

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500065
 研究課題名（和文） 環境変化に対する移動端末の自立判断に基づく適応的アドホックネットワーク構成手法
 研究課題名（英文） Adaptive Ad-Hoc Networks Based on Autonomous Mobility of Wireless Nodes in Dynamic Environments
 研究代表者
 梶垣 博章 (HIGAKI HIROAKI)
 東京電機大学・未来科学部・准教授
 研究者番号：70287431

研究成果の概要：複数の移動無線ノードから構成され、トポロジが経時的に変化するアドホックネットワークでは、ノードの相互作用対象の移動や変更等の外部環境の変化やノードの障害等の内部環境の変化が起きる。これに対して、各ノードの自律判断に基づく個別あるいは局所的な移動等によって適応することができるアドホックネットワーク構成に必要となるノード群配置、環境変化への追従移動、耐故障、ノード移動をも活用した情報伝達等に関わる新手法を考案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：情報ネットワーク・アドホックネットワーク

1. 研究開始当初の背景

ノート型PC、PDA、ウェアラブルコンピュータ、RFID、車載コンピュータ、移動ロボット、センサノードなどの移動コンピュータを無線通信によって接続したモバイルネットワークを基礎としたユビキタスコンピューティング環境構築技術の研究開発が活発に行なわれている。これまで、移動コンピュータが基地局

を介して他のコンピュータ通信するインフラストラクチャネットワークを対象とした諸技術が考案されてきた。

これに対して、移動コンピュータのみから構成されるアドホックネットワーク、広域に多数分布するセンサノードによる取得データを収集活用するセンサネットワーク、移動コンピュータと中継基地局との複合として構成

されるメッシュネットワークが構想され、その実現と活用のための多様な研究開発が進行している。ここでは、複数移動コンピュータ間のPeer-to-Peer型の通信によるネットワークアプリケーションの実現が可能である。しかし、移動コンピュータに搭載された電源容量の制約、近接する複数移動コンピュータの同時通信による無線信号の競合、衝突などの問題のために、移動コンピュータ間の直接通信のみでネットワークを構成することは困難である。そこで、送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータへのデータメッセージ配送を中継移動コンピュータを介した無線マルチホップ配送で実現する。このとき、各移動コンピュータには、データメッセージの転送を行なうルータとしての機能を搭載することが必要となる。無線マルチホップ通信では、無線通信が低信頼で不安定であること、マルチホップ配送経路上の中継移動コンピュータが通信中に移動する可能性があることを考慮しなければならない。このような環境を対象として、データメッセージの配送経路を決定するルーティングプロトコル、データメッセージ配送プロトコル等の様々なプロトコルが研究開発されている。しかし、その大部分は以下の仮定に基づいて設計されている。

- 移動コンピュータは均一に分布する。
- 移動コンピュータは他の移動コンピュータ(または基地局)と常時通信可能である。
- 移動コンピュータは低速で自律的に移動する。

無線マルチホップ配送のためのルーティングプロトコルとして、DSR、AODV、DSDV、OLSR等が提案されているが、いずれも上記の仮定のもとに設計されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、無線マルチホップ配送を活用するアドホックネットワーク、センサネットワーク、メッシュネットワークにおいて、ネットワークアプリケーションの目的や処理対象データの位置に基づいて、移動コンピュータが自律的に自身の位置を変化させる適応的アドホックネットワーク構成手法を考案することを目的とする。この目的を達成するために、研究期間内に以下について検討する。

- 移動コンピュータの適切な分布(配置)に関する検討
移動コンピュータ群の適切な分布および目的達成やデータの効率的な配送への影響について検討し、移動と処理との密接な関係について明らかにする。
- 適切な分布への移動要求の移動コンピュ

ータへの通知に関する検討

各移動コンピュータは、隣接移動コンピュータのみと直接通信可能であり、自身の近隣移動コンピュータの情報しか持ち得ない。そのため、移動要求は各コンピュータに対する個別要求とは成り得ない。そこで、全体的な配置情報を必要な移動コンピュータに対して低コストで通知する手法を考案する。

- 各移動コンピュータの自律的な移動戦略に関する検討

各移動コンピュータは、前項で通知された移動要求を自身の移動戦略へと反映させなければならない。ここでは、自身の位置や速度、加速度に加えて自身の隣接移動コンピュータの移動情報も考慮する必要がある。

また、自身で実行しているアプリケーションによる移動要求とのトレードオフを考える必要もある。

(2) 上記に関して、無線マルチホップ通信を行なう移動コンピュータネットワーク一般について成立する要件を明らかにするために、以下の個別アプリケーションを対象とした検討を行なう。

- マルチメディアデータの無線マルチホップ配送
- センサノード層とマルチホップ配送移動コンピュータ層から構成されるセンサネットワーク
- 移動と無線マルチホップ配送の組み合わせによる ITS データ配送ネットワーク

本研究では、まず理論的なアプローチによって、コンピュータの移動を活用するためにネットワークアプリケーションの要求を移動コンピュータ群に伝達する方法、データメッセージを中継する移動コンピュータが中継対象のアプリケーションの要求と自身が実行するネットワークアプリケーションの要求、および近隣移動コンピュータの位置等の限定された情報から自律的に自身の移動を決定する方法、移動結果のフィードバックによって自律的に補正する手法を考案し、その実現アルゴリズムを構成する。また、コンピュータシミュレーションおよび実験センサネットワークによって、提案アルゴリズムの有効性を検証する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず、以下の3つの問題を対象として、適応的アドホックネットワーク実現アルゴリズムを考案する。

- マルチメディアデータ配送のための高スループット獲得手法
順次短縮リンクを用いるマルチホップ配

送経路を構成するために、移動コンピュータを適切な位置に移動させるアルゴリズム、経時的にコンピュータが移動した場合に順次短縮リンクによるマルチホップ配送経路を局所的な補正によって再構成するアルゴリズムを考案する。また、マルチホップ配送経路内の競合、衝突を複数無線チャネルを使用する手法や時分割多重によって解消する手法を動的に組み合わせる方法を考案する。これら3手法は、移動コンピュータ密度に応じて使い分ける必要があるが、本研究ではさらに使い分けるために移動コンピュータの位置を変更することも考慮する。

- センサノード群+適応型移動コンピュータネットワークによるセンサー-アクチュエータネットワークシステム

センサノード群によって取得される有意なデータは、時間に対して均一に発生するものよりもバースト的かつ地理的に局所的に発生するものが多いと考えられる。このようなデータを収集し、アクチュエータの動作指示へと結び付けるためには、有意なデータを生成するセンサノード群の分布と動作指示対象のアクチュエータ群との位置関係や生成データ分布と頻度に応じて、マルチホップ配送を担う移動コンピュータ群を適切に配置する必要があり、この配置決定および移動のアルゴリズムを考案する。また、狭帯域無線通信環境での実現のために、配送中に中継移動コンピュータでデータ量を縮小する、すなわち中継移動コンピュータがメッセージの転送のみではなく、ネットワークアプリケーション実行の一部を担う手法を検討する。

- コンピュータ移動とマルチホップ配送を組み合わせた粗密度移動コンピュータネットワークにおけるマルチホップ配送手法

ITS環境を想定し、車載コンピュータ間の通信をマルチホップ配送のみではなく、車載コンピュータの移動をも活用して実現する手法を考案する。特に、車載コンピュータ密度が低い場合において、道路情報、入手可能な局所的トラフィック情報等を活用して、データメッセージの転送戦略および移動戦略を決定するアルゴリズムを考案する。

(2) (1)の各項目について、いずれもネットワークシミュレータの活用によって性能評価を行なう。この実験には、GloMoSimやns2といった移動コンピュータネットワークを対象としているシミュレータを活用する。シミュレーション実験では、コンピュータの移動戦略の実装が重要となるが、特にITS環境

ではコンピュータの移動は道路交通の規制の範囲で自由度があることになることから、与えられたパラメータに基づいて交通トラフィックを生成するソフトウェアを実験用シミュレータに組込む。また、センサー-アクチュエータネットワークにおけるコンピュータ移動と配送中データ縮小については、センサノード群と中継移動コンピュータ群による実機実験を実施する。

(3) さらに、考察手法の適用性を検証する以下の実験を行う。

- 広域、大規模アドホックネットワークを対象としたシミュレーション実験。
- 実機評価システム開発と評価
- 移動と処理との関連の一般化とそれともなうソフトウェアライブラリ開発。
- アドホックネットワークのための他のプロトコルへの提案手法の適用。

提案手法がより有効に機能するのは、各移動コンピュータの周辺環境や動作するネットワークアプリケーションが多様で経時的に変化する環境であると考えられる。ネットワーク内に多様な環境が混在し、それが時間変化する状況は、より大規模で広域に渡るアドホックネットワークにおいて頻繁に発生すると考えられる。

そこで、考察したアルゴリズムを広域、大規模アドホックネットワークで評価するシミュレーション実験を行なう。具体的には、数百台から数千台の移動コンピュータ、数千個から数万個のセンサノードからなるネットワークを対象とする。

4. 研究成果

(1) センサノードと中継ノードの配置決定手法

無線通信機能を備えたセンサノードの取得するセンサデータをシンクノードへ無線マルチホップ配送するセンサネットワークの構築を行なう手法として散布によるものがある。しかし、散布されたセンサノードがシンクノードへのマルチホップ接続性を有することを保証するためには図1のような多数のノードを要する。

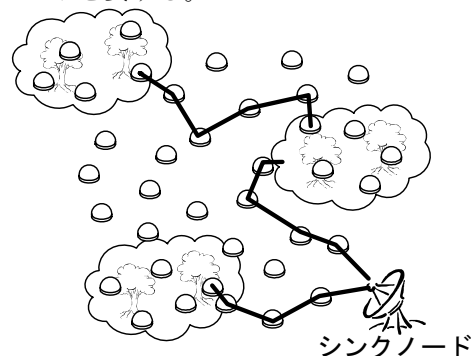


図1 センサノードの散布

本研究では、散布されたセンサノードとシンクノードの接続を低コストで行なう方法として、図2のような移動中継ノードを導入する手法を考案した。散布された移動中継ノードの初期配置位置と既設センサネットワークの余剰移動中継ノードの位置とを管理サーバに集約することで、少数のセンサノード散布でセンシング領域を被覆しつつ、移動中継ノードの短距離の移動で高接続性を得ることを可能にした。

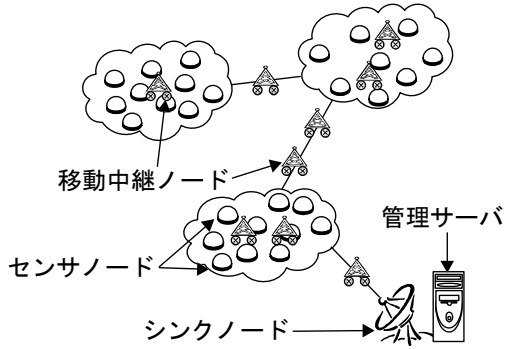


図2 センサノードの散布

(2) QoSに基づくセンサノードの自律移動手法

センサネットワークは、無線通信機能を備えたセンサノードの観測データを他のセンサノードを中継ノードとする無線マルチホップ配送によってシンクノードに収集する無線ネットワークである。ここで、センサノードの製造、設置、維持管理、撤去のコストが大きく、適用対象領域が比較的に広い場合には、対象領域全体をセンサノードの観測可能領域で被覆するほど高密度に配置することは困難である。そこで、自律的に移動可能なセンサノードを低密度に配置することで、適切な費用対効果が得られるセンサネットワークを構築することが考えられる。ここでは、移動センサノードで観測可能な領域の適用対象領域全体に対する面積比率は大きくないことから、観測対象の移動に対してセンサノードが追従することが求められる(図3)。

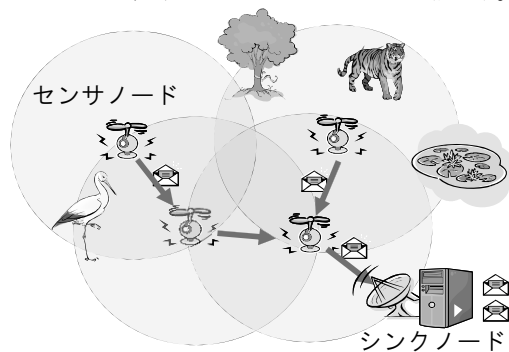


図3 移動する観測対象のためのセンサネットワーク
このとき、観測データを保持し続けるために

十分な記憶領域を移動センサノードが備えていないこと、観測データのシンクノードへの配送遅延を要求値以下とすることが求められることから、移動センサノードとシンクノードとの間の無線マルチホップ接続性を高く維持することが求められる。本研究では、移動センサノード群からシンクノードへのマルチホップ配送木が構成済みであることを前提として、観測対象の移動に対して、図4のような観測データの品質と無線マルチホップ通信の品質とを考慮して各センサネットワークの移動方法を決定する手法を提案した。ここでは、広域分布する大規模センサネットワークを対象とすることから、移動センサノード位置を集中管理せず、局所的な通信とネットワークトポロジ変更を行なうこととして、局所的な情報交換のみを行なうアルゴリズムを構成した。

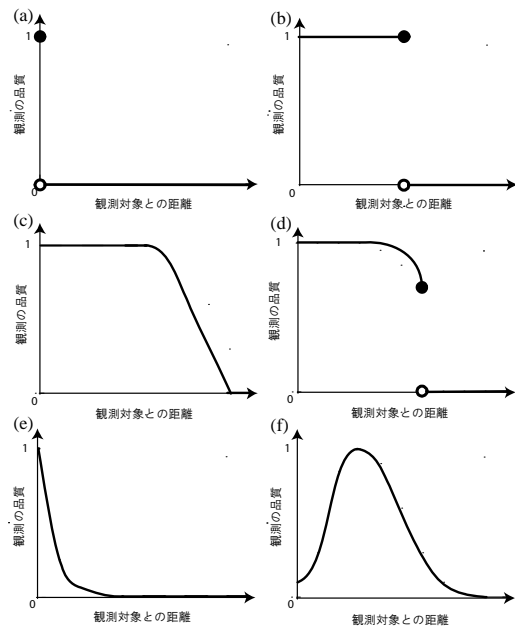


図4 観測対象とセンサノードとの距離と観測QoS

(3) 中継ログ手法によるチェックポイントプロトコル

アドホックネットワークの内部環境変化のひとつが移動ノードの故障である。分散コンピューティング環境において耐故障性を実現する手法として、従来の固定ネットワーク環境ではチェックポイントリカバリプロトコルが提案されてきた。チェックポイントリカバリプロトコルでは、状態情報を格納する安定記憶の存在と、メッセージの送信元コンピュータと送信先コンピュータの同期による一貫性のないメッセージ(紛失メッセージと孤児メッセージ)の検出、回避が十分に可能な通信帯域の存在が前提となっている。本研究では、これらの前提条件が成立しない、移動ノードのみで構成されるアドホックネ

ネットワークのためのチェックポイントリカバリ手法を提案した。提案手法では、図5のように移動コンピュータの状態情報を隣接移動コンピュータに保存する。また、図6のように紛失メッセージとなる可能性のあるメッセージを無線マルチホップ配送経路上の中継移動コンピュータが判定してメッセージログに保存する中継ログ方式を用いることとする。このメッセージログとチェックポイントにおける状態情報は、チェックポイント設定要求メッセージにビギンバックして配送する。提案手法は、必要とするメッセージ数、メッセージ量が多くの場合従来手法よりも小さくなることがシミュレーション実験によって明らかとなった。

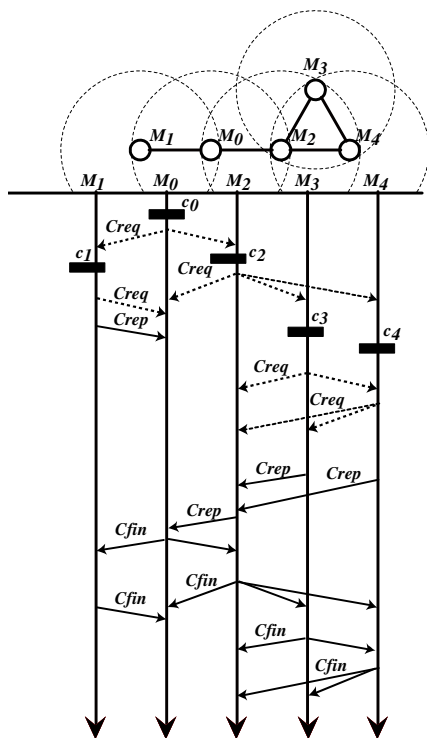


図5 チェックポイントプロトコル

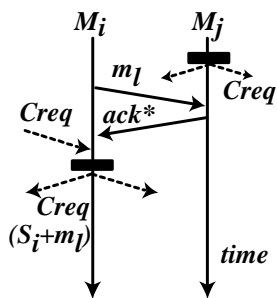


図6 中継ログ方式

(4) 道路地図を利用した車輦間マルチホップルーティング

無線マルチホップネットワークの適用環境のコンピュータ分布が一様に疎である、あるいは疎である領域と密である領域とを含

む場合には、送信元移動コンピュータと送信先移動コンピュータとがマルチホップ接続可能な時間がデータメッセージ群の配送に対して十分に長くはない、あるいは最悪の場合にはほとんどマルチホップ接続しないことが考えられる。

研究では、カーナビゲーション機能を備えた車載移動コンピュータ群からなる無線マルチホップネットワークを対象として、隣接移動コンピュータ間の無線通信によるデータメッセージ転送とデータメッセージを保持したコンピュータの移動との組合せによる到達性の高い無線マルチホップ通信手法を提案した。ここでは、車載移動コンピュータおよび交差点の位置を道路IDと基準点からの道のりの組として表現し、配送経路を部分道路列として与える手法を導入した。そして、位置で指定される送信先までのデータメッセージのマルチホップ配送経路をカーナビゲーションシステムの経路探索機能を用いて検出する。また、移動コンピュータの分布が疎である領域を含む環境に適用するために、この経路と位置の表現方法に基づいた隣接車載移動コンピュータへのデータメッセージ転送ルールを定めることにより、図7と図8のように移動と転送によってデータメッセージを配送するプロトコルを設計した。

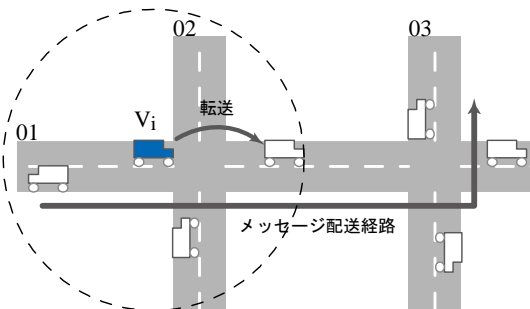


図7 車輦間通信による配送

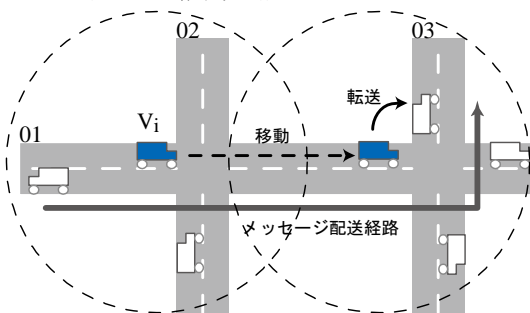


図8 移動による転送

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Oka, Hiroaki and Higaki,

Hiroaki, "Wireless Multihop Communication in Sparse Vehicular Ad-Hoc Networks," International Journal of Internet Protocol Technology, Vol. 4, No. 2, 11 ページ, 査読あり (2009).

- ② 桧垣博章, "再送信代行による配送遅延短縮を実現する MMDTP 無線マルチホップデータ配送プロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 2, pp. 798-813, 査読あり (2009).
- ③ 小野真和, 桧垣博章, "端末移動への耐性の高い位置ベースアドホックルーティングプロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 7, pp. 2392-2407, 査読あり (2008).
- ④ 渡邊未佳, 桧垣博章, "NB-GEDIR: 周期的な位置情報交換を行わない拡張 GEDIR アドホックルーティングプロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 2180-2191, 査読あり (2008).
- ⑤ 小野真和, 桧垣博章, "アドホックネットワークのための中継ログ手法を用いたチェックポイントプロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 2, pp. 650-671, 査読あり (2008).

[学会発表] (計 6 件)

- ① 平井亮太, 小杉正昭, 岡啓明己, 桧垣博章, "観測 QoS と通信 QoS に基づく移動センサノードの自律的位置変更手法," 情報処理学会第 71 回全国大会, 2009/03/10, 滋賀.
- ② Sakamoto, Daiki and Higaki, Hiroaki, "Wireless Multihop Transmission of Sensor Data with Buffering in Neighbor Sensors," The 20th International Conference on Parallel and

Distributed Computing and Systems, 2008/11/17, オーランド (USA).

- ③ Oka, Hiroaki and Higaki, Hiroaki, "Multihop Data Message Transmission with Inter-Vehicle Communication and Store-Carry-Forward in Sparse Vehicle Ad-Hoc Networks (VANET)," The 2nd IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, 2008/11/05, タンジール (モロッコ).
- ④ Shimada, Mina and Higaki, Hiroaki, "Dynamic Modification of Wireless Multihop Transmission Route in Message-by-Message Manner for Shorter Transmission Delay," The 19th International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2007/11/20, ボストン (USA).
- ⑤ Higaki, Hiroaki, "LBSR: Routing Protocol for MANETs with Unidirectional Links," The 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2007/10/09, ニューヨーク (USA).
- ⑥ 砂川敦志, 桧垣博章, "移動中継ノード群による高接続センサネットワーク構築手法," 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 2007/09/20, 山口.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
桧垣 博章 (HIGAKI HIROAKI)
東京電機大学・未来科学部・准教授
研究者番号 : 70287431
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし