

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 —生き埋め被災者のための救助要請MAPデータの配信

松崎 頼人^{1,a)} 榎原 博之^{1,b)}

受付日 2012年3月8日, 再受付日 2012年6月18日/2012年7月26日,
採録日 2012年8月27日

概要:我々は, センシングにより家庭環境を快適にするスマートホームシステムのホームサーバを利用して, 地震災害時における被災状況の確認や被災者の救助支援に応用するシステムを提案し, その実現を目指している. そこで本論文では, 本システムを実現するために必要なデータ配信手法について検討する. 提案システムは, 緊急地震速報を検知するとホームサーバが必要に応じて近隣のホームサーバと通信を開始し, アドホックネットワークを構築する. 各ホームサーバどうしは通信により情報を共有し合うことで, 地震発生後に在宅情報などから生き埋めなどの被災者を特定して, 救助要請 MAP を作成する. 救助要請 MAP はホームサーバからモバイル端末により取得できるため, 救助隊や地域の住民が利用することにより救助活動を効率的に行うことが可能となる. 本提案を実現するためには, 公園や工場などホームサーバが導入できない場所による通信の切断の問題を考慮しなければならない. そこで, そのような場所にホームサーバどうしの通信を補助するための中継機を設置することを提案する. 予備実験として無線 LAN の通信について実測実験を行い, それ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. 本シミュレーションから, 本提案を実現するために必要なスマートホームの普及率を定量的に示すことができ, 中継機の設定により低い普及率においてもシステムを維持できることを示す. さらに, 救助要請 MAP 収集に必要な通信について, モバイル端末を携帯するユーザがシミュレーションエリア内を自由に移動したときにどの程度の規模の情報を収集できるかについて示す. その結果, 本提案システムではスマートホームの普及率が50%あれば, 十分にシステムを維持できることが分かった.

キーワード: アドホックネットワーク, 救助支援システム, スマートホーム

Ad-hoc Networks Using Smart Homes in an Earthquake Disaster — Delivery of Rescue Request MAP Data for Buried Victims

RAITO MATSUZAKI^{1,a)} HIROYUKI EBARA^{1,b)}

Received: March 8, 2012, Revised: June 18, 2012/July 26, 2012,
Accepted: August 27, 2012

Abstract: We propose a rescue support system for victims in an earthquake disaster, using home servers of smart homes that realize a comfortable home environment by sensing, and aim to achieve this system. In this paper, we consider the method of data delivery to achieve our system. Our proposed system is starting communication between neighboring home servers, and set up ad-hoc networks, when it detects the Earthquake Early Warning. By sharing information with each other through communication, each home server identifies buried victims etc. by information such as being at home after the earthquake, and generates a Rescue Request MAP. As we can get the Rescue Request MAP by mobile devices from home servers, this system can efficiently help rescue operations by rescuers and local residents. To achieve our proposal, we must consider a disconnected communication problem, because the home server can't be put in park area, factory area, and so on. Therefore, we propose to set repeaters to aid communication between home servers. In order to evaluate performance, we measure actual experiments for wireless LAN communication as preliminary experiments, and perform simulations with modeling systems based on actual experiment results. From our simulations, we quantitatively show the penetration of smart home that needed to achieve this proposal, and find that this system can maintain in the low penetration rate by setting repeaters. We also show amount of information a user with a mobile device gets, when the user walk around freely for collecting a Rescue Request MAP. As a result, we found that our proposed system can be maintained in the penetration rate of 50%.

Keywords: ad-hoc network, rescue support system, smart home

1. はじめに

日本は自然災害の多い国であり、被災対策として様々な分野で研究が進められている。特に地震においては1995年の阪神・淡路大震災、2011年の東日本大震災などでの甚大な被害を受けて、その対策は非常に重要なものになっている。地震被害で問題となるのは、停電やインフラ機能の損傷によって通信機能を利用できなくなることであり、これは交通機関への被害にとどまらず、セキュリティ会社および各種公共機関の救助活動を遅延させる原因となる。阪神・淡路大震災において、神戸市消防局と自衛隊による救出時の初日の生存率は約75%であった。しかし、3日目の生存率はわずか15%程度であり、時間の経過とともに救出時の生存率は急激に低下している[1]。そのため、救助活動の遅延は重大な問題となる。

このような問題から、地震被災後における通信機能の維持または通信障害からの迅速な回復をどのように行うかが重要であり、無線通信分野での研究が進められている。その1つにアドホックネットワークの研究があり、インフラの整備を行う必要もなく低コストで実現が可能のため、地震など災害時におけるネットワークとしての利用が考えられている。

家庭内のネットワークにおいては、スマートホームが注目されている(図1)。これは、家庭内に存在する家電製品や防犯システムなどを一律に制御するシステムで、周囲の環境情報を収集するためのセンサが複数配置されている。ユーザの各家庭には、家電製品・防犯システムおよび各種センサを制御するためのサーバ(ホームサーバ)が設置され、外部ネットワークに接続されているので、ユーザの在宅の有無にかかわらず制御が可能である。防犯システムについてはセキュリティ会社および各種公共機関との連携により、緊急時にも素早い対応を可能とする。

我々は地震時の被災対策として、各家庭のスマートホームにおけるホームサーバを用いてアドホックネットワークを構築するスマートホームネットワークと、このネットワークを用いた救助活動を支援するシステムの実現を目指す。そこで本研究では、各家庭のホームサーバ間における通信およびデータ配信手法について提案する。スマートホームネットワークでは、停電などで有線ネットワークが使用できなくなった場合、各家庭のホームサーバはバッテリー駆動のノードとして周囲ノードと無線通信によりアドホックネットワークを構築することでシステムを維持することができる。また、各ホームサーバは相互に各種センサ情報などを共有することで、災害発生を検知するなど様々

な動作を行う。まず、地震時に緊急地震速報により地震の発生を知ること、数秒程度前にホームサーバが自動で災害対策などを行うことができる。地震発生後にホームサーバは共有情報を基にして救助要請MAPを作成する。救助要請MAPでは、救助を求めている人が存在する確率の高い場所に救助要請を表示する。モバイル端末などでホームサーバにアクセスすることで、救助を必要としている場所を特定でき、効率良く救助作業を行うことができる。

しかし、本提案を実現するためにはいくつか考慮しなければならないことがある。1つは、公共機関が所有する場所、民間企業が所有する場所によりホームサーバ間の通信が届かなくなり、ネットワークの範囲を十分に確保できなくなることである。そこで、このような場所に中継機を設置することを提案し、広範囲で情報共有を可能にする。もう1つは、ネットワークの範囲が地域内のみとなり、外部から孤立することである。こちらは、救助要請MAPを作成する点においては問題は発生しないが、被災地域の安否確認時や被災地域住民が外部へ情報を求める場合などに対応することができなくなる。そのため、公共施設内に設置する中継機の中からいくつかをインターネットなどの外部ネットワークへアクセスできるようにすることで、ネットワークが孤立化することを防ぎ、外部との通信手段を確保できるようにする。さらに、本システムは救助要請MAPを救助者の持つモバイル端末に配布することで救助活動を支援する。つまり、救助者が地域内を自由に移動する中で、どの程度の範囲の情報を取得できるかを知る必要がある。

予備実験として実機を2台利用した実測実験を行い、そのデータ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。実測実験では、無線LAN通信について通信範囲や通信速度を調べる。シミュレーション実験では、どの程度普及すればよいかを示す接続率特性、モバイルユーザの救助要請MAP情報の収集率を示す情報取得率特性からシステムの有効性を定量的に示す。また、中継機の導入の有無による性能の変化についても評価する。

以下に本論文の構成を示す。2章では、関連研究について述べ、提案システムとの比較を行う。3章では、本研究での提案手法であるスマートホームネットワークの構築および救助要請MAPについて述べる。4章では、提案手法について実測とシミュレーションをそれぞれ行い、性能評価および考察を行う。5章では、本研究の結論について述べる。

2. 関連研究

スマートホームやパラサイトヒューマン[2]のようにセンサネットワークによるセンサ情報を基に機械が能動的に人へサービスを提供するシステムは、アンビエント情報社会[3]と呼ばれる将来の情報社会像の中に含まれる。アンビエント情報社会では赤ん坊から高齢者までICT

¹ 関西大学
Kansai University, Suita, Osaka 564-8680, Japan
a) luigilike8rai@yahoo.co.jp
b) ebara@kansai-u.ac.jp

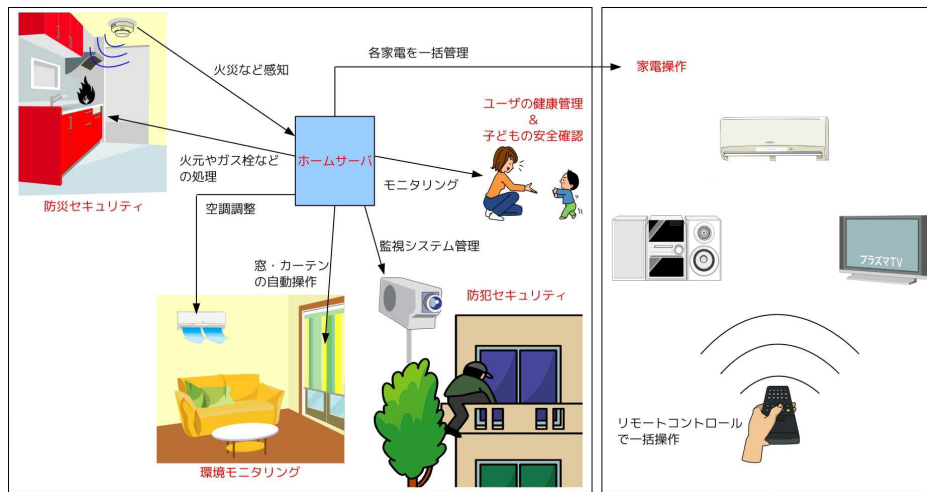


図 1 スマートホームサービスの例
 Fig. 1 Example of services by smart home.

(Information and Communication Technology) のメリットを享受できるようにすることを目的としており、機械が人の状態・状況に合わせて動作することで、リアルタイムにサービスを提供することができる。

アドホックネットワークの中でも、特にモバイル端末により形成されるものを MANET (Mobile Ad-hoc Network) と呼び、文献 [4] では次世代のインターネットに必要な不可欠な技術として期待されている一方で、想定されるネットワークレベルでの課題について述べている。また、アドホックネットワークにおける無線規格としては、IEEE802.11, Bluetooth [5], ZigBee [6] などが有名であり、様々な用途で使用される。

災害時のアドホックネットワークの研究として、緊急通信無線網のアクセス方式である ECCA (Emergency Communications combining Centralized and Ad hoc Networking) [7] がある。ECCA は、平常時は各ノードと基地局間で直接通信を行っているが、地震などの災害時に基地局と直接通信できなくなった場合は、近隣のノードにマルチホップして基地局と直接通信が可能なノードまでアドホックネットワークで通信を行うことで基地局までの通信網を作るというハイブリッド方式により成り立っている。また、近隣ノードのルーティングには LISNER (Listen & Search Neighbor Environment Protocol) 方式を提案している。ECCA の通信チャンネルにはデータチャンネルと制御チャンネルがあり、制御チャンネル (CCCH) には基地局との通信エリア内にある全端末数分のミニスロットがあるので、各端末は専用のミニスロットでのみ通信できるようになっている。LISNER 方式では、CCCH を利用してルート探索を行い、より端末ホップ数の少なくなるようにすることで、効率的なシステムの実現を図っている。しかし、各端末は直接通信はできなくてもアドホック通信により近隣ノードに通信ができ、直接基地局に通信する機能の残って

いるノードが1つ以上あることを前提としているため、完全に故障した端末の対応は述べられていない。さらに、電力供給が停止した場合の対策が述べられていないため、地震災害時に停電が発生すると通信自体ができない可能性がある。

日本での被災時における情報システムの研究には、被災情報提供システム [8] がある。被災情報提供システムは、耐震強度の高い建物間で被災地全体をカバーする幹線ネットワーク、周辺の中・小規模の避難所から構成される支線ネットワークの2種類のネットワークにより構成される。幹線ネットワークを設置する基地局では長距離伝送できる指向性のアンテナを設置し、支線ネットワークを設置する避難所では幹線基地局へ直接接続またはマルチホップによる接続を行えるような無指向性のアンテナを設置することで、被災地域全体を幹線基地局を介したマルチホップ通信によるネットワークを構築する。この研究では、地形や災害後の状況変化に強く安定したネットワークを構築するためのアルゴリズムを提案しており、都市部だけでなく山間部などにおいても構築できるようになっている。しかし、被災情報提供システムは避難所間での被災者の安否情報提供システムであるため、被災地域内の被害状況を人々の情報のみに依存し、各民家などの被害状況を正確に把握できない。

各国での大規模災害の被害を受けて、災害発生時における情報の管理・共有を目的として開発されたツールに、Ushahidi [9] と SAHANA [10] がある。また、文献 [11] は災害管理における報告書で、コンピュータサイエンスを背景に管理の現状と災害時のデータ解析、今後の研究の指針などについて述べられている。

3. スマートホームネットワークの構築

3.1 スマートホームネットワークの目的

本システムは、平常時にはセンサが周囲の環境情報を収集することで家庭内に存在する家電製品、人の出入り、防犯システムなどをホームサーバにより一律に制御するスマートホームとして、災害時にはホームサーバが周囲のホームサーバと無線通信によるアドホックネットワークを形成するノードとして動作する。特に地震時においては、緊急地震速報により数秒程度前に地震を検知し、ドアや窓の開放、火元やガスの元栓の処理などの災害対策をあらかじめ行う。これにより、火事や生き埋めなどの二次災害を防止することにつながることができ、ユーザは自身の安全確保にのみ集中するだけでよくなる。

スマートホームネットワークは、都市部の住宅街に構築することが望ましいネットワークである。これは、スマートホームネットワークの性能を十分に発揮できるだけのホームサーバ密度が必要なためである。また、スマートホームネットワーク形成時には無線の通信範囲を考慮して、等間隔でホームサーバを設置することが理想である。しかし、実際には都市部の住宅街でもホームサーバを置くことのできない場所が存在する。たとえば、公園・道路などの公共機関、工場・ショッピングセンタなどの民間企業がそれぞれ管理する場所である。安定したスマートホームを構築するためには、この問題を解決する必要がある。そこで、各家庭にホームサーバが一定以上普及していることを想定して、公共機関や民間企業が管理する場所にホームサーバ間の通信を補助する中継機を導入する。これにより、ネットワークが分断されるのを防ぐことができ、都市部だけでなく地方でもある程度スマートホームネットワークを形成する環境を構築することができる。さらに、中継機のいくつかは外部ネットワークへアクセスできるようにすることで、ネットワークが孤立してしまわないようにする。これは災害時に、被災地域内で安否確認や被災状況などの情報取得するためにも重要である。

本研究では、特に大震災時におけるスマートホームネットワークの活用に焦点をあてている。これはスマートホームネットワークが交通機関が遮断され、公共機関やセキュリティ会社からの救援が期待できないような状況での利用を想定しているためである。実際に阪神・淡路大震災においても、多くの家屋倒壊による生き埋め被害者が、地域の一般人に救助されている。しかし、生き埋め被害者の位置を特定するための情報は、伝聞と被害者自身の助けを呼ぶ声であったことから、救助活動は非常に難航した。そこで、スマートホームネットワークを用いて救助要請 MAP を作成することにより、各地域での災害時の相互支援活動を助け、迅速かつ円滑な救助活動に貢献することを目指す。

3.2 スマートホームネットワークの構成

スマートホームネットワークは、各家庭のホームサーバを P2P 方式で相互接続することで構成される。基本的には中央サーバを必要とせず、それによる許容ユーザ数の限界がないため、災害耐性や拡張性が高く安価に構築することができる。スマートホームネットワークでは、各隣接ノードが物理的に近距離であるという点において、従来の P2P ネットワークとは異なっている。各ホームサーバは、スマートホームネットワーク参加時に入力する地域情報によって、近隣のホームサーバとお互い認識する。無線 LAN で相互通信が可能な範囲および一定距離のホームサーバを隣接ノードとして位置づけることで、有線の P2P ネットワークとは別に無線によるアドホックネットワークを構築し、災害時通信などに利用する。

地震災害時において大きな問題となるのは、停電により電力の供給が止まることである。従来のスマートホームにおいては、独立に動作するための電力供給機能は備わっていない。そのため、提案システムでは新しくバッテリー機能を導入する。バッテリーには UPS (無停電電源装置) を利用しており、ホームサーバ、各種センサ、ネットワーク HUB および無線 LAN を 3 日程度連続で動作させるだけの容量を持つことが望ましい。さらに、バッテリー駆動時には消費電力を抑えることで稼働時間を延長することができる。したがって、ホームサーバはバッテリーの状況に応じて、緊急ネットワークとしての通信、ホームサーバどうしの情報共有、センサ情報の取得などのタイミングや規模について優先度を考慮して適宜調節する。

本システムの通信について、本研究においてはアプリケーション層で設計することを想定している。トランスポート層で設計することもできるが、センサ情報の通信や緊急地震速報についてもアプリケーション層を利用しているため、アプリケーション層で設計を行う。そのため、下位層である TCP/UDP については想定しておらず、それぞれのホップ数の計測の違いについても考慮していない。

本システムの構成要素を以下にまとめる。

- ホームサーバ

ホームサーバは常時電源 ON 状態で動作することを想定している。従来の P2P ネットワークとは異なり、ホームサーバの脱退が生じれば、災害などによる何らかの故障または障害の発生を推測できる。ホームサーバは通常回線によるインターネット通信に加えて無線 LAN 機能も備えるようにしており、災害時に在宅情報や各種センサ情報などを他のホームサーバに送信するために利用する。
- モバイル端末

モバイル端末とは、無線 LAN 機能を持つ小型周辺機器のことで、スマートフォンなどのモバイル機器や各種 PDA を指す。近隣のホームサーバと直接通信に

より救助要請 MAP を取得することができ、それを基に救助を必要としている人の場所を特定することが可能である。

- 中継機

中継機は、ホームサーバ間の通信を補助する。また、スマートホームネットワークが外部から孤立しないようにいくつかの中継機に外部ネットワーク接続が可能な中継機（以下、WAN 中継機）を設置することにより、被災地から外部の情報を取得したり外部から安否情報を確認したりすることなどができる。中継機の電源には太陽電池やバッテリーを利用することで、地震による停電時においても問題なく動作が可能である。

- 緊急地震速報

緊急地震速報は気象庁が導入している、地震発生を知ることができるシステムである。このシステムは、初期微動（P 波）と主要動（S 波）の伝搬速度の差を利用しており、P 波を検知することで震度や地震到着時間の予測することで、数秒から数十秒間 S 波による本震への何かしらの対策を講じることができる。本提案では高度利用者向け緊急地震速報も採用しており、一般向けのものとは異なり、速報が複数回送信されそのたびに信頼性が向上する。これを利用して、ホームサーバはスマートホームネットワークを構築する支援が可能である。

3.3 災害時の救助要請 MAP

地震時における被災者の救助は非常に重要である。しかし、過去の地震災害において、救助活動は助けを呼ぶ声や伝聞でしか被害者の位置を特定することができないという問題がある。そこで本提案では、スマートホームネットワークを用いて救助要請者の有無を推定し、救助要請 MAP を作成する。本システムで作成される救助要請 MAP は、モバイル端末などを用いて表示することができる。救助要請 MAP の作成には、次に述べる救助要請 MAP 作成情報を用いる。

3.3.1 救助要請 MAP 作成情報

救助要請の予測はホームサーバがそれぞれ共有した情報を基に行う。救助要請は、信頼性の高さによって数段階にクラス分けされる。救助要請を予測する際に必要な情報について以下に示す。

- 救助要請情報

実際に被害にあっている人または付近にいる人が、スマートホームネットワークを用いて送信する直接救助要請情報である。これは予測を含まない最も優先度の高い情報である。人が直接入力するため、特に信頼性がある情報でもある。しかし、誤入力などによる情報が MAP 作成に悪影響をおよぼす可能性もあるので、誤情報の訂正機能などによって補完できるように

する。

- 在宅情報

人感センサなどによって得られる人の存在を確認する情報であり、スマートホームでは在宅情報を管理することができる。この情報はプライバシー情報であり、緊急時のみ他のホームサーバと情報共有することができるようになる。緊急地震速報によって地震発生を知ることができた場合は、その段階から在宅情報を取り扱うことが可能になるため、救助要請 MAP の信頼性を向上させることができる。

- センサ情報

スマートホームに備わっている傾きセンサや火災センサなどの各種センサ情報のことである。各種センサにおいて異常値を観測した際に、近隣のホームサーバへ情報を送信する。異常値の観測されたホームサーバは、在宅情報から人の存在が確認された場合には救助要請が必要であると予測する。

- 離脱情報

ホームサーバが、近隣ホームサーバとのアドホックネットワークから離脱したことを示す情報である。ホームサーバは常時電源 ON 状態でネットワークに接続されているため、ネットワークからの離脱は何かの機能に異常があると考えられる。特に無線 LAN 接続ができなくなった場合、物理的破損が起きている可能性が高い。よって、ホームサーバの離脱情報が確認されると、離脱したホームサーバが緊急地震速報受信後、本震直前までに送信していた在宅情報を基に救助が必要か判断する。つまり、ホームサーバの離脱直前に人の存在が確認された場合、救助要請が必要と判断する。

- 救助完了情報

被災者の救助が完了した後にモバイル端末などで送信された報告を、各ホームサーバに送信するための情報である。各ホームサーバは救助完了情報を受信した場合、その位置情報を救助要請 MAP から消去する。

- 座標情報

ホームサーバの位置を把握するための情報であり、これにより救助要請 MAP の表示場所を指定する。位置測位ができればどのようなものでもかまわないが、一般的に普及している GPS による測位情報を扱うことを想定する。GPS は座標情報を高精度の測位を行うことも可能だが、情報量が多く通信遅延や消費電力についての考慮は必要である。

表 1 にホームサーバ間で直接通信が必要な救助要請 MAP 作成情報とそのデータ量を示す。離脱情報は直接ホームサーバ間で通信できないことを確認することで把握できるため、表 1 では必要ない。座標情報について、経緯度をそれぞれ 2 桁ビットで設定している。これは GPS の

表 1 ホームサーバ間で共有する救助要請 MAP 作成情報

Table 1 Rescue Request MAP information to be shared between home servers.

救助要請 MAP 作成情報	情報量 [bit]	内容
救助要請情報	1	ON(1)/OFF(0)
在宅情報	4	0~15 人までカウント可能
センサ情報 (最大 7 台)	7	各種センサ: ON(1)/OFF(0)
救助完了情報	1	ON(1)/OFF(0)
座標情報	51	経度: 26 [bit], 緯度: 25 [bit]

仕様の 1 つであり、地球の円周および経度 26 ビット (緯度 25 ビット) で座標情報を割り振った場合に、座標間の精度が約 60 cm^{*1}まで表現できるためである。実際には、各家庭に 1 台あるホームサーバの位置情報の取得に座標情報を利用するため、精度は 1 住宅の面積で十分であるが、ロカポ^{*2}[12] と呼ばれる位置情報コードなどの利用も考慮して十分に大きく設定している。

表 1 より、最低 64 bit 必要であることから、本研究では単一ホームサーバの救助要請 MAP 作成情報は 8 Byte とする。また、他のホームサーバからの情報をマルチホップするため複数台分の情報を送信する必要がある。各ホームサーバは、500 m 四方の世帯数を考慮した 2,000 台程度^{*3}の情報を通信すると仮定している。ただし、ホームサーバは最大で 10,000 台と情報共有できるものとしている。

救助要請 MAP 作成情報の通信頻度は、状況に応じて考慮する必要がある。スマートホームネットワークが構築された後、救助要請 MAP 作成情報を各ホームサーバ間で共有するときには、高頻度の通信が必要である。この通信では、迅速な情報共有のために秒単位の頻度で行う必要があるが、各ホームサーバの 1 通信における情報量は少ないため通信負荷も許容できると考えられる。また、情報共有により救助要請 MAP がある程度完成すると、各ホームサーバの情報や救助完了情報の送信などは比較的少ない通信頻度でもかまわない。したがって、本研究ではシステム全体における通信頻度による影響は少ないと想定できる。

3.3.2 システムモデル

救助要請 MAP の作成の際に用いられる通信方式、およびモバイル端末による救助要請 MAP 取得時の通信方式は、ピア型 P2P である。災害時において、緊急モードに移行したホームサーバは救助要請 MAP の作成を開始する。スマートホームから取得したセンサ情報が火災などにより異常値を示した場合、隣接ノードへ情報を送信する。また、ホームサーバは定期的に隣接ノードとのコネクションを確

認することで、通信ネットワークからの離脱情報を得る。

救助要請 MAP の作成において、各家庭のホームサーバには、あらかじめ周囲の地図情報を備えた MAP を持っている。しかし、市全体や区全体などの大規模な地図を各ホームサーバが作成するのは、通信負荷なども考慮すると現実的ではない。そこで、情報発信源から一定距離を超えた場所にデータ保護以外の目的で救助要請 MAP 作成情報が送信された場合や、パケットの有効期限を示す TTL (Time To Live) が切れた場合にその情報を削除することで、救助要請 MAP はその地域に応じた MAP となる。そのため、各ホームサーバが作成する MAP データのサイズおよび救助要請 MAP 作成情報の送信範囲は、TTL で届けることができる範囲までに抑える必要がある。

ホームサーバは、地震の発生前後で共有した救助要請 MAP 作成情報を基に被災者の位置を予測する。予測により被災者の位置を特定すると、その位置情報などを MAP 上に救助要請情報として表示する。ただし、表示に利用する情報が多くなるとシステム全体の通信負荷が増大するため、状況に応じて表示する情報は調整する。

救助者はモバイル端末により、各ホームサーバが作成した救助要請 MAP を取得する。また、複数のホームサーバから MAP を取得することで、モバイル端末は地域ごとの情報を統合することができる。救助者は救助要請 MAP を頼りに被災者の救助を完了すると、モバイル端末によりホームサーバに報告することで救助要請 MAP 上から救助要請情報を消去し、近隣のホームサーバにその情報を送信する。これにより、リアルタイムで被災者の位置を表示することができる。

3.4 災害時での動作・機能

災害時における、スマートホームネットワークの動作・機能、特に地震が発生した場合における動作例について説明する。ホームサーバは、高度利用者向け緊急地震速報を受信することで地震を検知する。ユーザの在宅時における緊急地震速報を受信した場合の動作について述べる (図 2)。

- (1) 初回の緊急地震速報を受信すると、ホームサーバが窓の開放、火元やガスの元栓の処理などのプライバシ情報が守られる範囲内で災害対策を自動で行う。周囲のホームサーバとコネクションの確認をする。

*1 地球の赤道半径 6,378 km (円周 40,075 km)、極半径 6,356 km (円周 39,940 km)、経度範囲 360 度、緯度範囲 180 度として、(経度の精度) = (赤道円周) / 2²⁶ (26 ビット)、(緯度の精度) = (極円周の半分) / 2²⁵ (25 ビット) より算出。

*2 ロカポ (LocaPoint) とは、災害時の救助活動における緯度経度情報の伝達ミスを抑止することを最大の目的として開発された位置情報コード (経緯度ともに 25 ビット) である。

*3 大阪市阿倍野区の単位面積 (1 km 四方) の世帯数が 8,000 程度 (表 2 参照)。

- (2) 一般向けの緊急地震速報を受信すると、ドアの開放もしくはロックの解除などのプライバシー情報を含む災害対策を行う。また人感センサから得られる在宅情報を、隣接するホームサーバやあらかじめ決定されている遠隔地のホームサーバへ送信して情報の共有を行う。このとき、地震によりインフラが停止するまでは、ホームサーバどうしの通信をできる限りインターネットなどの通常回線により行う。
- (3) 地震発生後、停電などで有線ネットワークが使えなくなると、アドホックネットワークを構築して周囲のホームサーバとコネクションを確立する (図 3)。アドホックネットワークを利用して在宅情報や各種センサ情報を送受信し、救助要請 MAP の作成を続ける。
- (4) 隣接するホームサーバに在宅情報や各種センサ情報を送信する。ホームサーバは共有した情報を基に救助要請 MAP の作成を始める。MAP の作成中も隣接するホームサーバとの接続確認を定期的に行う。
- (5) 救助要請に該当する情報を観測、もしくは他のホームサーバから受信した場合、隣接ノードへ転送する。その際、1 度転送したデータと同様のデータを受信した場合は転送を行わない。
- (6) モバイル端末は救助要請 MAP を無線 LAN 機能によ

り取得する。

4. 性能評価

性能評価として、実測実験およびシミュレーションにより提案システムの有効性を示す。

4.1 実測実験

本研究における実測実験は、シミュレーションでのホームサーバや中継機の通信可能範囲を設定するために行う。つまり、システム全体としての評価ではなく、シミュレーションをより実環境に近づけるための予備実験として実施している。本実験では、エリアは都市部の住宅街であり、地震発生により周囲は停電していると想定している。そのため、周囲の無線機器は停止しており、住宅街のような多数の無線機器が存在しているようなエリアでも無線の混信の影響はないものとしている。実測実験では ping により、端末間の通信可能距離およびその通信時間を基に、ホームサーバや中継機の通信可能範囲を測定する。

4.1.1 実験環境

実機モデルを、図 4 に示す。本実験では、実験サーバとして OpenBlockS600 [13] を利用し、外部機器により、無線 LAN 機能、停電時用バッテリーを付加している。無線 LAN の通信規格は IEEE 802.11b/g に設定しており、伝送速度は動的 (最大 54 Mbps) である。また、無線 LAN 機器や通信規格について、実験サーバに対応しているものであればどれを利用してもかまわないが、本実験では corega 製の CG-WLUSBNM を利用している。バッテリーには UPS (APC RS XL 500) を利用し、ホームサーバが常時通信した場合にどのくらい稼働できるかを事前に測定したところ、半日間の動作は可能であることが分かった。本研究では各種センサなどの動作もバッテリーにより実現することを目標としているため、現段階でのバッテリー容量では不十分である。しかし、電気自動車などの技術発展にともない動作時間や容量は改善されていくものと思われる。また、太陽光

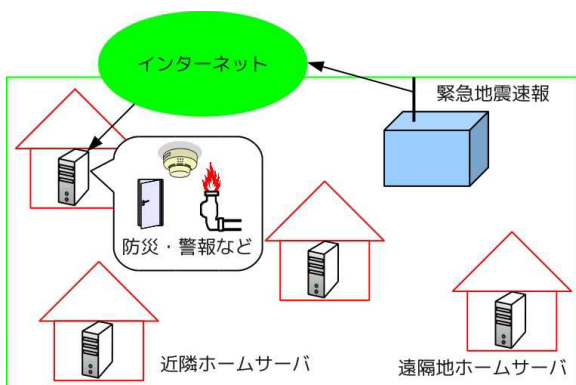


図 2 緊急地震速報を受信した場合

Fig. 2 A case of receiving the Earthquake Early Warning.

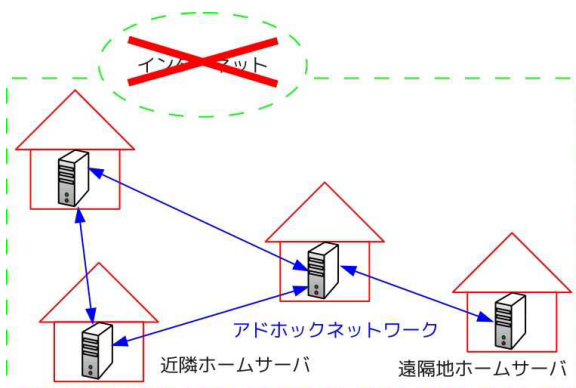


図 3 アドホックネットワークの構築

Fig. 3 Construction of Ad-hoc networks.



図 4 実機モデル

Fig. 4 Aactual equipment model.

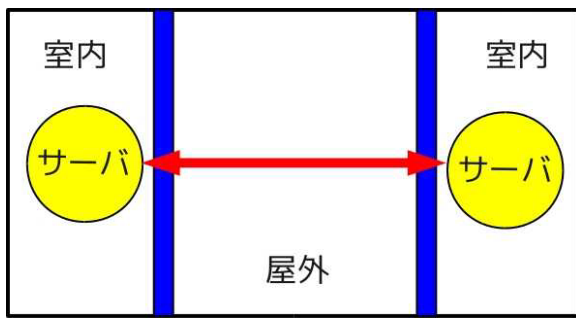


図 5 室内-屋外-室内実験モデル

Fig. 5 Experimental model of Indoor-Outdoor-Indoor.

発電などによる自家発電システムの導入によって、地震後においてもある程度の電力供給ができる可能性もあり、今後の展開に影響されると考えられるため現時点でこれ以上は言及しない。

実験は2011年12月の昼間に大学キャンパスで実施している。この日を選んだ理由は法定停電の日であり、キャンパス内の無線環境がすべて停止している状態になるためである。したがって、同等の条件を構築するのは困難であるため、本実測実験は1度のみとしている。当日の天候は曇り、実験時の屋外気温は10度、室内気温は13度である。

4.1.2 実験方法

屋外、室内-屋外-室内について、サーバ2台間での通信実験を行う。各実験の詳細について以下に述べる。

- 屋外

本実験は、中継機間の通信を想定している。実験は見通しの良い場所で行っており、周囲に障害物が存在しないようにしている。通信距離は10mから10m間隔で変更し60mまで測定している。これは使用した無線LANは想定電波干渉距離を40mとしているが、その追認実験として1.5倍の範囲まで考慮しているためである。

- 室内-屋外-室内

一戸建て家庭のホームサーバどうしの通信を想定している。室内はともに鉄筋・コンクリートで構成されており、サーバは図5のように壁際に配置しており、サーバ間の直線上にある障害物は窓ガラスのみである。図5のように離れた位置にある室内に設置し、10mから5m間隔で変更し30mまで測定する。

各実験においてpingコマンドによる各pingの通信完了までに要した応答時間の測定を行う。pingは100回送信する。パケット送信量は2,048Byte(2KByte)から16,384Byte(16KByte)まで2KByte間隔で測定しているが、pingでのヘッダを付加しているため8Byte足されている。また、本実験において救助要請MAP作成情報における単一ホームサーバの通信情報は8Byteとしているが、マルチホップ通信により2,000台程度の情報を1度に通信することを想定している。

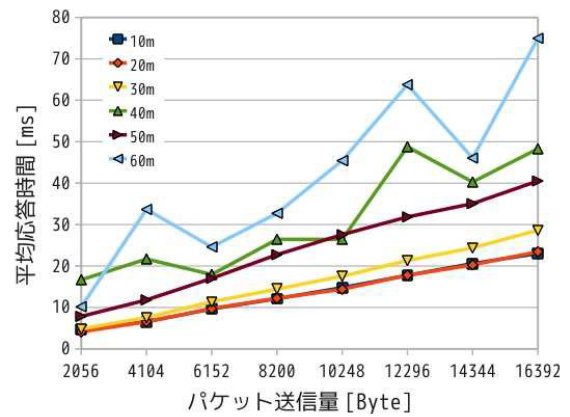


図 6 屋外での通信時間

Fig. 6 Experimental result of communication range by Outdoor (Response time).

4.1.3 実験結果

各実測実験での結果を示す。図6に、屋外におけるping100回の通信時間のグラフを示す。各通信距離における通信時間を、横軸はpingのパケット送信量、縦軸は平均応答時間により表している。図6より、10m、20m、30m、50mのそれぞれの結果について、平均応答時間はパケット送信量に比例してしていることが分かる。40m、60mについても値にばらつきがあり、自動車や人が頻繁に通過した影響が考えられるが、4KByte、12KByteでの結果を除けばパケット送信の増加により平均応答時間が増加しているといえる。

図6の実験結果から、本シミュレーションの中継機間の通信範囲は50mとする。この理由として、50mでの伝送速度がある程度高い状態で通信できていることがあげられる。本シミュレーションでは都市部を想定しているため2,000台以上のホームサーバが存在することが考えられ、それに比例してパケット送信量が増加するためである。50mでの16KByteの平均応答時間は40.5msであり、伝送速度は6Mbps以上であると類推されることから十分通信が可能であると判断した*4。

図7に、室内-屋外-室内におけるping100回の通信時間のグラフを示す。各通信距離における通信時間を、横軸はpingのパケット送信量、縦軸は平均応答時間により表している。図7より、各距離の結果について、平均応答時間はほぼパケット送信量に比例していることが分かる。

図7の実験結果から、ホームサーバ間の通信範囲は30mとする。この理由として、障害物の影響で30m以上の通信ができなくなったことがあげられる。また、30mでの16KByteの平均応答時間が50ms弱であり、伝送速度は5Mbps以上であると類推されることから十分通信が可能であると判断した。

以上から、シミュレーション実験で想定するホームサー

*4 (応答時間) = 2 * (パケット送信量) / (伝送速度)

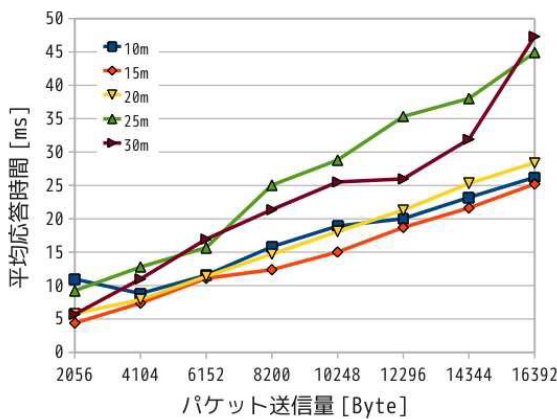


図 7 室内-屋外-室内での通信時間

Fig. 7 Experimental result of communication range by Indoor-Outdoor-Indoor (Response time).

バと中継機の通信範囲を実測実験により導出した。

4.2 シミュレーション実験

本研究におけるシミュレーションは、一般家庭にスマートホームがどの程度普及すれば、安定した通信を維持することができるかを定量的に検討するために行う。また、ネットワークを形成する地域において、スマートホームを導入できない場所への中継機の設置を考慮することでより現実的な状況を想定している。さらに、携帯端末ユーザの情報取得範囲から、救助要請 MAP 収集のための定量的な評価を行う。実測実験により得られた結果を基に、災害時の無線によるアドホックネットワークにおける通信シミュレーションを、以下に示す特性について行う。本研究では、Javaにより独自に実装したシミュレータによりシミュレーションを行う。

(1) 接続率特性

接続率特性とは、停電時もしくは回線の輻輳によって有線ネットワークが利用できない状況において、通信範囲、中継機の設置率、ホームサーバの普及率を考慮したうえでホームサーバのネットワークへの接続率を表す特性である。この特性によって、どの程度の普及率があれば通信を維持するために必要な接続率が得られるかを示すことができる。

(2) 情報取得率特性

情報取得率特性は、地域内のモバイル端末を保持するユーザがどのくらいの規模の情報を取得できるかを表す特性である。この特性は、一定時間ユーザが地域内を自由に歩き回りホームサーバから情報をどの程度取得できるかを測定することで、ユーザが取得できる救助要請 MAP の範囲を示すことができる。そのため、各ホームサーバ間では情報共有により救助要請 MAP は作成済みであり、シミュレーション中は情報の更新はないものと仮定している。そこで、ホームサーバの

情報更新は1時間ぐらいいはないものと想定して、シミュレーション時間に行っている。ユーザの移動は、ランダムウォーク [14] の概念を基に行っている。

4.2.1 シミュレーションの設定

シミュレーションモデルは、大阪府大阪市阿倍野区と神奈川県横浜市旭区の住宅街をモデルとしており、約1km四方の範囲をシミュレーションエリアとしてシミュレーションを行う。シミュレーションエリアの選定基準は、都市部の住宅街であり、公園や主要国道などホームサーバを設置できない場所が適度に存在していることである。本シミュレーションでは実際に阿倍野区と旭区のマップ*5を利用して、ホームサーバの設置場所、通信距離などはピクセル*6を基準に判定している。シミュレーションエリア内の世帯数を区の面積と世帯数 [15] から計算*7によって求めている。この世帯数は、範囲内に設置できるホームサーバの最大数として普及率を求める基準としている。シミュレーションにおけるパラメータを表 2 に示す。シミュレーションに利用する各パラメータについて説明する。

- ホームサーバ通信範囲

各家庭のホームサーバが可能な通信範囲であり、実測実験(室内-屋外-室内)の結果から半径15m, 30mとしている。また、シミュレーションでは半径50mの場合についても測定し、性能を比較する。

- 中継機最大設置数およびWAN中継機

中継機どうしが可能な通信範囲であり、実測実験(屋外)の結果から半径50mとしている。中継機の設置は必要最低限することが望ましいため、中継機どうしの間隔はある程度大きくする必要があるが、通信範囲限界まで間隔を広げると図8のように必要な中継機の設置ができない可能性がある。そこで予備実験として、図8のような問題を発生させずに必要数の中継機を設置できる最適な中継機どうしの間隔を測定している。その結果から、中継機どうしは通信可能範囲の70% (35m) 以上離れるように設定している。よって、この設定で設置できる中継機の数を表2の中継機最大設置数として設定する。

また、2台の中継機をWAN中継機としており、これらの通信範囲などの仕様は他の中継機と同じである。これも事前の予備実験から、2台以上設置しても結果に差がなかったためであり、WAN機能を備える分のコストがかかることを考慮して数量は最小にしている。

- ユーザ移動速度

情報取得率特性を測定するときのパラメータであり、モバイル端末を保持するユーザの移動速度を示し

*5 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/>) より入手

*6 1ピクセル = 約1.2m四方 (人間の平均移動速度を基準)

*7 (ホームサーバ設置最大数) = (区の世帯数)/(区的面積)

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	阿倍野区 (大阪)	旭区 (神奈川)
シミュレーション範囲	約 1 km 四方	約 1 km 四方
世帯数 (範囲内)	8,000	3,100
WAN 中継機	2 台	2 台
ホームサーバ通信範囲 (半径)	15 m, 30 m, 50 m	15 m, 30 m, 50 m
中継機通信範囲 (半径)	50 m	50 m
中継機最大設置数 (公共機関・民間企業)	190 台	140 台
中継機最大設置数 (公共機関のみ)	120 台	120 台

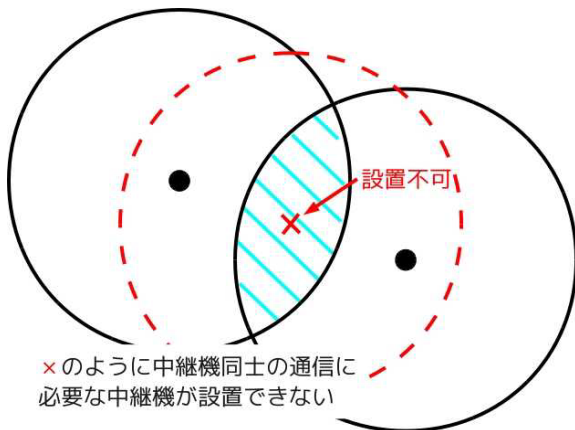


図 8 中継機どうしの間隔を大きくとりすぎた場合

Fig. 8 The case of too large distance between repeaters.

ている。実際に被災者の探索を行うときは、徒歩であると考えるため、人間の徒歩による一般的な速度で設定する。本シミュレーションでは、ユーザ移動速度は 1.2m/s で設定しており、ユーザの行動は自己回避ランダムウォークに従うものとしている。

● 自己回避ランダムウォーク

本シミュレーションでは自己回避ランダムウォークと呼ばれるランダムウォークを利用する。自己回避ランダムウォークの動作を図 9 に示す。ランダムウォークで選択される方向は、図 9 で示されるような 4 方向であるため、ユーザの移動は基本的に 4 方向のみである。移動方向はランダムに選択されるが、自己回避ランダムウォークに従って、直前に選ばれた方向と逆方向になる場合は別の方向になるよう再選択する。また、ユーザの移動歩数は選択された方向ごとに最小値は 1 ピクセル、最大値は 100 ピクセル (地図サイズの約 1 割) とし、この歩数もランダムに選択する。ただし、選択方向が連続する場合、最大値以上に同方向に移動することもある。シミュレーションにおいて、建物は倒壊していると仮定して、ランダムウォークにより決定した進行方向には自由に移動できるものとする。

● モバイル端末の通信条件

モバイル端末の通信条件として、通信範囲、通信周期、複数ホームサーバ通信時の選択方法の 3 つがある。

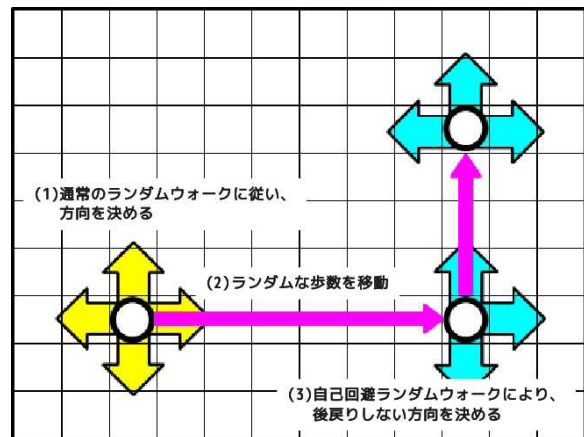


図 9 自己回避ランダムウォークによるユーザの行動

Fig. 9 The user behavior according to the self-avoiding random walk.

モバイル端末の通信範囲はホームサーバの通信範囲と同様としており、これは障害物の考慮をふまえて条件に大差がないためである。通信周期は、情報取得率特性におけるモバイル端末とホームサーバの通信間隔のことであり、本シミュレーションでは 1s に設定している。これは実測実験において、ホームサーバ約 2,000 台分の情報 (16,392 Byte) を送信しても平均応答時間が 100ms 未満であったことから、周期を 1s にすれば十分に通信が可能であると判断したためである。モバイルの通信範囲内に複数のホームサーバが存在する場合、信号強度が 1 番大きいホームサーバと通信するものとする。各ホームサーバの信号強度は通信距離が短いほど大きくなると仮定し、複数のホームサーバが同距離の場合はその中からランダムで 1 つ選択するものとする。

実際にシミュレーションに使用した地図を図 10 と図 11 に示す。シミュレーションエリアには、公園や学校の周りなどのようなホームサーバを導入できないが中継機を設置できる場所、車道上や駐車場などのような中継機も設置できない場所がそれぞれ存在する。そのため各エリアを、ホームサーバを設置できる場所 (白)、公共機関 (赤) や民間企業 (黄) で中継機を設置できる場所、どちらも設置できない場所 (黒) に場合分けしており、地図上の色分け



図 10 シミュレーションエリア (阿倍野区)

Fig. 10 Map of simulation area in Abeno-ku.



図 11 シミュレーションエリア (旭区)

Fig. 11 Map of simulation area in Asahi-ku.

によりそれぞれについて示している。中継機はシミュレーション範囲内にある程度の距離ごとに設置*8する。シミュレーションエリアに設置できる最大数を中継機最大設置数とし、中継機の設置率の基準とする。

4.2.2 シミュレーションのアルゴリズム

シミュレーションのアルゴリズムを各特性について述べる。

- (1) ホームサーバを設置できるエリア内にホームサーバをランダムに設置する。
- (2) 中継機ありの場合、中継機を設置できるエリア内に中継機をランダムに設置する。先述のとおり、中継機間の距離は 35 m (中継機通信範囲の 70%) 以上離れるようにする。
- (3) 接続率特性、情報共有率特性、情報取得率特性それぞれについてシミュレーションする。各特性のシミュレーションについて、ホームサーバや中継機の通信範

*8 詳細は、4.2.2 項参照。

囲は円状に均等と仮定する。

● 接続率特性

- a. 中継機なしの場合は適当なホームサーバを選択し、中継機ありの場合は適当な WAN 中継機を選択する。その通信範囲内にあるホームサーバや中継機 (以下、ノード) を記憶する。
- b. a で記憶したノードから 1 つ選択し、その通信範囲内にあるノードを記憶する。これを選択するノードがなくなるまで繰り返す。このとき、通信範囲内にあるすべてのホームサーバ数をカウントする。
- c. 接続していないホームサーバまたは WAN 中継機が存在する限り、a, b を繰り返す。
- d. 中継機なしの場合、エリア内での最大ホームサーバ接続数 ($HS_{connect}$) を求め、エリア内の設置ホームサーバ数*9 (HS_{set}) を分母にした比率を接続率 (後述の式 (1)) とする。中継機ありの場合、WAN 中継機と接続可能な合計ホームサーバ数 ($HS_{connect}^{WAN}$) を求め、エリア内の設置ホームサーバ数 (HS_{set}) を分母にした比率を接続率 (後述の式 (2)) とする。

● 情報取得率特性

- a. 各ホームサーバおよび中継機について、接続率特性と同様に通信範囲内のノードおよびそのノード以降接続可能なノードを記憶することで、情報共有できる範囲を確認する。
- b. エリア内にランダムにモバイル端末を保有するユーザを 1 人配置する。
- c. ユーザのモバイル端末の通信範囲内にホームサーバが存在する場合、ユーザは通信によりそのホームサーバからの情報を取得する。このとき、ユーザはそのホームサーバの共有する情報 (他のホームサーバ情報も含む) を取得できるものとし、ユーザが情報を取得したホームサーバ数をカウントする。
- d. ユーザの移動を、1 ピクセル/s (1.2m/s) の移動速度および自己回避ランダムウォークにより行う。
- e. シミュレーション時間を 1 時間として、c, d を 1s 周期で繰り返す。
- f. ユーザが情報を取得できたホームサーバ数 (Get_{HS}) を求め、エリア内の設置ホームサーバ数 (HS_{set}) を分母にした比率を情報取得率 (後述の式 (3)) とする。

各特性の 1 回の結果は、以下の式で表される。

*9 (普及率) の比率を $[0, 1]$ として、(設置ホームサーバ数) = (世帯数) * (普及率)

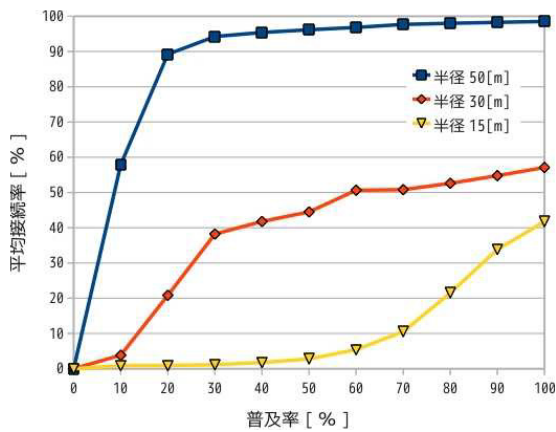


図 12 阿倍野区の接続率特性 (中継機なし)

Fig. 12 Characteristics of connection rate in Abeno-ku (without a repeater).

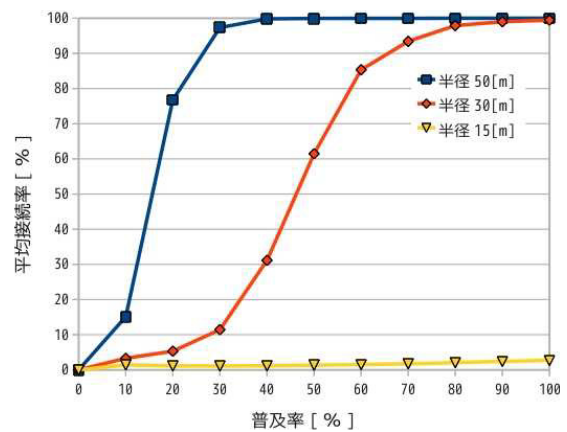


図 14 旭区の接続率特性 (中継機なし)

Fig. 14 Characteristics of connection rate in Asahi-ku (without a repeater).

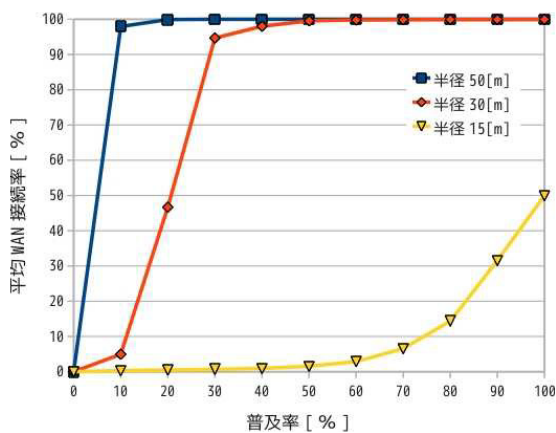


図 13 阿倍野区の接続率特性 (中継機あり)

Fig. 13 Characteristics of connection rate in Abeno-ku (with repeaters).

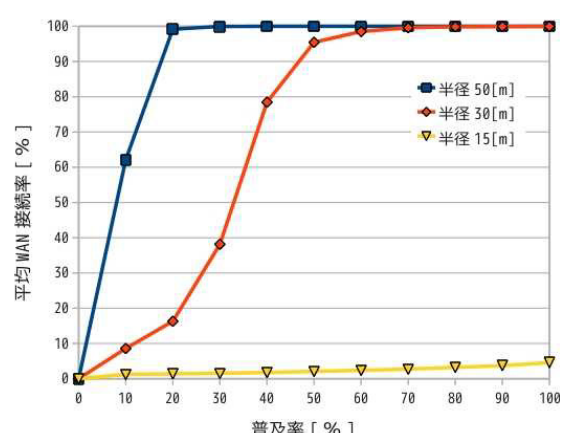


図 15 旭区の接続率特性 (中継機あり)

Fig. 15 Characteristics of connection rate in Asahi-ku (with repeaters).

$$(中継機なしでの接続率) = HS_{connect} / HS_{set} \quad (1)$$

$$(中継機ありでの接続率) = HS_{connect}^{WAN} / HS_{set} \quad (2)$$

$$(情報共有率) = Get_{HS} / HS_{set} \quad (3)$$

各特性についてシミュレーションは100回行い、得られたデータの平均値を結果とする。以上のアルゴリズムを、接続率特性において表2のホームサーバ通信範囲、中継機の設置数、ホームサーバ普及率の条件をそれぞれ変更して測定する。同様に、情報取得率特性において表2のホームサーバ通信範囲、ホームサーバ普及率の条件をそれぞれ変更して測定する。ただし、情報取得率特性については接続率がある程度低い必要があるため、ホームサーバ通信範囲の半径50mの場合については測定していない。

4.2.3 シミュレーション結果

まず、接続率特性について示す。図12、図13は阿倍野区における中継機有無による接続率のグラフである。また、図14、図15は旭区における中継機有無による接続率のグラフである。各図ともホームサーバ通信範囲の半径ごとにおける接続率特性を、横軸はホームサーバ普及率、縦

軸は平均接続率で表している。図13、図15について、中継機の設置台数はそれぞれ190台と140台である。図12、図13、図14、図15について、ホームサーバの通信範囲の半径が広いほど、スマートホームネットワークに参加しやすくなっている。特に、各図とも半径15mの場合は接続率50%を超えることができず、旭区の場合は接続率が5%にも満たない。この理由として、阿倍野区に比べ同面積エリア内の世帯数が少なく、1軒あたりの宅地面積が広いことが考えられる。半径50mの場合は中継機の有無にかかわらず普及率の上昇にともない接続率100%に近づいていることが分かる。半径30mの場合は、阿倍野区において図12、図13より中継機がない場合には接続率は50%程度までの接続しか実現できないが、中継機の設置によって普及率の上昇にともない接続率は100%に近づいていく。つまり、中継機を導入することでエリアを網羅したネットワークを形成できたことが分かる。阿倍野区と旭区どちらの場合も、中継機を導入することで半径30mでも普及率50%において接続率は95%を超えており、十分にシステムを維持できると考えられる。また、どちらの結果も

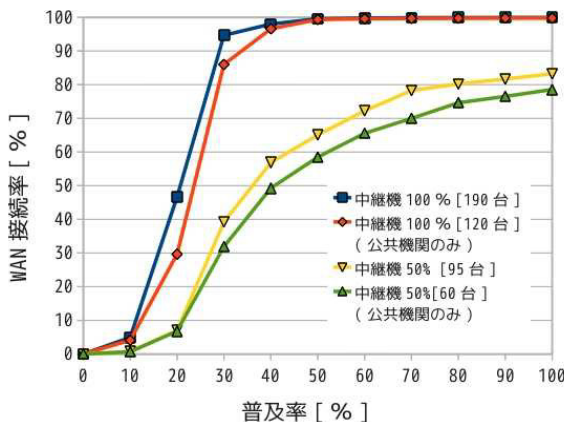


図 16 中継機による接続率特性

Fig. 16 Characteristics of connection rate by repeaters.

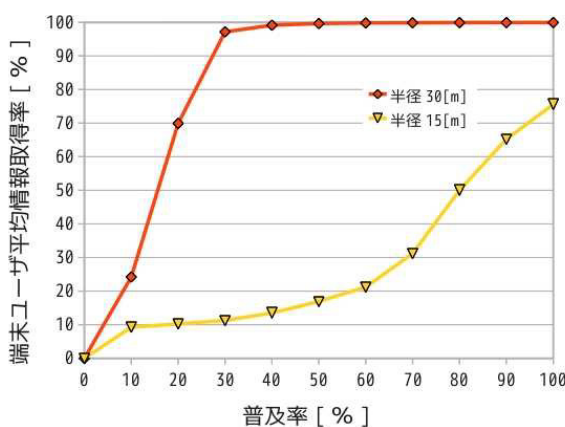


図 17 情報取得率特性

Fig. 17 Characteristics of information getting by mobiles in 3,600 seconds.

多少異なる点はあるもののほぼ特性は同じであるため、以降のシミュレーションは阿倍野区のみ検討する。

図 16 に中継機設置率における接続率特性を示す。ホームサーバ通信可能範囲は、半径 30m である。図 16 より、中継機の設置率が高いほど、普及率は 100% に近づくことが分かる。また、中継機設置率が半分になると大幅に接続率が悪化している。つまり、エリア内には中継機を十分に設置することで、高い接続率を得られることが分かる。

次に、情報取得率特性について示す。図 17 は 1 回のシミュレーション時間を 1 時間としたときのモバイル端末ユーザの平均情報取得率のグラフである。ホームサーバ通信範囲の半径ごとにおける情報共有率特性を、横軸はホームサーバ普及率、縦軸は端末ユーザ平均情報取得率で表している。図 17 と図 13 を比較すると、端末ユーザ平均情報取得率が半径 15m は全体的に、半径 30m は普及率 20% 以内では接続率より増加している。シミュレーション時間が 1 時間であるため、増加量は顕著ではないがより多くのホームサーバの情報を取得できていることが分かる。しかし半径 30m の普及率 30% において、端末ユーザ情報平均取得率が 95% 以上になると変化はあまりない。これは孤立

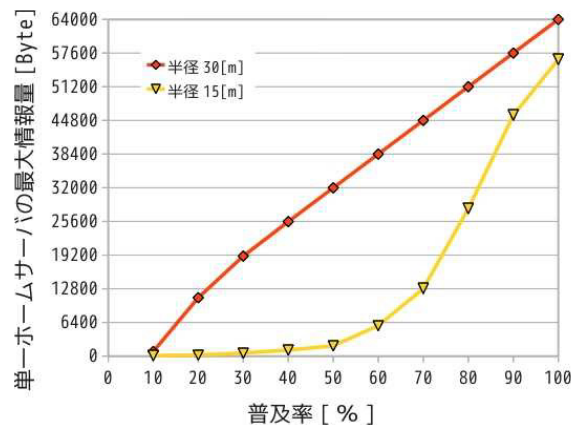


図 18 単一ホームサーバの最大情報量

Fig. 18 The maximum amount of information getting from a single home server.

したホームサーバをユーザが見つげ出すのが困難なためであると考える。

モバイル端末がホームサーバから取得する情報量は、各ホームサーバが接続可能なホームサーバ数に 8 Byte を掛けた値である。そのため、孤立したホームサーバからの情報量は 8 Byte しかないが、多くのホームサーバと接続可能なホームサーバからの情報量は非常に多くなると考えられる。図 18 に、ホームサーバ普及率およびホームサーバ通信範囲におけるホームサーバからの最大情報量を示す。ホームサーバ通信範囲の半径ごとに、横軸はホームサーバ普及率、縦軸は情報取得率特性測定時におけるホームサーバからの最大情報量を表している。平均値ではなく最大値を求めた理由は、シミュレーションエリア内での接続率が高いほど、単一ホームサーバの情報量は多くのホームサーバどうして接続可能なグループ内のホームサーバ数分の情報量に近づくためである。図 18 より、情報量はホームサーバ数に依存するため、ホームサーバ普及率が大きくなるほど情報量も増大することが分かる。通信範囲ごとに比較すると、通信範囲が 15m の場合、図 18 での最大情報量は低くなっている。これは図 13 から、普及率が高くなっても接続率が低いことが原因であると考えられる。また、通信範囲が 30m の場合、普及率が 50% を超えると線形に情報量が増えている。これは図 13 から、ホームサーバの通信範囲 30m において普及率が 50% あれば、接続率をほぼ 100% になるためである。さらに図 18 から、普及率が低いほど単一ホームサーバの最大情報量は少なくなるため、本シミュレーションでは普及率 50% のときにできる限り少ないホームサーバ数で情報取得率をほぼ 100% にできていることが分かる。

4.3 考察

シミュレーションの結果について考察する。

(1) 接続率特性

接続率特性では、通信範囲が広がることで大幅に改

善されることが分かった。本研究ではシミュレーションエリアに実際のマップを利用したため、ホームサーバが配置できないエリアが存在し、中継機の導入を行わなければ十分な接続率を確保できないことが分かった。

現在の一般的な無線 LAN は、各家庭のホームサーバ間にある障害物も考慮すると 30m 程度である。通信範囲が半径 30m の場合、中継機がなければ普及率 100%において全ホームサーバの 50%程度としか接続できないが、中継機がある場合は普及率 50%を超えればほぼ全ホームサーバとの接続が可能となる。これは、シミュレーションを行った大阪府大阪市阿倍野区、神奈川県横浜市旭区の両エリアで同様の特性が見られたことから、全体の半分の普及率を確保することによりシステムを維持することができるといえる。ただし、本シミュレーション実験では通信範囲は円状で均等に広がるとしているが、実際の通信では周囲の障害物、起伏など高低差の激しい場所などの影響に依存した通信範囲になることが多い。そのため、この点を考慮したさらなる検証が必要であると考えられる。また、通信範囲は無線 LAN 技術の発展だけでなくアンテナを設置することなどによってさらに向上すると考えられるため、あわせて検討する必要がある。

中継機の設置について、公共機関のみの協力に比べて民間企業の協力がある方が特性は良くなった。しかし、中継機設置率の増強による変化の方が、より大幅に特性を改善できることが分かった。さらに、外部ネットワークにアクセスできる WAN 中継機は 1km²あたり 2 台程度設置することでほとんどのホームサーバがアクセスできるようになることが分かった。

(2) 情報取得率特性

情報取得率特性では、モバイル端末を保有するユーザーが自由に移動する場合でも、より多くのホームサーバ情報を取得できることが分かった。しかし、一部の孤立したホームサーバが存在し、そのようなホームサーバからはほとんど情報を取得できなかったのではないかと考えられる。また、情報更新を行わない状況を仮定したので、シミュレーション時間は 1 時間しか測定していない。しかし、この時間を大きくすれば情報取得率特性はさらに向上させることができると考えられる。

単一ホームサーバからモバイル端末への情報量は、単一ホームサーバへの接続数と接続率に大きく影響する。接続率が大きいほど単一のホームサーバから取得できる情報量が増えて短時間で情報を取得できるが、必要以上にホームサーバ数があると無駄に情報量が増大してしまう。単一ホームサーバでの情報共有範囲や

情報共有数の設定を適切にすることで、ネットワークへの負荷を減らすことができると考えられる。

本シミュレーションにおいて、モバイル端末は 1 秒周期で通信を行っているが、実際はバッテリーなどを考慮した通信周期の設定が必要である。

5. おわりに

本研究では、スマートホームにおけるホームサーバを利用した地震災害時緊急用ネットワークのスマートホームネットワークを実現するため、ネットワーク上でのデータ配信手法について提案した。また、シミュレーションによりどの程度の普及率があれば提案システムが十分な動作を行えるかを定量的に評価し、スマートホームネットワークの有効性を示した。さらに、救助要請 MAP の有効性を示すため、情報取得率特性により救助要請 MAP の取得範囲についてそれぞれ評価した。シミュレーション実験における無線通信範囲を設定するため、予備実験として実機 2 台を利用して無線 LAN 通信の実験を行った。本シミュレーションでは、実際の地図を利用したことでホームサーバを設置できない場所などを考慮したより正確なシミュレーションを行うことができ、ホームサーバが設置できない場所の通信問題は中継機を導入することで解決できることが分かった。さらに、ユーザーが自由に行動した場合でもより広い範囲の救助要請 MAP データを取得することが可能であることを示した。

今後の課題として次のようなものがあげられる。

- 在宅情報の取得

各家庭のホームサーバは人感センサにより在宅情報を取得するが、誤差が発生すると救助要請 MAP が正確に作成されなくなることが考えられるため、在宅情報を取得する方法について検討する必要がある。今後、人感センサを研究室内に導入して室内の入退室を観測する実験を行うことで、実際には人数の誤差がどの程度現れるかを調べる必要がある。

- スマートホームネットワークの実装

実機台数を増やしてアドホックネットワークを構築し、スマートホームネットワークの実装を行う。また、ホームサーバが救助要請 MAP を作成するために必要なネットワーク内での一般的な通信のタイミングや規模、各ホームサーバが作成する MAP のサイズの定量化についてはネットワークの実装とともにさらなる検討が必要であると考えられる。他にも、無線センサの導入、ホームサーバによる情報管理・共有、救助要請 MAP の作成・取得などがある。

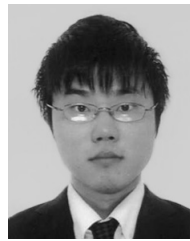
- バッテリーの検討

スマートホームネットワークの実現には、停電時においてもスマートホームが十分に稼働できることが重要である。72 時間程度の稼働時間が望まれるが、現状

のままでは容量が不十分である。また、実際にはホームサーバの電力以外にも各種センサなどを含めた各種機器への電力供給の確保が必要となるため、より大きな容量を確保することができるバッテリーを検討する必要がある。さらに、提案システムの省電力化や、太陽光発電など地震後も電力供給可能なシステムの導入について検討する必要がある。

参考文献

- [1] 内閣府：阪神・淡路大震災教訓情報資料集, 内閣府 (オンライン), 入手先 (http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/data/detail/1-1-2.html) (参照 2012-12-17).
- [2] 大阪大学：Parasite Human (パラサイトヒューマン), 大阪大学 (オンライン), 入手先 (http://www.hiel.ist.osaka-u.ac.jp/~t_maeda/parasite/index-j.html) (参照 2012-12-17).
- [3] 大阪大学：アンビエント革命 (2009), グローバル COE プログラム「アンビエント情報社会基盤創世拠点」, 入手先 (http://www.ist.osaka-u.ac.jp/GlobalCOE/Topics_JP/pdf/ambient_revolution/view).
- [4] 間瀬憲一：モバイル・アドホックネットワーク, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 (シンポジウム), Vol.47, No.1, pp.13-26 (2002).
- [5] 無線化.com：Bluetooth とは?, 無線化.com (オンライン), 入手先 (<http://www.musenka.com/info/bluetooth/index.html>) (参照 2012-12-17).
- [6] Zig BeeSIG ジャパン：ZigBee とは?, Zig Bee SIG ジャパン (オンライン), 入手先 (http://www.zbsigj.org/about_zigbee) (参照 2012-12-17).
- [7] 藤原孝洋, 飯田 登, 渡辺 尚：アドホックネットワークを併用する緊急通信無線網のアクセス方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol.86, No.11, pp.2345-2356 (2003).
- [8] 大瀧 龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣：自律的無線ネットワークを用いた被災情報提供システムー被災地域の地形を考慮した無線ノード置局アルゴリズムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.1, pp.308-318 (2011).
- [9] Ushahidi: Ushahidi, Ushahidi (online), available from (<http://www.ushahidi.com/>) (accessed 2012-12-17).
- [10] 水野史土：災害時の情報管理ツール SAHANA, ひょうごんテック (オンライン), 入手先 (<http://tcc117.org/hyogontech/archives/182.html>) (参照 2012-12-17).
- [11] Hristidis, V., Chen, S., Li, T., Luis, S. and Deng, Y.: Survey of data management and analysis in disaster situations, *The Journal of Systems and Software*, Vol.83, No.10, pp.1701-1714 (2010).
- [12] Method of transforming geographic coordinate (2011), アメリカでの特許, 入手先 (<http://www.us-pat.com/pat/7903005.html>).
- [13] ぶらっとホーム：OpenBlockS600, ぶらっとホーム (オンライン), 入手先 (<http://openblocks.plathome.co.jp/products/600/>) (参照 2012-12-17).
- [14] 高安秀樹：フラクタル科学, 朝倉書店 (1997).
- [15] 阿倍野区役所：大阪市阿倍野区区の統計, 阿倍野区役所 (オンライン), 入手先 (<http://www.city.osaka.lg.jp/abeno/page/0000001145.html>) (参照 2012-12-17).



松崎 頼人 (学生会員)

1988年生。2010年関西大学システム理工学部電気電子情報工学科卒業。同年より同大学大学院理工学研究科博士課程前期課程システムデザイン専攻在籍。災害時緊急ネットワーク構築の研究に従事。電子情報通信学会学生

会員。



榎原 博之 (正会員)

1982年大阪大学工学部通信工学科卒業。1987年同大学大学院博士課程(通信工学)修了。工学博士。同年大阪大学工学部助手。1994年関西大学工学部専任講師となり、現在、システム理工学部准教授。並列アルゴリズム、情

報ネットワーク、ウェブアプリケーション等の研究に従事。電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。