

MANET を用いた災害時における被災者の位置情報収集・追跡システムの提案

浦部 弘章[†] 塚本 淳[†] 佐藤 和基[†] 梅津 高朗[†] 東野 輝夫[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科

E-mail: †{h-urabe,tukamoto,kz-satou,umedu,higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 災害発生に対して、被災者の迅速な救助・安否確認が求められる。一方で、既存の連絡方法はインフラの破壊により利用不可能となる可能性が高く、インフラに依存しない救助支援システムが求められる。そこで本稿では、災害時において被災者の位置情報を収集・追跡するための MANET システムを提案・評価する。提案手法では、被災者は無線 LAN 機能などの近距離無線通信機能を有する端末を保持し、それらや自動車に搭載される端末がアドホック通信を用い、避難所に設置される基地局に被災者情報を収集する。システムの評価は被災者情報の登録数と通信量を対象とし、車両の導入による影響を比較した上で、システムの有用性を示す。

キーワード モバイルアドホックネットワーク, 災害救助支援, 位置情報, Power Aware

A MANET Based System for Gathering Location and Personal Information from Victims in Disasters

Hiroaki URABE[†], Jun TSUKAMOTO[†], Kazuki SATO[†], Takaaki UMEDU[†], and Teruo
HIGASHINO[†]

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

E-mail: †{h-urabe,tukamoto,kz-satou,umedu,higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract When a disaster occurs, it is required to rescue the victims quickly and confirm their safety. However, current information gathering systems may become impossible to use if their infrastructures are destroyed. Therefore, the rescue support system that is independent of the infrastructures is required. In this paper, we propose and evaluate a MANET system to pursue the location and personal information of victims in occurrence of disaster. Our system gathers the information from victim's terminals with GPS receivers using ad-hoc communication through vehicles and relay stations. We simulate our system in focus of information gathering rates and the number of total communication packets and investigate the influences by the relay of vehicles. Our experimental results show the effectiveness of our proposed system.

Key words Mobile Adhoc Network, Emergency System, Location Information, Power Aware

1. はじめに

地震、火山噴火、洪水といった自然災害やテロ事件など、発生の予想が難しい大規模災害に備えたシステムを構築することは、被害を軽減するために重要である。そのようなシステムの一つに被災者の救助・救援活動を支援するシステムが考えられる。大規模災害発生時には、多くの被災者が発生する。この時、多数の被災者に対して迅速かつ効果的な救助・救援活動を行うためには、正確な被災者の位置情報や安否情報を把握することが重要となる。国や自治体・公共インフラを提供する企業では災害に備えて、被災時の被害状態や被災者の行動を予測した災

害予測図（ハザードマップ）が作成されている。この災害予測図から、ある程度の被害予測は可能であるが、実際に災害が発生した時には、被害や被災者の行動が予想を超える範囲で発生する可能性は十分にある。このため事前に準備された静的な情報のみから、被災者の個々の状態や分布を完全に把握することは困難であると推測される。さらに、携帯電話の基地局のようなインフラが被災し利用できない場合も想定されるため、広域インフラに依存しない方法で情報を収集することが求められる。これと同時に、被災者の生存確認や親類の避難場所を知りたいという要求がある。このような要求に対する既存サービスとして、携帯電話を利用した伝言板などがあり、最近日本国内で

発生した災害などで利用されている。しかし、サービス事業者がサービスを準備し、被災者が伝言を登録するまで生存確認ができないため、災害直後には利用できないという問題点や、サーバにトラフィックが集中するといった問題点がある上に、電力供給がなされインフラが利用できることが前提となっている。

そこで本研究では、無線 LAN 機能を有する携帯端末を被災者が保持していると仮定し、これらの携帯端末によるアドホック通信を用いることで、動的に被災者の位置・安否情報を収集・追跡するためのシステムを提案する。近年、GPS (Global Positioning System) 機能を有した携帯電話が普及してきており、これら携帯電話は災害時においても自身の位置を取得可能である。また、IEEE802.11 [1] などの無線 LAN 機能を有する携帯電話の開発も進められている。提案システムは、被災者が所有する携帯端末に自身の安否・位置情報を入力し、それらをアドホック通信を用いて収集することで、被災者の状態や、地理的分布を把握し、被災者の生存確認などに利用すると共に、被災者の安否情報に基づき、特に被害が大きい地域の特定などを行う。情報収集には被災者端末の作るアドホック・ネットワークを用いることで、インフラに依存しないサービスの実現を目的とする。また、より多くの情報を素早く収集することを目標として、情報の中継に被災者端末だけでなく自動車も利用する。自動車は携帯電話などの端末に比べてバッテリーを十分に備える上、端末自体が高速に移動することで広範囲の情報収集が可能であると考えられる。

性能評価には、避難場所に向かう被災者や、特に被害の大きい地域で避難できずにいる被災者などの行動を再現するために MobiREAL [2] を、また、自動車の移動を再現するために交通流シミュレータ NETSTREAM [3] を用いた。評価結果から、提案システムにおける車車間通信の利用は非常に効果的であることが分かった。また、被災者端末のバッテリー消費を抑えるという目的で考案したプロトコルは、データ送受信量を抑えるという点でその役目を果たしていることが分かった。

2. 関連研究

携帯端末を用いたアドホック・ネットワークではバッテリーが有限であるために、低電力消費でアドホック・ネットワークを用いたユニキャストやブロードキャスト、情報収集等を実現するための研究が多くなされている [4] [5] [6]。文献 [4] では無線電波出力を段階的に変えることで、最も電力消費の低くなる経路を探してデータ転送を行っている。文献 [5] では消費電力を最小にするブロードキャスト木を構成するアルゴリズムを提案している。また、消費電力が伝送時間とのトレードオフである点に着目している文献 [6] では、アプリケーションで要求される性能制約に従って、情報収集のための木 (Data Aggregation Tree) の構成、各ノード間の伝送時間のスケジューリングを行っている。これらは固定センサを用いており、携帯端末を用いた際に発生するトポロジの変化を扱っていないが、携帯端末の動きを考慮した研究も多い [7] [8]。文献 [7] では、アドホック・ネットワークを利用する地域をグリッドに分割し、各グリッド内の携帯端末の中からそれぞれゲートウェイとなる端末を残存電力に

より選出している。そのゲートウェイがグリッド内の他の端末のモード (アクティブ、スリープ) を管理し、また、ゲートウェイ端末の残存電力が少なくなれば新しくゲートウェイとして端末を選出するなどして消費電力を抑えている。文献 [8] では、センシングとフォワーディングに異なる無線範囲を用いて端末の移動を吸収し、伝送エラーを少なくしている。

文献 [12] では、災害時の際にセンサネットワークを用いて災害発生地を特定するシステムなどを構築するためのフレームワークを提案しているが、小規模な室内向けであり、提案システムが対象とするような広域の被災地向けではない。災害救助のための情報収集としては、基地局間の無線通信を用いた手法 [14] や、アドホックネットワークを用いた手法 [15] などが研究されている。しかしこれらの手法では、無線ノードの移動を考慮しないか、もしくは、ノードが移動する場合でも、基本的に無線通信のみにより情報が伝播していくことを前提としている。本研究では、ノードの移動を積極的に利用することを考える。各ノードが情報を保持した状態で移動することで、それらの情報がより迅速かつ正確に、遠くまで伝達されるようプロトコルを工夫した。

また、これらの研究では携帯端末の現実的な移動を考慮していない。文献 [9] に示されているように、アドホック・ネットワークにおいて携帯端末の移動はネットワークプロトコルの性能に大きな影響を与えるため、現実的なプロトコルの設計には、現実的な移動を再現し、その環境で評価する必要がある。そのため、本研究における性能評価では、携帯端末を持つ人の現実的な移動をサポートしているネットワークシミュレータ MobiREAL [2] や、現実的な自動車交通流が再現可能な交通流シミュレータ NETSTREAM [3], [10], [11] を用いている。

我々の研究グループでは、車車間でのアドホック通信プロトコルとして受信メッセージ数依存送信プロトコル RMDP (Received Message Dependent Protocol) [13] を提案している。RMDP は、過去一定期間に受信したメッセージ数と検出した受信エラー数に応じて、送信間隔を変えるプロトコルであり、車両密度が高い道路では送信を抑制することで、道路の交通状況に依存しない安定した通信を可能としている。提案システムに用いる通信プロトコルは、この RMDP を基礎とすることで、被災者や自動車などの端末密度に依存しない通信を行う。

