

平成21年6月18日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18500062

研究課題名 (和文) アドホックネットワークのための環境適応型エージェント技術

研究課題名 (英文) Environmentally Adaptable Agent Technologies for Ad Hoc Networks

研究代表者

角田 良明 (KAKUDA YOSHIAKI)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：40233671

研究成果の概要：アドホックネットワークにおいて個々の環境適応型エージェントが周囲の局所情報のみに従ってネットワーク環境の変化に自律的に適応する技術について検討を進め、次の研究成果を得た。(1) ソースとデスティネーション間の経路上に一定のホップ数間隔で複数の管理ノードを設置するなどの幾つかのルーティングを提案した。(2) 車車間アドホックネットワークルーティグを活用して、各自動車が多滞箇所を自律的に回避する自動車走行制御手法を提案した。

交付額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 1,000,000 | 0       | 1,000,000 |
| 2007年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2008年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,300,000 | 690,000 | 3,990,000 |

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：アドホックネットワーク、環境適応、エージェント、センサネットワーク、ルーティング、自動車走行制御、プロトコル、テスト

## 1. 研究開始当初の背景

アドホックネットワークではモバイル端末間の無線リンクでデータを送受するとともにモバイル端末にはデータ転送機能がある。モバイル端末が移動しても無線リンクの連結経路によりデータはソースからデスティネーションに転送される。そのためアドホックネットワークはネットワーク環境の変動に適応すべきアシュアランスシステムと捉えることができる。環境適応型エージェントは、個々のエージェントが周囲の局所情報のみに従ってネットワーク環境の変化に自律的に適応するため、ネットワーク環境の変

動に追従しネットワーク資源を適応的に制御できる可能性を秘めている。

研究代表者らは、平成15年度から平成17年度までの基盤研究(C)において「環境適応型エージェントに基づくアシュアランスネットワークソフトウェアの設計と評価」の研究を進め、様々なアシュアランスネットワークソフトウェアの設計に環境適応型エージェント技術が有効であることを示した。そのなかでアドホックネットワークに特に有効であることを明確にし、クラスタリング、ルーティング、サービス発見などの新しい手法を提案してきた。本研究では、この研究成果を踏まえて、アドホックネットワークを対

象としてトポロジーなどのネットワーク環境の変動に速やかに適応する実用的な環境適応型エージェント技術の確立を目指す。

## 2. 研究の目的

本研究では、アドホックネットワークのために下記の環境適応型エージェント技術を開発することを目的とする。(1) 実際のネットワーク運用ではモバイル端末の消費電力量などに制約がある。また、無線が届く距離が異なる端末が混在する場合、移動するモバイル端末と移動しないモバイル端末が混在する場合も考えられる。これらの制約条件を満たすように様々な場合においてネットワーク環境や利用形態の変動に適応する実用的なルーティング技術などを開発する。

(2) 送受されたデータに基づいてモバイル端末を移動させるアプリケーションとして、アドホックネットワークを活用した自動車走行制御がある。高速道路を走行する個々の自動車をモバイル端末と見做し、近隣で走行する自動車のグループでアドホックネットワークを構成し、各自動車を走行させる制御技術などを開発する。

上述の(1)、(2)の環境適応型エージェント技術を開発することにより、ネットワークの変動や利用形態の変動に適応できる実用的なアドホックネットワーク技術の確立することを目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) アドホックネットワークルーティング

①非対称アドホックネットワークに対するルーティング： 直接電波到達範囲が異なるモバイル端末の通信の非対称性に着目して、確認パケットの配信手法を工夫した新たなルーティング法を考案する。

②電力消費節約ルーティング： モバイル端末の残存電力量に関する情報を迅速かつ的確に収集し最適な経路を求める新たなルーティング法を考案する。

③位置情報や移動情報を利用したルーティング： すべてのモバイル端末が移動してもモバイル端末の位置情報を分散管理する機構を導入し、位置情報や移動情報を活用した新たなルーティング法を考案する。

④シミュレーション実験評価： アドホックネットワークルーティングの評価基準には、到達率、遅延時間、スループット、オーバーヘッドが考えられる。これらの評価基準を検討し、非対称アドホックネットワークに対するルーティング、電力消費節約ルーティング、位置情報や移動情報を利用したルーティングを評価する。

