

現在，位置情報に関する研究が盛んに行われている．インターネットのような通信インフラ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，本研究と同様にモバイル端末の GPS 機能を利用した地図情報に関する研究を紹介する．

(1) モバイル端末間の無線通信履歴とモバイル無線端末の GPS から得られる端末の移動履歴を用いて，建物などの位置および形状を推定する南本真一 [2] らの研究がある．この研究は，災害発生時に効率の良い傷病者救助活動を行うためには，災害現場の地理情報，特に，現在移動可能な領域を推定することを目的とする．建物の倒壊や道路の寸断，建造物情報の不足などにより，既存の地図では災害時に利用するには不十分な場合が多い．提案手法では医療従事者などが保持するモバイル無線端末の GPS 機能を利用し，それらの人員が領域を歩き回ることで得られる端末間の通信情報と，端末の位置情報のみを用いて障害物の位置や形状を推定し，対象領域医院内全体の障害物地図を自動作成する．また，150 m × 190 m 内にいくつかの建造物が存在する領域を対象に，シミュレーション実験を行い，提案手法が有用であることを示している．

(2) 大規模災害が都市部に起こった際に，従来のゲーム機で利用されるすれちがい通信をモバイル端末で利用することで，災害時における避難誘導を支援システムを提案する藤原 [3] らの研究がある．この研究では，初期に地図や周辺の避難所に関する情報を既に保持していることを仮定している．避難者が避難所へ避難中に被災箇所の情報 (被災による通行不能箇所や危険地帯) をモバイル端末を用いて収集し，出会った被災者同士で情報共有を行う．提案システムでは保持している地図情報の上に，被災箇所を通らないよう被災箇所の情報を野除いて，避難経路を提示することができる．数値シミュレーションにより評価し，提案システムを利用することで避難時間が避難者の渋滞の有無にかかわらず，大幅に短縮できることを確認した．

(3) 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 [4] 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．

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

最近では，モバイル端末を用いた様々なサービスを提供している．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，特に災害時には利用できない．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．本研究では、近年において研究が盛んに行わ

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

れている遅延耐性ネットワークを活用することで、通信インフラの崩壊によりウェブサービスが完全停止した際にも通行可能な道路の位置情報を転送することができる． 遅延耐性ネットワーク (DTN: Delay Tolerant Network) は，比較的長い通信遅延を許容した上で情報伝送を行うためのネットワークである．

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) 遅延耐性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．

本システムでは，初期には地図と周辺に関する情報を保持していない．帰宅困難者はモバイル端末の GPS 機能を利用し，情報収集しながら避難する．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，各モバイル端末は遅延耐性ネットワークを構築し，基地局を介さずに通信を行う．遅延耐性ネットワーク内にいる各端末は，もし他の被災者と出会った場合，自動的に互いの地図情報を共有し，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．各モバイル端末は常に最新の地図情報を持っているため，帰宅困難者に対して十分支援することができる．



図 1 GPS トラック
Fig. 1 GPS track

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

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遅延耐性ネットワークを使用する．また，遅延耐性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 トラックを**図 1** に示す．

GPS からの受信データの詳細を以下に示す (**表 1**).

(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．(日本国内では正の値のみ)
(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．(日本国内では正の値のみ)
(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 としている．
(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 m 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．

3.2.2 位置情報の共有

本システムは，無線遅延耐性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遅延耐性ネットワークの構築

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

を行う．遅延耐性ネットワークの構築が完了すると感染型ルーティングにより，データを送信する．感染型ルーティングとは，出会った際に片方しか持っていない情報をお互いに全て共有することである．この種のルーティングは一般的に情報転送の速度は早くなる．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．情報共有も位置情報のような小さなデータを共有する場合は，機能することが期待できる．しかし，情報を保存するメモリが少ないときには情報のフラッディング (flooding) を起こし，転送する前にパケットを損失する可能性もある．また，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．

最初に各モバイル端末は，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．その後，トラックポイントが追加されるたびに，遅延耐性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

各モバイル端末が自分の持っている各 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．つまり，被災地情報を早期段階で効率的に統合することができる．**図 2** に地図の作成例を示す．

4. 性能評価

本章では，我々の提案した GPS を用いたリアルタイム地図作成システムの性能評価を数値的に検証するにあたって，被災地や帰宅困難者などをモデル化して，シミュレーション実験を行う．シミュレーション実験について，評価目的と構成方法を述べ，結果を考察する．

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から，地図の完成度などの特性を検討する．

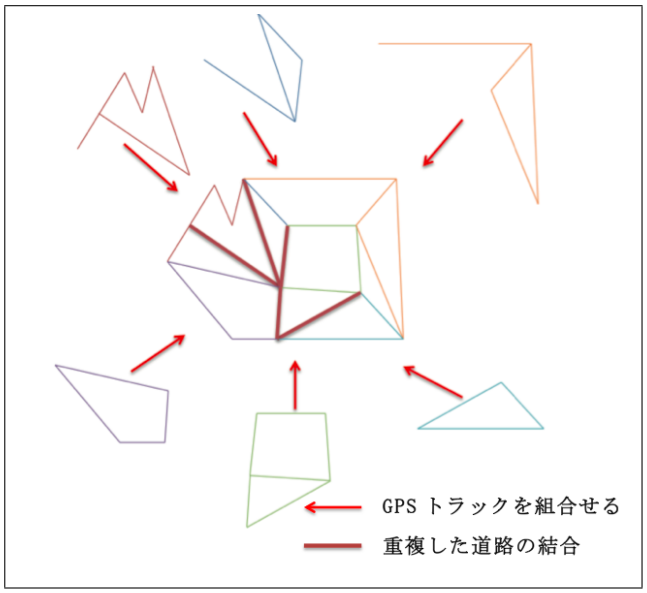


図 2 地図作成の流れ
Fig. 2 Example of mapping

また，gawk[5] を利用し，シミュレーションの出力ファイルを効率的に処理してシステムの通信遅延，通信頻度，呼損，通信負荷なども評価する．今回のシミュレーション実験では，物理的なリンクの確保が約束されないネットワーク環境下において，送信モバイル端末から宛先モバイル端末までデータを送る際に，中継モバイル端末でデータを保持しながら，通信可能になった時点でデータが転送できる状態を仮定している．

4.1.1 シミュレーション実験の環境

本研究では，ネットワークシミュレータ (NS-2: Network Simulator version 2) 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 [6] から取得した大阪府大阪市旭区の実際の地図データを利用する．

大阪府大阪市旭区 [7] が被災したものとして，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，住宅など通行できない場所を灰色，池川など水を湛えた場所を青色，公園など木が植えられている場所を緑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．大阪府大阪市旭区の地図データを**図 3** に示す．この地図データを利用し，地図上のモバイル端末移動記録を座標データとして記録し，ネットワークシミュレータ (NS-2) を通じて実際の通信状況を分析する．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．各パラメータについて説明する．

(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，大阪府大阪市旭区の一部とし，シミュレーション実験範囲は約 $13.8km^2$ と

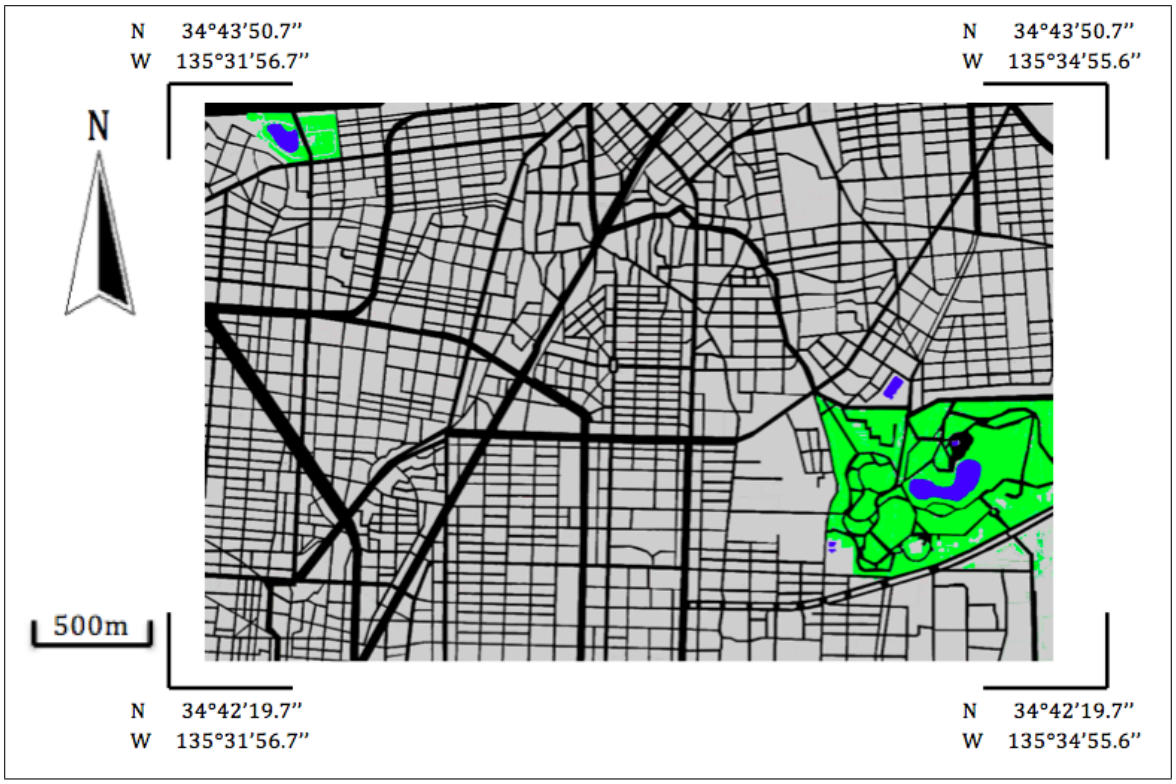


図 3 シミュレーション実験エリア (大阪市旭区)
Fig. 3 Map of simulation area (Asahi-ku, Osaka)

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	大阪府大阪市旭区
シミュレーション実験範囲	4568 x 2988m^2
モバイル端末数	1000 台〜2000 台 (200 台ごと)
移動速度	1.2m/s
通信距離	30m
実験時間	3600 秒
試行回数	10 回

する．

(2) モバイル端末数

モバイル端末数を 1000 台，1200 台，1400 台，1600 台，1800 台と 2000 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，エリア内の人間はモバイル端末を持っており，各モバイル端末は初期に地図情報を保持していないことを仮定している．また，実際の人間の平均移動速度を考慮して 1.2m/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 [8] 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，通常の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．

(4) 通信距離

今回のシミュレーション実験では，モバイル端末間にある障害物も考慮して，Two-ray Ground Reflection Model(2 波モデル: 直接波と地面からの反射波) を想定している．また，通信距離は 30m を仮定している．端末間の通信プロトコルは IEEE802.11 である．

図 4 に, 大阪府大阪市旭区のシミュレーション実験での 3600 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．各モバイル端末の位置情報を完全保持していない状態でシミュレーションを開始し，完成までの地図完成時間や通信環境状況などを検証している．

4.2 シミュレーション実験の結果

大阪府大阪市旭区の時間に対する地図完成度のグラフを**図 5** に示す．地図完成度とは，全体の元の地図に対して，各モバイル端末が持っている地図の割合の最小値である．シミュレーション実験で地図作成を行うモバイル端末はそれぞれ 1000 台，1200 台，1400 台，1600 台，1800 台，2000 台と設定し，試行回数 10 回の平均値を結果として出力する．実験結果から，大阪府大阪市旭区 2000 台でほぼ

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan



図 4 シミュレーション実験 (大阪市旭区)
Fig. 4 Example of simulation (Asahi-ku, Osaka)

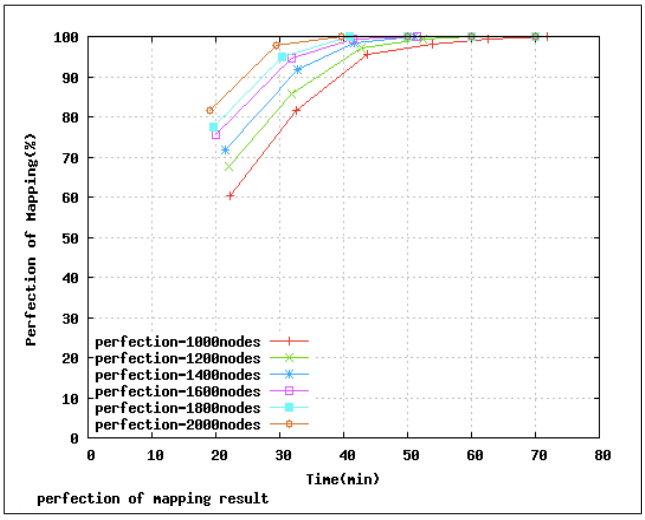


図 5 時間による地図完成度 (大阪市旭区)
Fig. 5 The perfection of mapping(Asahi-ku, Osaka)

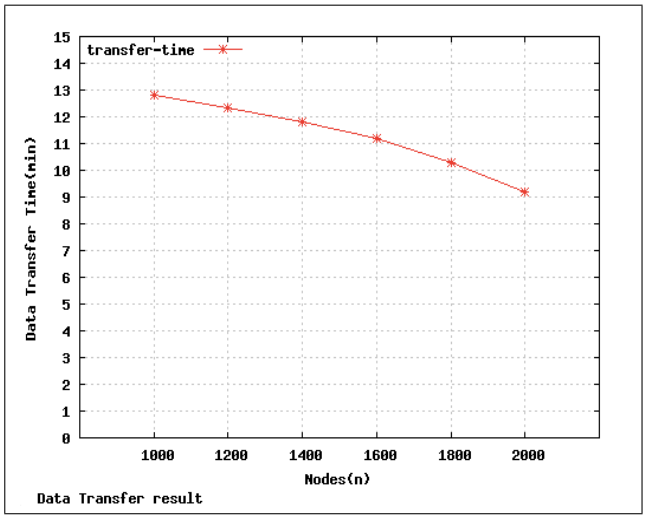


図 6 データ伝播時間
Fig. 6 Data Transfer Time

30 分，1800 台で 40 分，1600 台で 50 分，1400 台と 1200 台で 60 分，1000 台で 70 分に地図完成度がほぼ 100%に達成し，各モバイル端末で完成した地図情報を共有できていることがわかる．

次に，各モバイル端末が持っている位置情報データを全モバイル端末への伝播時間のグラフを**図 6** に示す．実験結果から，2000 台で 9.2 分，1800 台で 10.3 分，1600 台で 11.2 分，1400 台で 11.8 分，1200 台で 12.3 分，1000 台で 12.8 分に各モバイル端末から全モバイル端末へ情報を伝えていることがわかる．モバイル端末の台数の増加により，通信時間を短縮することを示した．

また，ネットワークのパケット到達率を**図 7** に示す．モバイル端末数の増加により，パケット到達率が減少していることがわかる．特に 2000 台モバイル端末の場合は，パケット到達率が 60 分で 65.2%しか到達していない．リクエストの通信頻度を**図 8** に示す．モバイル端末は，1000 台から 2000 台まで，どれも時間の経過により，リクエストの通信頻度を増加していることがわかる．ネットワーク

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

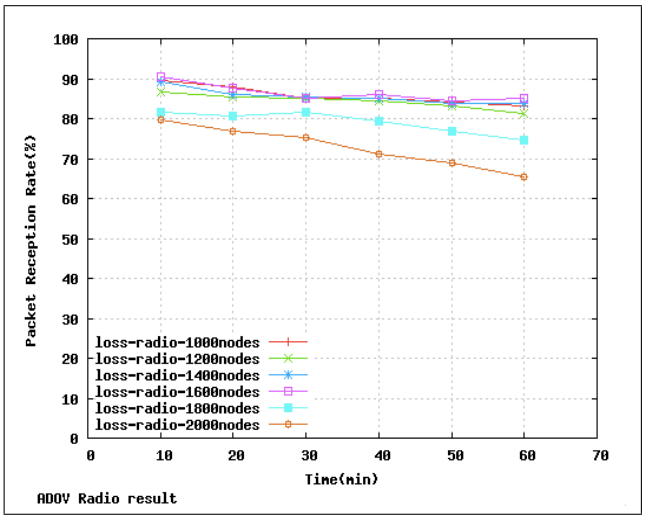


図 7 パケット到達率
Fig. 7 Packet Reception Rate

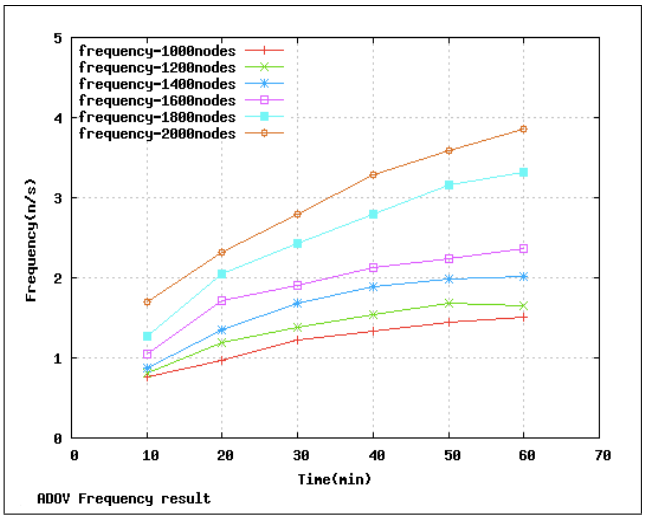


図 8 通信頻度
Fig. 8 Communication Frequency

の平均通信遅延を**図 9** に示す．ネットワークの平均通信遅延は時間により増加するが，2000 台でも 1 秒を超えないことがわかる．

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 5 から，大阪府大阪市旭区でシミュレーションを行った場合，モバイル端末数に着目すると，1000 台のモバイル端末を地図完成度を 100%にするには，70 分が必要であることがわかる．同様に，2000 台のモバイル端末を地図完成度を 100%にするには，30 分が必要であることがわかる．したがって，モバイル端末数を多い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．特に 2000 台のモバイル端末では，30 分で完成度ほぼ 100%の地図を作成することができ，災害時に本システムは十分に帰宅困難者へサポートできると考えられる．

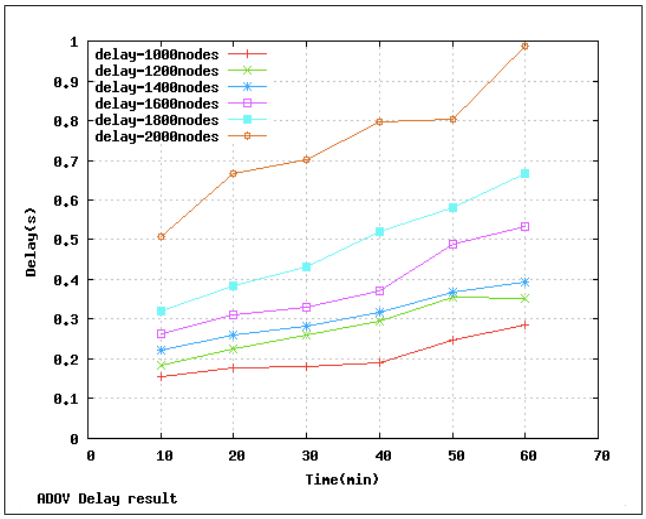


図 9 通信遅延
Fig. 9 Communication Delay

また，図 6 に示した端末の台数の増加により，通信時間を短縮するのは，遅延耐性ネットワークによる情報共有にかかる時間が，避難者の移動時間に比べて十分短いことが原因と考えられる．