3. 被災者位置情報収集・追跡システム

3.1 提案システム概要

災害時においては、迅速な救援活動のために、より新しく広範囲の情報を素早く収集できるシステムが求められる。しかし、大規模なインフラはその維持・整備に多大なコストを要するため、災害時用として配備することは現実的とは言えない。そこで、近年の普及が著しい携帯端末とアドホック通信を用いた安価な情報収集システムを考案する。

システムでは、各個人を識別する ID として携帯電話の電話番号と、その持ち主が配信したい送り先の ID (携帯電話の番号)、及び、ごく短いメッセージの組を、基地局へと配送することを目的とする。メッセージは各自の安否情報などを想定し、収集

されたメッセージ群は伝言ダイヤルのように安否確認をしたい場合に参照される。ただし、本稿では具体的な参照方式については言及しない。

ここで、携帯端末のバッテリーは有限であり、被災時という状況では必要な場合にも充電できない可能性がある。また、広域のインフラ回復後には、情報収集・情報発信において非常に有益なツールであるため、本システムのためだけにバッテリーを消耗することはできず、携帯端末バッテリー消費をできるだけ抑えるシステムや通信プロトコルが求められる。そのため、提案システムでは複数の種類の端末を効果的に使い分けることで、実用的なシステム運用を目指す。特に携帯端末のバッテリー制約は大きな問題であり、携帯端末が一度に送信する情報量を低減し、送信頻度を抑えることで対応する。以下に想定する端末とその特徴を述べる。

- 携帯端末

一般的な携帯電話を想定。被災者のうち一定割合が保持する。電源、内蔵メモリの制約が強い。自身の位置情報が取得可能である。

- 車載端末

カーナビゲーションシステムなどを想定。被災地域に存在する自家用車の一部や、緊急車両に配備されていると仮定する。電源、記憶容量は十分に利用可能。

- 基地局

学校などの地域の避難所に配備される情報端末を想定。電源、記憶容量の制約は無いものとする。被災者から送られてくる情報を格納し、管理する。基地局間の通信は衛星通信等を用いて比較的迅速に回復されると仮定し、いずれかの基地局に情報を登録できれば、基地局間で情報が共有されるとする。

いくつかの携帯端末は GPS により自身の位置情報が取得可能であり、それ以外の端末でも周辺とのアドホック通信などにより自身の位置を確認可能であるとし、また、それぞれの端末は無線 LAN 通信を用いてアドホックに通信できるものとする。

被災者の情報は図 1 のような経路を介して被災者の携帯端末から、車載端末を介して基地局へ収集される。基本的な情報の経路としては、図 1(1) のように基地局と被災者端末が通信可能な距離にある場合は、直接情報を収集する。また被災者端末が基地局から直接通信できない位置にある場合は、(2) のように被災者端末から送信された情報を車載端末が収集し、車載端末を経て基地局へ送られる。車載端末は自らが移動することで収集した情報を広域に伝播させる役割を担うが、(3) のように車の通行が不可能な地域があり、かつ周辺に車が存在しない場合には、その範囲を超えて情報を伝播させるため、一旦被災者端末を介して転送される。

また、被災者一人分のデータは、自分の携帯電話番号等の ID や位置情報、簡単なテキストメッセージを含め 100Bytes で表現できると仮定する。

3.2 情報収集アルゴリズムの提案

図 1 に示すような情報伝播が、各被災者端末から行われることにより被災者情報が収集される。まず、被災者の持つ携帯端末は定期的に自身のメッセージを周辺へとブロードキャストす

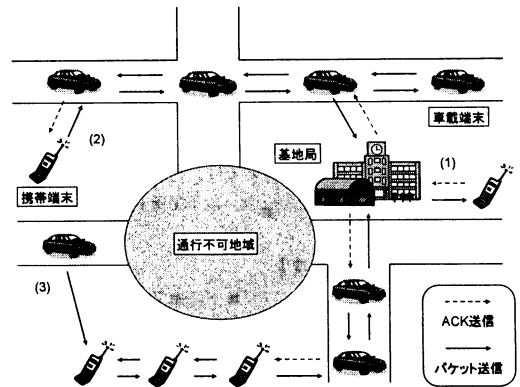


図 1 情報伝播例

る。ブロードキャストされたメッセージを受け取った周辺の端末は、それらのメッセージをメモリ内に保存し、以降のブロードキャストの際に自身のメッセージに加えてそれらも送信する。これにより、各被災者のメッセージは、(1) 無線通信によるフラディング、及び、(2) メッセージを保持するユーザの移動により緩やかに拡散する。ここでは、災害発生直後を仮定し、ユーザは避難所(基地局)へと向かって移動する状況を想定している。ただし、携帯端末はメモリの制約が厳しく、送信時のバッテリー消費を抑える必要もあるため、保持・ブロードキャストするメッセージ量を削減する必要がある。以降の章において、その際のメッセージの配送方式に関する検討を行う。

次に、より迅速な収集のため、車載端末の利用を考える。車載端末は携帯端末と同様に、周辺でブロードキャストされたメッセージ群を収集する。ここで車載端末は、携帯端末と異なりメモリ、バッテリー共に十分な量が利用可能であると考えられる。そのため、収集したメッセージ群の取捨選択は行わず、その代わりに ACK を用いた通信により、受信したすべてのメッセージを確実に転送する^(注1)。まず、携帯端末などから受信したメッセージに対して、それらの ID を含めた ACK メッセージを一定時間ごとに返信する。ACK を受け取った携帯端末は、自身がブロードキャストしたメッセージの ID が ACK メッセージに含まれていた場合には、それらのメッセージが確実に転送されたことを見なし、メモリから削除する。車載端末間では RMDP [13] を用いることでメッセージを伝播させる。

避難所などに設置する基地局は、携帯端末、車載端末からのメッセージを受信し、ACK メッセージを返信した後、それらを蓄積する。車載端末は、基地局からの ACK メッセージにより、自身の保持するメッセージの転送が完了したと見なし、それらをメモリから削除する。

3.3 アドホック通信プロトコル

本システムで利用するアドホック通信プロトコルは、(a)「人間通信プロトコル」(b)「人間通信プロトコル」(c)「車車

(注1) : 1 人分のメッセージを 100Bytes と仮定しているため、仮に 1 万人分のメッセージを収集しても 1MB 程度

間通信プロトコル」の3つからなる。ここで、車載端末、基地局は同様のプロトコルで動作するため、簡略のため以下では全て車と呼び、被災者端末を人と呼ぶ。各プロトコルとも周辺の端末密度に依存しない通信を行うためにRMDPを基礎とする。また、被災者の携帯端末で動作する「人間通信プロトコル」「人車間通信プロトコル」においては、バッテリー消費を抑えることに重点を置いて設計を行った。以下でそれぞれについて説明する。

a) 人間通信プロトコル

人と人との通信には、ブロードキャストを用いる。自身の情報を送信した後、端末は車から登録完了のACKが返ってくるまで待機状態に入る。待機中は受信したデータについて自身の情報を含んでいるか調べ、周辺の端末に自情報が散布できているか確認する。受信データに自身の情報が含まれていれば待機時間を大きくし、含まれていなければ待機時間を短くする。待機時間を過ぎて登録完了のACKを受信できなければ情報が基地局へ届いていないと見なし、自身の情報を再送する。このプロトコルにより、被災者端末のバッテリー消費を抑えつつ、被災者情報が基地局に到達できるようにする。

b) 人車間通信プロトコル

人と車との間の通信プロトコルは、ブロードキャストを用いる。人からの情報を車が受信した場合には、その情報のIDをACKとして返す。ACKを受信した人は、その情報が車に受け継がれたと見なし、自身のバッファから対応する情報を削除する。携帯端末が保持、送信する情報量を小さくすることで、バッテリーの節約を行う。また、ACKにGPS情報を付与しておくことで、GPSを利用できない被災者端末の位置情報を補うことも考えられる。

また、自動車は定期的に人間通信プロトコルと同様の情報パケットをブロードキャストする。これにより、車が収集した情報を被災者端末に渡し、自動車が通行不可能な範囲を超えたメッセージ伝達を行なう。

c) 車車間通信プロトコル

車車間での通信プロトコルとして、車車間通信プロトコルRMDP[13]を利用する。RMDPとは、過去の一定時間間隔に受信したメッセージ数とその間に検出したパケットの衝突割合に応じて動的に散布間隔を変更するプロトコルであり、その散布間隔は端末密度に依存しない。これにより被災者や自動車が集中している地域においても低いパケット衝突率を実現でき、迅速な情報伝播を行うことができる。

4. シミュレータ

提案システムの評価には、我々が開発したモバイルアドホックネットワークシミュレータ[16]を用いた。本シミュレータを用いることで、数千端末規模のネットワークシミュレーションを効率よく行うことができる。そして、被災者の行動をMobiREAL[2]で、自動車の動きは交通流シミュレータNETSTREAM[3]で生成し、シミュレータの入力として与えた。

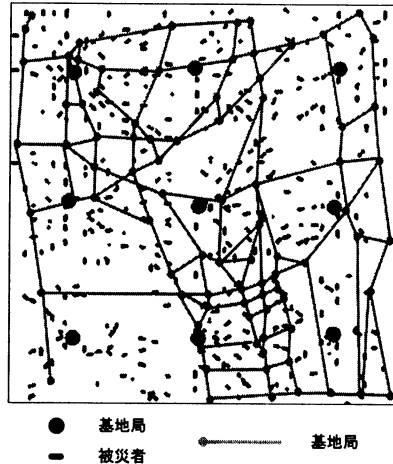


図2 避難場所配置図

5. 評価結果

被災者情報の登録数をシミュレーションにより評価した。評価項目は、被災者情報の登録数と被災者端末の通信量とする。被災者情報の登録数を、全被災者のうち基地局に情報登録できた被災者数の割合と定義する。また、通信量は、シミュレーション時間内に全端末から送信されたパケット数である。

5.1 人口密度が高い場合

まず、都市部を想定した人口密度(3000人/km²(注2))での実験を行った。下記の評価環境に対して避難所を図2の通り設置し、実験を行った。

- 被災地: 1km × 1km (図2)
- 被災者数: 3000人
- それぞれの被災者は基地局のある避難所へ向かって移動
- 車両数: 1000台
- それぞれ、被災地内を徐行
- 基地局数: 45
- シミュレーション時間: 10分
- 無線到達範囲: 被災者端末 100m, 車載端末 200m, 基地局 200m
- パケットサイズ: 1KByte
- 帯域幅: 100KBytes/sec

シミュレーション結果を図3に示す。以下のグラフでは、縦軸が基地局に登録された被災者情報の安否情報数、横軸がシミュレーション時間をそれぞれ表す。ここでは、5分程度で全体の約半分、10分程度で約1800人程度の安否情報を基地局に収集することができた。

5.2 人口密度が低い場合

次に、人口密度が比較的低い場合の実験を行った。人口密度

(注2): 日本全体での平均人口密度は約350人/km²程度

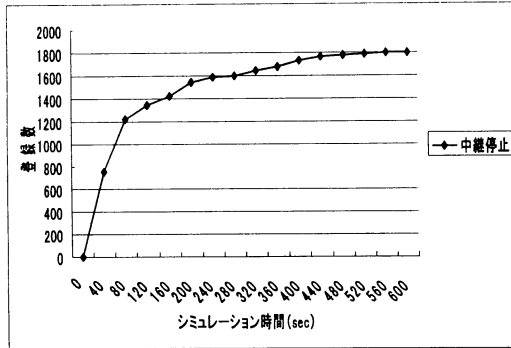


図3 人口密度が密の場合の登録数

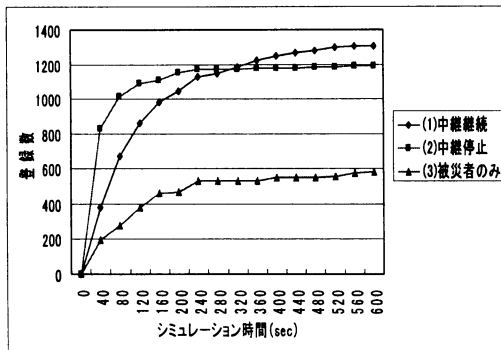


図4 人口密度が疎の場合の登録数

を約 200 人/km² 程度とし、下記の評価環境によりシミュレーションを行った。なお、基地局は 5.1 節と同様に設置した。

- 被災地：4km × 4km
- 被災者数：3000 人
- それぞれの被災者は基地局のある避難所へ向かって移動
- 車両数：0~1000 台
- それぞれ、被災地内を徐行
- 基地局数：45
- シミュレーション時間：10 分
- 無線到達範囲：被災者端末 100m, 車載端末 200m, 基地局 200m
- パケットサイズ：1KByte
- 帯域幅：100KBytes/sec

被災者情報の登録数をシミュレーションにて評価した。その結果を図 4 に示す。

図 4(3) では、車両が全く存在せず、被災者端末のみでシステムを動作させた場合のシミュレーション結果を示している。これにより、3000 人の被災者に対してわずか 20 % 程度の情報しか収集できていないことがわかる。また登録数の増加も一定時間後にほぼ飽和している傾向が見られるため、時間をかけても

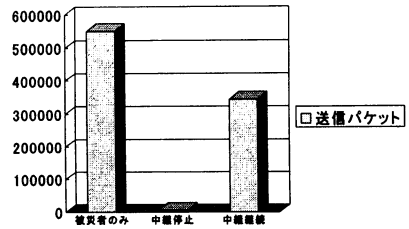


図5 被災者の総送信パケット数

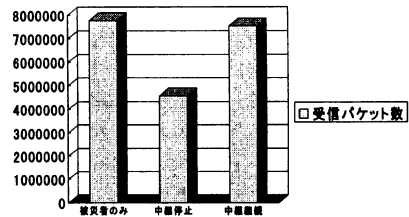


図6 被災者の総受信パケット数

これ以上の結果は望めないものと思われる。

それに対してシミュレーション領域に車両を加えた図 4(2) の結果では、1200 人近くの被災者情報を収集でき、被災者端末のみでシステムを動作させた場合と比べ、約 2 倍の登録数となっている。しかし、同様に約 240 秒ほどで登録数は飽和している。これは基地局周辺の被災者端末が基地局から ACK を受信し、データの中継を停止してしまうためと思われる。

そこで次に、図 4(2) の結果に対して、被災者端末が ACK を受信した後もパケットの中継を行うようプロトコルを変更した実験も行った。結果を図 4(1) に示す。この場合、中継を停止してしまう場合の結果と比べ、登録数に多少の改善が見られ、また登録数が飽和せず、緩やかに増加していくことが分かった。

通信量をシミュレーションにて評価した。図 5、図 6 に、被災者端末が送信した総パケット数を、同様に被災者端末のみで動作させた場合、被災者端末と車載端末を利用する場合 (ACK 受信後の被災者端末はパケット中継を停止)、及び、被災者端末と車載端末を利用する場合 (被災者端末が ACK 受信後もパケット中継を継続) の送信パケット総数、受信パケット総数をそれぞれ示す。これをよると、ACK 後停止した場合が最も送信パケット数が少なくすむことがわかる。

以上のシミュレーション結果より、被災者端末のみで情報収集を行う場合に比べて、車両をシステムに導入することで格段に情報登録数が向上することがわかった。また、情報登録数については被災者端末に中継機能を付加する場合は最良の結果となった。ACK 停止後もパケット中継した場合には、基地局まで届くパケット数は増加するが、送信パケット数も大幅に増加する、ということがわかった。

6. まとめと今後の課題

本稿では、MANET を用いたインフラに依存しない災害時の被災者情報収集方式について提案を行った。提案方式では、災害時に被災者の保持する端末、自動車に搭載する端末、及び基地局の間でアドホック通信を行い、被災者情報を収集する。被災者情報の登録数と通信量について性能評価を行い、その結果から被災者端末だけでなく車載端末を利用することで、効率的に被災者情報が収集できることを示した。

今後はバッテリー節約とより効率の良い情報収集のための通信プロトコルの改良と、シミュレーション評価項目の追加、システムの提供するサービスの追加などを行っていく。提案した人間通信プロトコルにおいて、被災者端末が自ら発信した情報の登録完了の ACK を受信した後、パケット転送を停止する場合、パケット数は少なく抑えられるが、情報伝達率に多少の遜色が見られた。例えば図 1 の (2) のような状況で周辺に被災者端末しか存在しない場合、その端末が通信を停止しているとそこで情報伝播が停止し、別の端末が移動してくるのを待つ必要が生じる。これを避けるため、被災者端末に自身の情報を発信することに専念する状態と受信データの転送に専念する状態の 2 状態を保持させる方式を考案中である。この後者の状態では、定期的に受信バッファを確認して、有効な受信データがある場合のみまとめて転送する。これによって被災者端末のバッテリー消費を抑えつつ、より効率の良い情報収集が可能になると考えている。

また、性能評価として、被害の大きい被災地域の特定や、基地局に登録された被災者情報の参照方式などに関しても、今後、検討を進めていく予定である。

文 献

- [1] IEEE802.11 Standard. Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. 1999.
- [2] MobiREAL web page. <http://www.mobireal.net>.
- [3] E. Teramoto, M. Baba, H. Mori, H. Kitaoka, I. Tanahashi, Y. Nishimura, and et. al. Prediction of traffic conditions for the nagano olympic winter games using traffic simulator : Netstream. In *Proc. of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, pages 1801-1806, 1998.
- [4] A. Boulis and M. Srivastava. Distributed low-overhead energy-efficient routing for sensor networks via topology management and path diversity. In *Proc. of IEEE PerCom*, pages 107-116, 2005.
- [5] D. Li, X. Jia, and H. Liu. Energy efficient broadcast routing in static ad hoc wireless networks. pages 144-151, 2004.
- [6] Y. Yu, B. Krishnamachari, and V. K. Prasanna. Energy-latency tradeoffs for data gathering in wireless sensor networks. In *Proc. of IEEE Infocom*, 2004.
- [7] C. Chao, J. Sheu, and C. Hu. Energy-conserving grid routing protocol in mobile ad hoc networks. In *Proc. of International Conference on Parallel Processing*, pages 265-272, 2003.
- [8] J. Wu and F. Dai. Mobility management and its applications in efficient broadcasting in mobile ad hoc networks. In *Proc. of IEEE Infocom*, 2004.
- [9] 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 Applica-*

tions, pages 483-502, 2002.

- [10] K. Konishi, K. Maeda, K. Sato, A. Yamasaki, H. Yamaguchi, K. Yasumoto, and T. Higashino. MobiREAL simulator - evaluating MANET applications in real environments -. In *Proc. of 13th IEEE Int. Symp. on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, 2005. (to appear).
- [11] K. Maeda, K. Sato, A. Yamasaki, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, K. Yasumoto, and T. Higashino. Getting urban pedestrian flow from simple observation: Realistic mobility generation in wireless network simulation. In *Proc. of ACM/IEEE MSWiM*, 2005. (to appear).
- [12] S. Ray, R. Ungrangsi, F. D. Pellegrini, A. Trachtenberg, and D. Starobinski. Robust location detection in emergency sensor networks. In *Proc. of IEEE Infocom*, 2003.
- [13] M. Saito, J. Tsukamoto, T. Umedu, and T. Higashino. Evaluation of inter-vehicle ad-hoc communication protocol. In *Proc. of 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2005.
- [14] M. Kamegawa, M. Kawamoto, T. Shigeyasu, M. Urakami, H. Matsuno. A New Wireless Networking System for Rescue Activities in Disasters - System Overview and Evaluation of Wireless Node. In *Proc. of 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05), Volume 2*, pages 68-71, 2005.
- [15] F. Pena-Mora, R. Aldunate, M. Nussbaum. Availability Analysis of an Ad-Hoc DSMS for Disaster Relief Environments. In *Proc. of XII International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC'02)*, pages 59-71, 2002.
- [16] 斎藤正史, 船井麻祐子, 梅津高明, 東野輝夫. アドホック通信に基づく先行経路の道路情報取得プロトコルの開発. 情報処理学会研究報告, 2004-ITS-16, pp.49-56, 2004.