⑤アドホックネットワークにおけるサービス発見

方式：アドホックネットワークではセンターサーバを設けることは困難である。従来、ブロードキャストやキャッシュを用いた方式が提案されてきたが、これらの方式では、メッセージやメモリの負荷が高い、サービス発見率が悪いという欠点があった。そこで、本研究では、関連するサービスのグループ化、モバイルエージェントによるサービス情報の提供を活用した新たなサービス発見方式を考案する。

⑥ルーティングの高信頼化、高性能化： 経路変更が頻繁に行われたときにも高いデータ到達率が維持できるルーティングや、トラフィックが増大してもフロー制御や輻輳制御によりスループットが大幅に減少しないルーティングを検討する。

⑦センサネットワークの長寿命化： ネットワーク上のノードの電力が零となるノード数が急激に減少しないように、すべてのノードの電力消費量を平等化するように、各ノードが自律的に経路を定める方法を検討する。

⑧プロトコルのテスト、セキュリティ： アドホックネットワークプロトコルを効率良くテストできる試験環境システムを開発する。また、アドホックネットワークにおけるデータ転送のセキュリティを高めたプロトコルの設計法について検討する。

### (2) 車車間アドホックネットワークルーティングを活用した自動車走行制御

①高速道路を対象とする車車間アドホックネットワーク： 高速道路は同じ方向に自動車が走行できる2車線でモデル化する。車車間アドホックネットワークを構成する車群と自動車走行制御の関係を明らかにし、適度な大きさの車群を形成する自動車走行制御方式を考案する。

②格子状道路を対象とする車車間アドホックネットワーク： 格子状道路は垂直と水平の2車線の道路が交差し、2車線には互いに異なる方向に自動車が走行できるものとモデル化する。車車間アドホックネットワークから収集される渋滞状況に関する情報に基づいて、自動車走行制御方式を考案する。

③自動車走行制御スケジューリング： 様々な渋滞情報の基本的要素(自動車の速度、車間距離、隣接車線の空き具合等)と各自動車が実行できる制御の基本的機能(加速、減速、車線変更、右折、左折等)で組み合わせた状態を定義した状態遷移モデルに基づいて自動車走行制御スケジューリングを設計する。

④車車間アドホックネットワークルーティングの基本的要素(電波到達範囲、ホップ数、制御パケットの送信頻度等)、収集する様々な渋滞情報の基本的要素(自動車の速度、車

間距離、隣接車線の空き具合等)、各自動車  
が実行できる制御の基本的機能の関係を明  
らかにして、格子状道路などを対象とする車  
車間アドホックネットワークの自動車走行  
制御スケジューリングをスループットやオー  
バーヘッドの観点からシミュレーション実  
験で評価する。

⑤車車間アドホックネットワークルーティ  
ングを活用した自動車走行制御の他に、アド  
ホックネットワークの応用として、児童見守  
りシステムについて検討する。アドホックネ  
ットワークに基づいた児童見守りシステム  
では、正確かつ多彩な見守り情報を保護者に  
提供する方法を検討する。

#### 4. 研究成果

アドホックネットワークルーティング、車  
車間アドホックネットワークルーティグを  
活用した自動車走行制御などについて研究  
を進め、主に下記の成果が得られた。

##### (1) アドホックネットワークルーティング

電力消費節約ルーティングについては、電  
力が零に近づいたセンサーノードを通過す  
る経路があれば、そのノードを避けて新たな  
経路を局所的に回復、設定するセンサネッ  
トワークルーティングを提案し、シミュレー  
ション実験により、電力が零でないセンサー  
ノードがネットワーク内にある一定数、残存  
する時間が伸びていることを確認した。

位置情報や移動情報を利用したルーティ  
ングでは、ネットワークを格子状に論理的に  
分割し、縦方向の格子、横方向の格子に存在  
するモバイル端末の位置情報を分散的に共  
有管理する機構を導入し、モバイル端末が移  
動しても電波到達が保証できる範囲に存在  
するモバイル端末にデータを転送する新た  
なルーティングを提案し、従来の同様なルー  
ティングである Octopus と比較してデータ到  
達率で効果があることを示した。

アドホックネットワークにおいて、ソース  
とデスティネーション間の経路上に一定の  
ホップ数間隔で複数の管理ノードを設置し、  
経路切れを検知した管理ノードは、近接の管  
理ノード間の部分経路のみを修復するルー  
ティング方式を提案した。シミュレーション  
実験により、遅延時間は少し長くなるが、到  
達率が向上できることを確認した。

アドホックネットワークの応用として、モ  
バイルエージェントが可能な限り平等にノ  
ードを訪問できるように、ノードを移動して  
サービス情報を知らせる、新たなサービス発  
見方式を提案し、フラッディングよりもオー  
バーヘッドが大幅に削減できることを解析で  
示すとともに、提案方式を J2ME と Bluetooth

を用いて実装した。

自律分散クラスタリングに基づいた階層  
マルチキャストルーティングにおいて、クラ  
スタ間にメッシュを構築することにより、ク  
ラスタ間経路の多重化を可能とした新しい  
ルーティング方式を提案した。シミュレー  
ション実験により、多経路に沿ったデータ転送  
のためデータパケットの到達量が向上する  
ことを示している。

センサネットワークにおいて各ノードと  
シンクノードの間に多経路を事前に設定し  
ておき、ノードの電池切れにより経路が切  
れても、まだ生きている経路に切り替えてデ  
ータの転送を維持する新しいルーティング方  
式を提案した。経路の多重化と動的な経路の  
切り替えをオーバーヘッド少なく実現でき  
るので、センサネットワークの長寿命化が期  
待できる。

入力順序に関係なく遷移先の状態が定  
まるとき、順序の異なる入力系列は同値で  
あるとみなすことができる。このような同値  
分割法により、アドホックネットワークプロ  
トコルのテストケースを大幅に削減できる  
新しい方法を提案した。セキュリティにつ  
いては、秘密分散法を用いて、盗聴などに耐  
性を持つデータ転送方式も提案している。

##### (2) 車車間アドホックネットワークルー ティグを活用した自動車走行制御

格子状の道路において車車間アドホック  
ネットワークを用いて各自動車の位置、速度、  
目的地の情報をホップ数を制限して周期的  
に配信するモデルを想定し、その情報を受  
信する各自動車が渋滞箇所を自律的に回避  
する手法を提案し、シミュレーション実験  
により評価した。評価の結果、次の2つの  
結果が得られた。(i)各自動車がその周  
辺の自動車の情報を広く収集できるように  
ホップ数を多くするにつれ情報の精度が高  
くなり、平均走行時間は短くなるが、平均  
走行時間の短縮が見られなくなるホップ  
数の閾値が存在する。(ii)自動車の出現  
頻度を変更して、交通量が様々な場合の  
平均走行時間について VICS による制御  
と提案法を比較評価した。その結果、交  
通量が高い場合、低い場合にはほとんど  
差は見られないが、中ぐらの場合には  
明らかに効果が現れた。

格子状の道路において車車間アドホック  
ネットワークを用いて各自動車が渋滞箇所  
を自律的に回避する走行制御法を検討した。  
自動車の自律性を高めた走行制御法につ  
いてシミュレーション実験による評価を行  
い、渋滞が中程度の道路状況において目  
的地までの到達時間が短縮できることを  
確認した。

モバイルアドホックネットワークに基づ  
いた児童見守りシステムを開発し、広島市安

芸区矢野南小学校の学区においてフィールド実験を行った。複数の児童が持つ端末で自動的に構成されるモバイルアドホックネットワークは児童のグループ情報を提供できるので、児童の見守りに有効であることが実証された。

モバイルアドホックネットワークに基づく児童見守りシステムにおいて、誤登録された通学路を自動的に検出し、インタラクティブに通学路を修正するシステムを開発した。

#### 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31件)

- ① 久行恵美、井上伸二、角田良明、戸田賢二、須崎有康、「ネットワークを渡り歩けるコンピュータ」を利用したネットワークトラフィック削減のための動的負荷分散手法、電子情報通信学会論文誌B、J89-B・4、pp. 443-453、2006、査読有
- ② 白雪峰、大田知行、角田良明、伊藤篤、モバイルアドホックネットワークのための動的サービス提供グループに基づくサービス発見プロトコル、電子情報通信学会論文誌B、J89-B・6、pp. 849-858、2006、査読有
- ③ Atsushi Ito、Tomoyuki Ohta、Kouichi Mitsukawa、Yoshiaki Kakuda、A dynamic index allocation scheme for data retrieval and provision in peer-to-peer networks、IEICE Transactions on Communications、E89-B・9、pp. 2336-2346、査読有
- ④ Atsushi Ito、Tomoyuki Ohta、Kouji Mitsukawa、Yoshiaki Kakuda、An adaptive index allocation scheme for reliable data retrieval and provision in peer-to-peer networks、Proc. 21st ACM Symposium on Applied Computing、no. 21、pp. 694-704、2006、査読有
- ⑤ Hiroshi Nakagawa、Kenji Ishida、Tomoyuki Ohta、Yoshiaki Kakuda、GOLI: Greedy on-demand routing scheme using location information for mobile ad hoc networks、Proc. 26th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops、no. 26、pp. 1-6、2006、査読有
- ⑥ Atsushi Kawano、Daisuke Oka、Yasunori Kubo、Shinji Yamashita、Kaori Maeda、Tomoyuki Ohta、Kenji Ishida、and Yoshiaki Kakuda、A topology controllable testing environment for mobile ad hoc network software、Proc. Second International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks、no. 2、pp. 808-819、2006、査読有
- ⑦ Hiroshi Nakagawa、Tomoyuki Ohta、Kenji Ishida、Yoshiaki Kakuda、A hybrid routing with location information for mobile ad hoc networks、Proc. 8th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems、no. 8、pp. 129-136、2007、査読有
- ⑧ Ryotaro Oda、Tomoyuki Ohta and Yoshiaki Kakuda、An efficient on-demand hierarchical routing protocol based on autonomous clustering for mobile ad hoc networks、Proc. 8th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems、no. 8、pp. 180-187、2007、査読有
- ⑨ Shinji Inoue、Noriyuki Masuda、Yoshiaki Kakuda、An autonomous method for aggregating and repairing paths in sensor networks、Proc. 8th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems、no. 8、pp. 526-533、2007、査読有
- ⑩ Atsushi Kawano、Tomoyuki Ohta、Kaori Maeda、Kenji Ishida and Yoshiaki Kakuda、Development of a topology controllable testing environment for mobile ad hoc network software、IEICE Trans. on Communications、E70-B・11、pp. 3104-3107、2007、査読有
- ⑪ 小島英春、大田知行、角田良明、高橋寿一、MANETプロトコルの仕様適合性試験のための状態遷移図縮退手法、電子情報通信学会論文誌B、J91-B・4、pp. 353-362、2008、査読有
- ⑫ Tsuyoshi Mizumoto、Tomoyuki Ohta、and Yoshiaki Kakuda、Route-split routing resilient to simultaneous failure for mobile ad hoc networks、IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics、Communications and Computer Sciences (Special Section on Multi-dimensional Mobile Information Networks)、E91-A、7、pp. 1625-1633、2008、査読有
- ⑬ Hideharu Kojima、Tomoyuki Ohta and Yoshiaki Kakuda、State transition model for test sequence generation of MANET clustering protocols、Proc. 27th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops、vol. 27、pp. 59-64、2007、査読有
- ⑭ Tomoyuki Ohta、Naoyoshi Murakami and Yoshiaki Kakuda、Performance

- evaluation of autonomous clustering for hierarchical routing protocols in mobile ad hoc networks, Proc. 27th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, vol.27, pp.60-66, 2007, 査読有
- ⑮ Masato Asada, Tomoyuki Ohta, Kenji Ishida and Yoshiaki Kakuda, Development of custom selling system using ad hoc networks, Proc. 10th IEEE High Assurance Systems Engineering Symposium, vol.10, pp.397-398, 2007, 査読有
- ⑯ Shinji Inoue, Kazuya Shozaki, and Yoshiaki Kakuda, An automobile control method for alleviation of traffic congestions using inter-vehicle ad hoc communication in lattice-like road, Proc. 2nd IEEE Automotive Networking and Applications (AutoNet) Workshop in 2007 IEEE GLOBECOM, vol.2, CD-ROM, 2007, 査読有
- ⑰ Tomoyuki Ohta, Yasunori Kubo and Yoshiaki Kakuda, A hierarchical multicast routing based on inter-cluster group mesh for mobile ad hoc networks, Proc. Third International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, vol.3, pp.32-37, 2007, 査読有
- ⑱ Tobias R. Meier, Juergen Dunkel, Yoshiaki Kakuda and Tomoyuki Ohta, Mobile agents for service discovery in ad hoc networks, Proc. 22nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, vol.22, pp.114-121, 2008, 査読有
- ⑲ Ryotaro Oda, Tomoyuki Ohta and Yoshiaki Kakuda, An autonomous clustering-based hierarchical routing using decentralized route information management scheme for mobile ad hoc networks, Proc. 28th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, vol.28, pp.569-574, 2008, 査読有
- ⑳ Tsuyoshi Mizumoto, Tomoyuki Ohta and Yoshiaki Kakuda, Route-split routing with resiliency to simultaneous failure formobile ad hoc networks, Proc. 28th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, vol.28, pp.575-580, 2008, 査読有
- 21 Yoshiaki Kakuda, Atsushi Ito, Tomoyuki Ohta and Shinji Inoue, Hiroshima city children tracking system based on mobile ad hoc networks, Proc. 5th International Service Availability Symposium, CD-ROM, 2008, 査読有
- 22 Hiroshi Nakagawa, Kazuyuki Nakamaru, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, A hybrid greedy routing with location information for mobile ad hoc networks, IEICE Transactions on Communications (IEICE/IEEE Joint Special Section on Autonomous Decentralized Systems Theories and Application Deployments), E91-B, 9, pp.2806-2817, 2008, 査読有
- 23 Eitaro Kohno, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, Secure decentralized data transfer against node capture attacks for wireless sensor networks, Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.35-40, 2009, 査読有
- 24 Yusuke Takemoto, Junichi Funasaka, Satoshi Teshima, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, SCTP performance improvement for reliable end-to-end communication in ad hoc networks, Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.311-316, 2009, 査読有
- 25 Atushi Ito, Tomoyuki Ohta, and Shinji Inoue, Security system for children on school route, Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.129-134, 2009, 査読有
- 26 Yoshiaki Kakuda, Tomoyuki Ohta, Shinji Inoue, Eitaro Kohno, and Yusuke Akiyama, Performance improvement of Hiroshima city children tracking system by correction of wrong registrations on school routes, Third International Workshop on Ad Hoc, Sensor and P2P Networks (AHSP2009), Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, 2009, pp.261-265, 2009, 査読有
- 27 Hiroshi Nakagawa, Kazuyuki Nakamaru, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki

- Kakuda, A hierarchical routing scheme with location information on autonomous clustering for mobile ad hoc networks, Third International Workshop on Ad Hoc, Sensor and P2P Networks (AHSP2009), Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.269-274, 2009, 査読有
- 28 Shinji Inoue, Jun Shimaichi, and Yoshiaki Kakuda, An autonomous method for aggregating primary paths and reserving backup paths in sensor networks, Third International Workshop on Ad Hoc, Sensor and P2P Networks (AHSP2009), Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.351-356, 2009, 査読有
- 29 Hideharu Kojima, Juichi Takahashi, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda, A model for concurrent states and its coverage criteria, First International Workshop on Autonomous Embedded Systems and Networking (AESN2009), Proc. 9th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2009), vol.9, pp.363-368, 2009, 査読有
- 30 Hideharu Kojima, Juichi Takahashi, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, An equivalent division method for reducing test cases in state transition testing of MANET protocols, IEICE Transactions on Communications (Special Section: Ad Hoc and Mesh Networking for Next Generation Access Systems), E92-B, 3, pp.794-806, 2009, 査読有
- 31 Izumi Yamamoto, Kazuki Ogasawara, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, A hierarchical multicast routing using inter-cluster group mesh structure for mobile ad hoc networks IEICE Transactions on Communications (Special Section on Networking Technologies for Dependable Networks), E92-B, 1, pp.114-125, 2009, 査読有

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：アドホックネットワークの経路修復方法

発明者：伊藤、角田、大田

権利者：KDDI、角田

種類：特許権

番号：特願 2007-123341

出願年月日：平成 19 年 5 月 8 日

国内外の別：国内

名称：アドホックネットワークにおけるノード数の計数方法

発明者：伊藤、角田、大田

権利者：KDDI、角田

種類：特許権

番号：特願 2007-123342

出願年月日：平成19年5月8日

国内外の別：国内

[その他]

Web ページ URL

<http://www.nsw.info.hiroshima-cu.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

角田 良明 (KAKUDA YOSHIAKI)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号：40233671

### (2) 研究分担者

大田 知行 (TOMOYUKI OHTA)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・講師

(平成 17、18 年度)

(平成 19 年度は本人了解の上削除)

研究者番号：90347617

井上 伸二 (INOUE SHINJI)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・助教

(平成 17、18 年度)

(平成 19 年度は本人了解の上削除)

研究者番号：50264932

### (3) 連携研究者

大田 知行 (OHTA TOMOYUKI)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・講師

研究者番号：90347617

井上 伸二 (INOUE SHINJI)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：50264932

河野 英太郎 (KOHNO EITARO)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：40285432