図 7 に示したネットワークのパケット到達率は，同じ通信距離 R=30m を設定しても，モバイル端末の増加によって結果が異なる．これは，台数が増えることで，同一周波数帯の無線との干渉などに影響され，見通し通信距離では受信できるはずのパケットが受信されない状況が増えるためである．

図 8 に示したリクエストの通信頻度は，モバイル端末の増加によって上がる．リアルタイム性の強いシステムなので，モバイル端末は頻繁にネットワークと繋がり，普段のシステムよりも接続頻度は上がる．

図 9 に示したネットワークの平均通信遅延は，2000 台でも 1 秒を超えないことから，災害時に地図情報の伝播が十分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ている．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．したがって，既存の地図と合致する比率から求めている地図の完成度はシミュレーション結果より低くくなると考えられる．ただし，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，あり精度の高い避難地図を作成することができると考えられる．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

5. おわりに

本研究では，モバイル端末の GPS 機能と遅延耐性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．提案システムでは，複数のモバイル端末の経路を遅延耐性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，実際の大阪府大阪市旭区の一部の地図を利用し，ネットワークシミュレータ NS-2 による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，全モバイル端末への情報伝播時間，ネットワークのパケット到達率，リクエストの通信頻度や通信遅延などによって，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できることが分かった．したがって，提案システムは十分に有用であると考える．

今後の課題としては，システムの実装がある．モバイル端末用のアプリの実装である．また，本研究で利用したシミュレーションは避難者にもよる渋滞が考慮されていない．つまり，全ての避難経路が十分広く理想的なものとなっている．避難者による渋滞を考慮したものに改良が必要と考えている．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，災害時における安全な経路を通る最良避難ルートなどの指示機能，通信復旧後のクラウドサーバー上で地図情報共有機能などを随時追加したいと考えている．

謝辞 本研究の一部は、JSPS における科研費 25330123，西村奨学財団等の助成を受けている．ここに記して謝意を表す．

参考文献

[1] NS-2.Homepage: The Network Simulator - ns-2, (online), available from ⟨http://www.isi.edu/nsnam/ns/⟩ (2014.02.06).
[2] 南本真一，藤井彩恵，山口弘純，東野輝夫：移動無線端末の位置情報と通信情報を用いた災害現場地図の自動生成，情報処理学会論文誌，Vol. 51, No. 12, pp. 2169–2183 (2010).
[3] 藤原明広，巳波弘佳：すれちがい通信を利用した災害時避難誘導法 (特集: 震災復興や新興国の近未来に役立つ情報ネットワーク技術論文)，電子情報通信学会論文誌. B, 通信， Vol. 96, No. 6, pp. 580–588 (2013).
[4] 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).
[5] Awk.Homepage: The GNU Awk User's Guide, (online), available from ⟨http://www.gnu.org/software/gawk/manual/gawk.html⟩ (2014.02.06).
[6] 国土交通省：国土地理院，（オンライン），入手先 ⟨http://www.gsi.go.jp/⟩ (2014.02.06).
[7] 大阪市旭区役所：大阪市旭区の統計，（オンライン），入手先 ⟨http://www.city.osaka.lg.jp/asahi/category/335-0-0-0-0.html⟩ (2014.02.06).
[8] 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).
[9] 東野輝夫：都市環境での大規模ワイヤレスネットワークの性能解析に関する研究，技術情報誌 TELECOM FRONTIER， Vol. 77, No. 3, pp. 1–8 (2012).
[10] 直治山田，佳徳礒田，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・経由地予測システム，情報処理学会研究報告. ユビキタス・センサネットワーク，Vol. 110, pp. 1–8 (2010).
[11] 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).
[12] 間瀬憲一，阪田史郎：アドホック・メッシュネットワーク - ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて，コロナ社 (2007).
[13] 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).
[14] C. ‐ K.Toh：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).
[15] 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).
[16] 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).
[17] Magnusson, C., Rassmus-Gröhn, K. and Szymczak, D.: Navigation by pointing to GPS locations, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 16, pp. 959–971 (2012).
[18] 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).
[19] 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).
[20] 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).

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan