

3.4.6 アドホックネットワークによる災害時臨時情報共有システム

産業技術総合研究所 野田五十樹

中島秀之

(1) 目的

本テーマの目的は、携帯端末、無線タグ等の小型デバイスにより、動的に変わりうるアドホックネットワーク上で情報伝達、合意形成、情報集約などを安定して行う手法を開発し、災害時などで通信インフラが利用不能になった場合でも頑健に動作する災害救助情報システムを構築することである。

(2) 年次実施計画

(a) 研究開発1年目

小型簡易基地局と携帯端末による動的アドホックネットワークを構成する枠組みを開発する。同時に、そのネットワークにおける効率的情報配信、情報統合システムの開発に着手する。また、シミュレーションシステムにおける情報ネットワークの組み込みの枠組みを検討する。また、無線タグについては書き込み機能の開発（空いているタグを自動選別し書き込む機能など）、読み出し運び出し機能（読み出しに成功したタグを開放する機能など）の開発、改良を行う。

(b) 研究開発2年目

動的アドホックネットワークおよびその上での知的情報配信方式のプロトタイプを作成し、仮設実験システムにおける実験を開始し、無線タグとの連動を考慮した拡張など、システムの拡張性の検証を行う。また、シミュレーションシステムにおける情報ネットワークの実装を開始し、プロトタイプを作成する。また、無線タグの読み書きの長距離化（～3m）、読み出しシステムの小型化（シヨルダサイズを目標）を行い、実環境での検証実験を行う。

(c) 研究開発3年目

知的情報配信方式のプロトタイプを拡張し、情報家電などとの連動について検討を行う。さらに、シミュレーションシステムによる大規模実験を行い、スケーラビリティの検証とそれに基づく改良を行う。

(d) 研究開発4年目

レーザを用いた位置計測などの周辺技術を取り込み、端末における情報処理に利用できる情報源の強化を図ると共に、より実用の高いシステムの開発に着手する。また、シミュレーションシステムとの連動により、被災直後の混乱期における情報収集戦略の評価に使える枠組みの開発を開始する。

(e) 研究開発5年目

実用システムとしての完成を目指し、実際の町中における実験などを行う。同時に、シミュレーションシステムにおける実用的評価システムを完成させる。

(3) 平成14年度の目的

本年度は特に、動的アドホックネットワークの基盤・枠組みの構築を行い、情報共有のための技術開発を行った。また、シミュレーションとの連携を視野にいれ、動的アドホックネットワークによる情報配信のシミュレーションシステムを構築し、その上で各種配信方式の効率の検討を行った。

(4) 平成14年度の成果要約

今期は災害時臨時情報共有システムの基盤技術となるマイクロサーバ技術、グループウェア技術、および情報配信技術の基礎的な研究を行った。

マイクロサーバ技術については、ミドルウェアの開発を中心として、小電力型マイクロサーバやセンサーネットワークなどの各種デバイスとユーザインターフェースを中心としたUBKitの開発に着手した。また、グループウェアでは情報共有システムNoroshiを開発し、無線P2Pアドホック通信におけるアドレス取得のボトルネックの軽減に成功した。

また情報配信技術に関しては、人の動きと情報の動きを同時にシミュレーションするシステムを開発し、各種配信方式の有効性の検討を開始している。

(5) 平成14年度の実施方法

(a) 無線P2P通信によるグループウェアとマイクロサーバ

本年度は、災害時の情報伝達を支援するためには通常時からどのような情報通信インフラが整備されていることが望ましいか、という点に焦点を当てて研究開発を進めた。また、災害時にも利用可能なアプリケーションの例としてサーバーを経由せずにユーザー間で自律的に情報交換・伝達を行うシステムの設計と開発を行った。

(b) 人の移動を利用した大規模P2P通信のシミュレーション

本年度は人の移動を利用した大規模アドホックネットワークのルーティングに関して、シミュレーションシステムを作成し、各種ルーティングアルゴリズムの検討と効率の検証を開始した。

(6) 平成14年度の成果

(a) 無線P2P通信によるグループウェアとマイクロサーバ

1) 情報通信インフラ

情報通信インフラに関しては、災害時に様々なユーザー支援を行うためには通常時から環境側に情報通信インフラが存在することが不可欠であるとの立場から、UBKit (Ubiquity Building Toolkit)[2]と呼ばれるソフト/ハード部品群からなるアーキテクチャの設計と開発を行った。UBKitはユビキタスコンピューティング環境を実現するための手段として、拡張性、相互運用性、配備の容易さに配慮して構成されており、

1. 超小型省電力マイクロサーバ

2. ユーザー端末
 3. ミドルウェア
 4. 無線通信システム
 5. センサーネットワーク
 6. 実世界ユーザーインタフェース
 7. 位置測位インフラ
- の構成要素からなっている。

2) 超小型省電力マイクロサーバー

三菱電機で開発中の32ビットRISCマイコンにLinuxをポータリングしながら、FPGA評価ボードで実験を進めてきた。現在クレジットカード大の実機(300MHzクロック)が利用できるようになったところであるが、将来的にはコア部分で10円玉大のサイズを目指し、情報機器のみならず机や壁、道路標識といったあらゆる場所のあらゆるものに埋め込むことが想定されている。Linuxプラットフォームを採用している理由としては、莫大な数のノードが存在するなかでのライセンス価格の側面、相互運用可能なソフトウェアを蓄積していく上での開発戦略の側面、信頼性が高く管理・維持が容易なインフラ構築していく上での安全性の側面があげられる。とくに、節のユビキタスネットワーク向けミドルウェアを強化した軽量Linuxを「ユビキタスLinux」として整備するオープンソースプロジェクトの立ち上げを目指した初期作業を行っている。

3) ユーザー端末

ユーザ端末については、現在はマイクロサーバーとの整合性からLinuxが稼働する商用PDAを用いて実験を行っている。マイクロサーバー用チップを用いた特殊端末を開発することも考えられるが、現在の開発資源では不可能であるため他プロジェクトとの協同のなかで検討していくことになる。

4) ミドルウェア

ユビキタスネットワーク向けミドルウェアについては、さまざまなものに埋め込まれたマイクロサーバーが自律的に協調して情報処理を行うためのアプリケーションプロトコルの整備が最重要であるとの認識から、新たに独自規格のツール群を開発するのではなく、IETFなどの国際機関のなかで検討されかつ将来が有望なものを移植・整備していくこととした。具体的には、

- DHCPなどのサーバーを用いずにそれぞれのノードが自発的にlink local IPアドレスを取得するためのzero-confプロトコル
- DNSなどのネーミングサーバーなしに名前やサービスをIPアドレスやURLに関係付けるためのプロトコルであるマルチキャストDNS(mDNSと略)
- サービスを遠隔起動するためのプロトコルとXMLメッセージ規格であるSOAP (SimpleObject Access Protocol)

を中心にサービスディレクトリやこれを用いたサービス検索などの機能が、マイクロサーバー上で稼働するネットワークアプリケーションから透過的に利用可能になるようなコー

ド修正などを行っている。これによりユーザーからのリクエストがあるサービスを起動しさらにそのサービスが別の(複数) サービスを起動するといったインターネット上のWebサービスに類似の分散処理が可能になると考えられる。このような概念をマイクロサービスと呼び、限られた計算パワーや地理的・物理的制約のなかで迅速な処理を行えるようにするための改良について検討を加えている。

5) 無線通信システム

無線通信システムでは、現在は通常の無線LAN(801.11b) を用いているが、801.11b、801.11g、Bluetoothなどもオプションとして利用可能である。特に伝送速度の向上に伴って可能になるマルチメディア送信などを限られた計算資源の中で処理する方法やこれを用いたアプリケーションの枠組などについて検討を加えている。

6) センサーネットワーク

ではUC バークレイ校で開発されたSmart Dust 端末(MOTE) を用いて、センサーネットワークとコンピューターネットワークの間にマイクロサーバーによるゲートウェイを置き、そこでイベントに応じたコールバック処理を行う枠組を整備した。これは常時監視というセンサーの性質上、通常のコンピューター通信よりもはるかに消費電力の少ない特殊な無線通信を用いることが必要であるからであり、災害時にはこのようなセンサーとゲートウェイをばらまくだけで、節のミドルミドルウェア層で形成される自己組織ネットワークの上で、センサーイベントに応じた情報処理を自律的に分散実行させることが可能になると考えられる。

7) 実世界ユーザインターフェース

ユーザインターフェースにおいては、赤外線通信をGPS のような大域的な位置情報を利用できない環境において近接性(proximity) に基づくインタフェースを実現するために用いたり(たとえば物理的な指示)、音声認識サーバーを経由した音声による指示および操作を組み合わせるためのサーバーアプリケーションの開発を行った。音声認識においては、ユーザー端末上でサンプリングされた音声データをVoIP によって近隣の音声認識サーバーへ転送するという形態を取ることでユーザー端末に対する負担を軽減する方策を取っている。

8) 位置測位インフラ

位置測位は、現状ではGPS の他に無線通信の基地局情報を用いるシステムが考慮されている。オフィス内などの環境ではカメラ画像を用いた高精度な測位システムの利用も可能であるが、前述のように災害時にこうした測位インフラが利用できるとは限らないため、通常時に残された情報をもとに災害時の状況を推定・補正するなどの方策が必要であると考えている。

9) 評価と課題

以上の部品群を用いて情報機器の操作や音声によるガイドおよび検索などのアプリケー

ションの試作を行った結果，簡単なスクリプトを用意するだけで高度な機能を持ったシステムが簡単に実現できることが確認できた．これは災害時支援システムの構築においても有効であると考えられ，実際の災害時支援アプリケーションの開発についても実験環境の整備とともに今後進めていく予定である．また，今後UBKit にセキュリティ層を追加しプライバシー対策などを考慮することが不可欠になってくると考えている．

(b) 無線P2P 通信によるグループウェア

上述のUBKit の開発とは独立に，当研究センターで開発中の無線P2P 通信によるグループウェアであるNoroshi システムの改良を行った[1]．これは避難所などでの安否情報などの伝達や，救援物資の配送計画の策定などを可能な限り自律的に行うことを想定しつつ，通常時の利用シナリオとしてグループ間でのスケジュール調整をとりあげ作成しているものである．実際の災害時シナリオへの適用は来年度以降に行う予定である．現在のNoroshi は，XML メッセージを回覧しながら各ユーザーのスケジュール空き時間を取りまとめてミーティング等の時間を自律的に決定するシステムであるが，XML メッセージを無線P2P 通信で送受信してイベント処理を行う部分についてはアプリケーション機能と独立したコンポネントとなっているため，災害時のコミュニティ支援などさまざまな機能を実現することが可能になっている．

具体的には，今年度はマルチホップ通信への対応とマルチキャストDNS によるユーザー端末アドレスの取得に取り組んだ．マルチホップ通信については，無線LAN のアドホック通信モードにおいて，MAC アドレスをID としてホップ先を決定するルーティングアルゴリズムの設計と実装を行った．実験の結果，2 ないし3 ホップまでは通常の通信が可能であるものの，ホップ数の増加に伴って通信の遅延や重複メッセージ処理のオーバーヘッドが大きくなり実用上の問題が生じた．マルチホップ・アドホック通信をサポートする類似の既存システムの評価実験でも同様の現象が確認されており，無線P2P 通信におけるマルチホップ通信の有効性については，応用の観点から再検討が必要であると認識するに至った．マルチキャストDNS については，各端末上でDNS サーバーを走らせこの情報をマルチキャスト通信により分散共有することで，無線P2P アドホック通信における最大の問題であるアドレス取得の手間が大幅に軽減されることを確認し，その有効性を確認することができた．

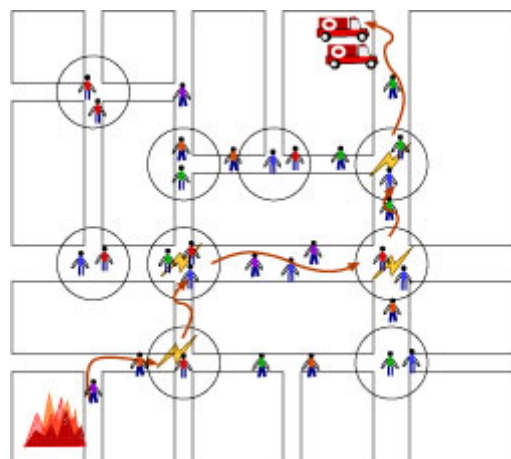


図1: 人の移動を利用した大規模アドホックネットワークのルーティング

(c) 人の移動を利用した大規模P2P 通信のシミュレーション

アドホックネットワークでは、同時に接続されている端末が多くなるほどルーティングを決定するのに時間と計算の要求リソースが急速に増加してしまう。これを解決するためには、比較的狭い領域における通常のアドホックネットワークと、そのアドホックネットワーク間を人に伴って移動する携帯端末を中継として接続する階層性の導入が有効と考える。この階層性により、都市レベル人口密度および面積規模のアドホックネットワークを構築することが可能になる(図1 参照)。

今期においては人間の動きと動的アドホックネットワークの結合の方法を検討するため、シミュレーション実験により各種の配信方式の効率の検討を行った。本研究ではPDAを持って被災地を動き回る市民により情報やメッセージを媒介させることを考えている。このような設定では、アドホックネットワーク環境におけるロバストな通信経路選択が問題となるが、これを“Small World Effect”と呼ばれる効果に着目をし、それによる問題解決の方法を探った。

“Small-World Effect”とはある集団において任意の人同士が非常に少ないポップでつながっているという特性である。我々は、このアドホックネットワーク環境においてこの特性をもつ集団を作り上げることで、通常通信環境が確かではない非常時においても確実に情報を伝えることを可能とする情報システムの構築が可能であると考え。しかしながら、この特性がみられる集団は、現時点では主に静的なネットワーク構造をもつ集団のみで、災害地域での通信という非常に動的なネットワーク構造をもつ集団に対しての検証は行われていない。そこで本研究では、この仮説の検証としてシミュレーションを行ない、エージェント(自律移動体)を利用したメッセージ伝達が生成するネットワークの特性を明らかにした。

まず、どの市民に情報を託すかを決定する指標として、市民の本拠地(住居や避難所、会社など)と現在の移動の目的地を利用し、どの指標の組み合わせが最適になるかを検討した。そのために都市中での人間の行動とその上でのローカルなアドホックネットワークをシミュレーションするシステム(図2)を構築した。このシステムではさまざまな都市の規模、人口密度、人の平均的行動範囲に対して、各種のルーティングアルゴリズムの効率を調べることができるようになっている。

このシステムを利用して、現在以下の方法について、その効率性を確認した。

- 市民の本拠地とメッセージの目的地との位置関係を調べ、より有利な市民のPDAにメッセージが移動する方式。
- 市民の現在の移動の目的地とメッセージの目的地との位置関係を調べ、より有利な市民のPDAにメッセージが移動する方式。
- 市民の現在の進行方向とメッセージの目的地の相対方向を調べ、より有利な市民のPDAにメッセージが移動する方式。

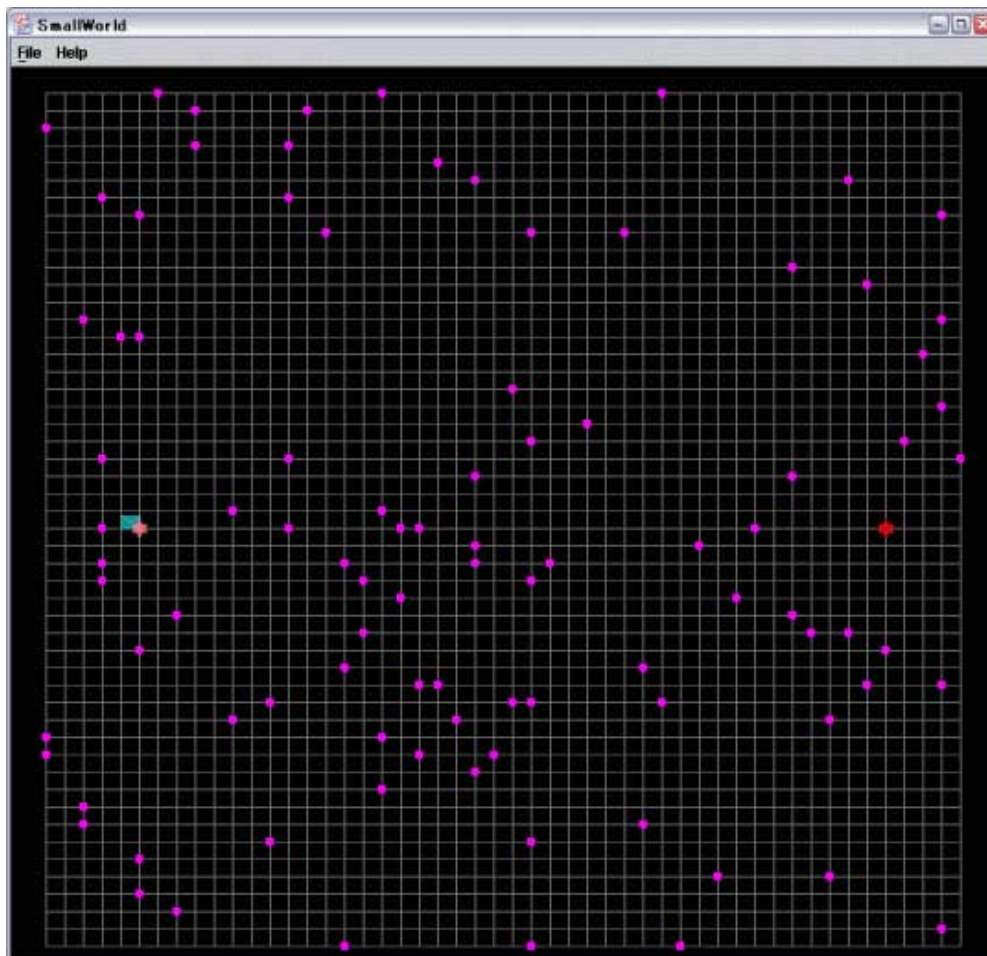
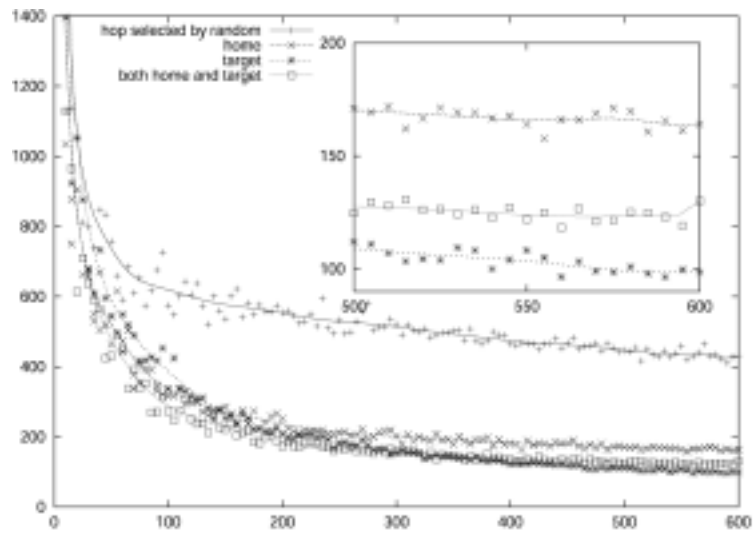
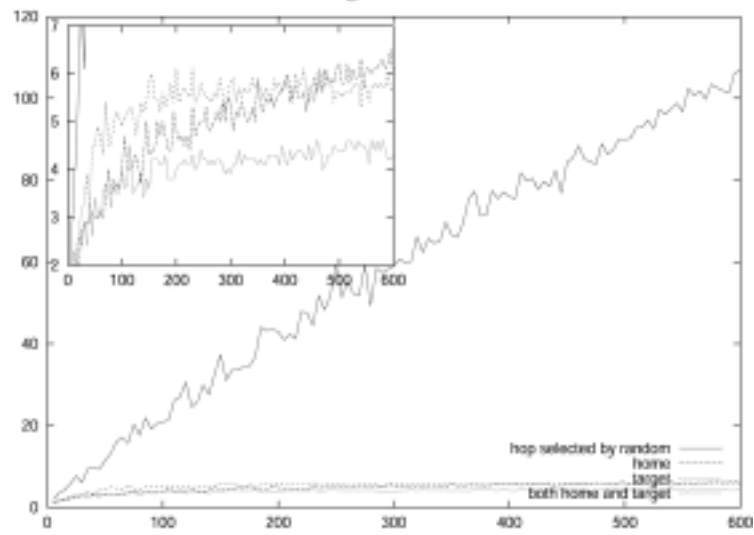


図2: 動的アドホックネットワークシミュレータ:

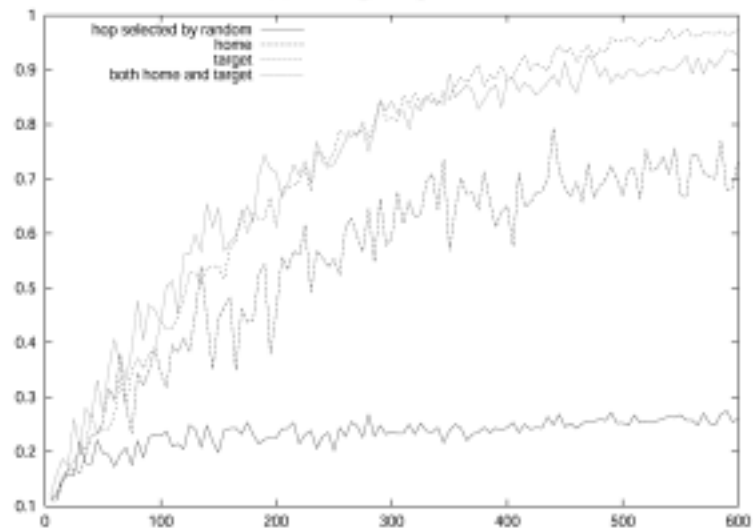
小さい多数の丸はエージェントを示し, 小さい長方形はメッセージの現在値を示す. 画面中段の左右にある星印はメッセージの出発地点および目標地点を表す.



(a) Average Arrived Time



(b) Average Hop Count



(c) Average Probability (Threshold = 200)

図 3: 配信方式の違いによる伝達速度の違い

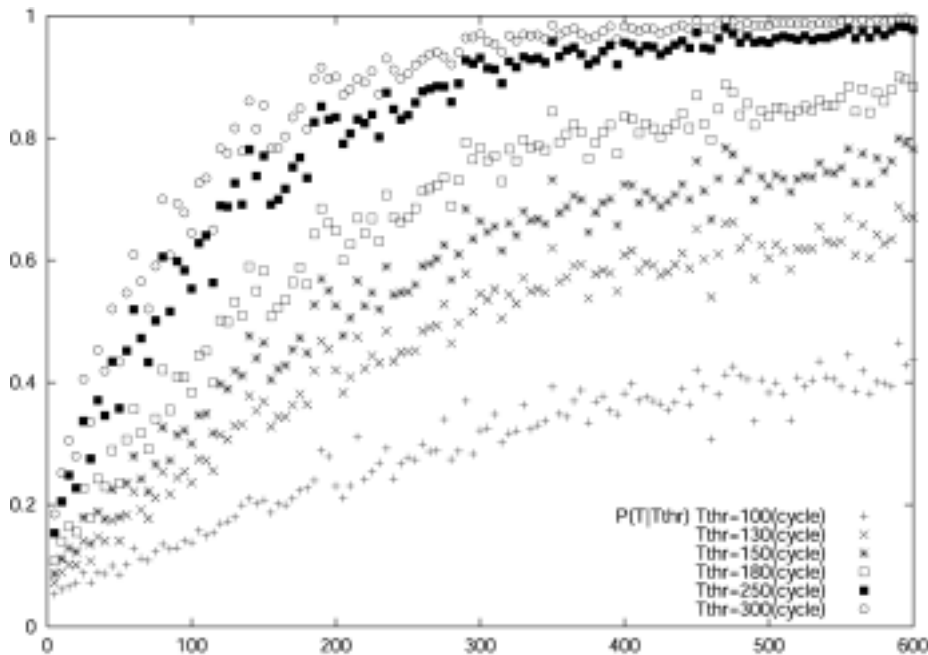


図4: ある時刻Tthr までに到着する確率

人口密度(エージェントの総数)が変化指せたとき,各配信方法によるMessage Hopの違いを平均到着時間(3-(a)),平均メッセージホップ数(3-(b)),Time=200 までに到着する確率(3-(c))の三つのグラフにて示す.このグラフは横軸がエージェント数を示す.図3-(a)からは全ての選択方式においてエージェント数の増加に従い時間は短くなっている,一方図3-(b)ではrandomのみがエージェント数の増加に従ってHop数が増えているが他の選択方式では,一定の数値で安定しているように思われる.そして,図3-(c)では,randomに比べて他の選択方式が良い到着率を示している.

これらの中で特に目を引くのは図3-(b)のHop数の変化である.これは“Small World Effect”の一つの判断基準として,ノードの数の増加に従いHop数は対数的変化を示すとされており,ここではエージェントの接触であるがエージェントの増加に従い増加するために“Small World Effect”の条件の一つを満たしているといえる.また,図3cの複数の時刻で表示した図4をより詳しく分析することで,メッセージを複製しながら伝播させる時のメッセージの寿命(何ターンまで生き残らせるか)が決定できると思われる.

また,人口密度の違いについて以下の特徴も判明した.

- 人口密度が低い場合においては本拠地を指標とする方式が有効である(図3-(c)).
- 人口密度が高くなると目的地に基づく方式の効率が上がり,本拠地に基づく方法より優位になる.

これらから,人口密度に応じた配信方式の切り替えが有効であることがわかる.ただし,PDAが本拠地情報保持していることは自然と考えられるが,現在の目的地を保持できる場面は限られていると考えられる.今後は,一部の人間のみ目的地の情報をPDAに記録している場合や,目的地に関して部分的な情報のみを持っている場合についてシミュレーションを行う必要がある.

(7) 平成14年度の結論

以上のように、今期は災害時臨時情報共有システムの基盤技術となるマイクロサーバ技術、グループウェア技術、および情報配信技術の基礎的な研究を行った。

マイクロサーバ技術については、ミドルウェアの開発を中心として、小電力型マイクロサーバやセンサーネットワークなどの各種デバイスとユーザインターフェースを中心としたUBKitの開発に着手した。また、グループウェアでは情報共有システムNoroshiを開発し、無線P2Pアドホック通信におけるアドレス取得のボトルネックの軽減に成功した。

また情報配信技術に関しては、人の動きと情報の動きを同時にシミュレーションするシステムを開発し、各種配信方式の有効性の検討を開始している。

以上のように本年度は基盤技術の開発を中心に行ってきた。今後はこれら基盤技術の拡充と共に、具体的な災害情報システムへの組み込みを行っていく予定である。

(8) 平成14年度の成果発表等

(9) 平成15年度計画案（参考）

災害時における情報システムの可用性を高めるためには、既存の固定的通信インフラに頼らないシステムをバックアップとして用意する必要がある。一方、携帯機器や無線タグなど、家庭内や町中において無線通信可能な情報機器が近い将来急速に普及していくと考えられ、これを利用したアドホックネットワークは、既存の通信インフラを補完するものとして期待できる。しかし、人の動きや被災による個々の故障などにより、ネットワークの構成は動的に変化し、安定した通信路を確保することは難しい。このため、ネットワークの動的変化を前提とした、通信・情報処理の手法を開発する必要がある。本サブテーマではこのような課題を克服し、可用性の高い災害時情報システムの実現に向け、以下のような機能・要素を持つシステムの構築を目指す。

無線機能付携帯端末および簡易基地局による動的アドホックネットワーク:

市民や救助隊の持つ携帯端末、および、臨時基地局や情報家電、都市情報インフラに用いられる無線タグの通信機能を利用し、災害情報のためのネットワークを動的に構築する方法を開発する。特に人の移動によって携帯端末がアドホックネットワークを渡り歩くことを利用して、広範囲に情報を伝搬させる基本的なメカニズムを開発する。

動的アドホックネットワーク上における知的情報共有・配信方式:

動的アドホックネットワークでは情報伝達の即時性や完全性を完全に保証することは難しい。よって、伝えるべき情報の種類、緊急度、目的により、配信の手順や優先度、情報の共有・統合や冗長化を切り替えることの出来る方式を開発する。

非接触な手段による非常時情報伝送交換システム:

家庭内や町中に既設されている無線タグに被災地情報等を書き込み、被災地外へ移動する救援者等がその情報を非接触で瞬時・大量に自動収集して運び出すことができるようなシステムを構築する。

具体的には以下のような手順で研究を進める。

(a) 広域アドホックネットワーク構築技術に関する研究

小型簡易基地局と携帯端末を用いて、仮想的災害現場において実用的に利用可能な動的アドホックネットワークを構成するシステムを開発する。小型簡易基地局とは、アドホックネットワークの構築に必要な機能を持つ手のひらサイズの計算機であり、これにカスタマイズしたOS など実装してアドホックネットワークの核とする。この基地局は災害時に救助隊などが臨時に町中に設置することを仮定し、自律して動作し、安価に作成できるものを目指す。また、災害情報の個別配信、表示機能などを有する基地局など、高機能型基地局についても検討を行う。

(b) アドホックネットワーク上における情報統合・共有・配信技術に関する研究

アドホックネットワーク上で災害・救助情報を効率よく伝達・集約・共有・配信する手法の開発を行う。特に災害情報では地図上の位置や人の移動などが情報の伝達経路および情報の信頼度などと結び付いており、それを利用して情報の共有や集約、伝達経路選択を行う技術を確立する。

(c) 災害統合シミュレーションを用いた配信システムの評価に関する研究

動的アドホックネットワークおよび知的情報配信システムのシミュレーションによる検証を行う。情報システムではスケーラビリティが重要であるため、上記の(1),(2)のシステムは、大規模運用を行った場合の評価が重要となる。このためには仮設災害現場における実験と共に、広域災害時における検証として、シミュレーションによる評価実験が欠かせない。このため、シミュレーションチームと協力することにより、提案する情報システムの評価のための枠組みをシミュレータに組み込み、大都市サイズの評価実験が可能な枠組みを開発する。

実施計画は以下のものである。

(a) 広域アドホックネットワーク構築技術に関する研究

動的アドホックネットワークおよびその上での知的情報配信方式のプロトタイプを作成し、仮設実験システムにおける実験を開始する。アドホックネットワークにおいては、マルチホップを行う場合に通信のオーバーヘッドが問題となることがわかってきている。これを回避する方法として、瞬間的なマルチホップではなく、比較的小さなネットワークセルと人の動きを組み合わせ、人の動き自体を通信の伝達路として活用することを考える。これを実現するため、位置情報および移動情報と情報の受け手の位置から、逐次的に配送方法を選択するプロトコルを設計し、そのプロトタイプをPDA に実装する。さらに、フィールドテストやデモなどを通じ実用性のテストを行い、プロトタイプの問題点等を洗い出す。また、無線タグとの連動を考慮した拡張など、システムの拡張性の検証を行う。

(b) アドホックネットワーク上における情報統合・共有・配信技術に関する研究

前年度までに開発してきているNoroshi システムを改良し、災害時の情報共有に必要な機能の実装を行う。災害時にはボランティアなど自然発生的に組織される集団をうまく統率する必要があるが、Noroshi の情報共有機能を用いればそれが容易に実現できると

考えられる。ただし現在のNoroshi システムでは多くの人間がアドホックネットワークを構成する場合に生じるマルチホップによるオーバーヘッドが実用上の問題となっているため、その解決方法を中心にシステムの改良を進める。さらに、前年度に設計・開発したUBKit(Ubiquity Building toolkit) を利用して、マイクロサーバとPDA およびセンサーなどが自律的に接続される方法の確立をめざす。この方法を実現することで、種々雑多な機器やデバイスを容易に統合してセンサーネットワークなどを構築することができると考える。

(c) 災害統合シミュレーションを用いた配信システムの評価に関する研究

シミュレーションシステムにおける情報ネットワークの実装を開始し、プロトタイプを作成する。当プロジェクトの統合災害シミュレーションシステムの開発に連動し、上記A),B) で開発するシステムの機能を都市レベルで大規模に評価できるシステムを開発することを目指し、人間同士の情報通信の形式化とそれに基づいたシミュレーションシステムのモジュール開発を行う。同時に、開発したシミュレーションシステムを利用して情報配信における各種プロトコルの評価を行い、A)やB) で採用する方式の改良方法を提案することを目指す。

(10) 参考文献

1. 無線P2P 通信を用いたスケジュール管理システム 峯岸康史，渡邊充隆，日比野雅也，森彰，瀬尾明志 ソフトウェア科学会全国大会(2002)
2. UBKit for Cyber Assist Hideyuki Nakashima, Masatomo Hashimoto, Akira Mori to appear in Proc. of the Second International Conference on Active Media Technology, ICAMT2003(2003)