

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24650001

研究課題名(和文) 動力的アドホックネットワークの萌芽

研究課題名(英文) Challenging Research to Kinetic Adhoc Network Design

研究代表者

徳山 豪 (Tokuyama, Takeshi)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40312631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、キネティック(動力的)な移動体管理の理論手法を取り入れた新しいアドホックネットワークの理論的手法体系を世界に先駆けて実現することをめざし、次世代スマート社会でのネットワークデザインに貢献することを長期的目的とした。具体的に研究期間内では、幾何学的ルーティングでのキネティックルーティングの設計、通信混線の最小化構造のキネティックな理論構築を行いつつ、様々な条件を統合した実用的なモデルで理論的に保証されたネットワーク構築の提案を行った。成果は7本の学術誌論文および国際会議論文にまとめられ、また数多い国際交流を行い、萌芽研究を、長期的目的に向けた本格的な国際共同研究に進展させた。

研究成果の概要(英文)：In this project, we aimed at realizing theoretical framework of new adhoc network design based on theoretical methodology of kinetic control of moving objects. The grand challenge is its contribution to the network design in the future smart society. During the research period, we gave theoretical investigation of kinetic design of geometric routing and interference minimization, and proposed network construction with practical model that has robust theoretical guarantee under several integrated conditions. The research results have been published in seven papers in international journals and refereed international conferences. We also pursued several international collaborations, and this sprout research has been continued to a more large-scale international joint research to aim at our grand challenge.

研究分野：理論計算機科学

キーワード：アルゴリズム 計算幾何学 アドホックネットワーク 動力的構造

1. 研究開始当初の背景

本報告書は、平成 24 年度～26 度科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)動力的アドホックネットワークの萌芽(課題番号 24650001)の成果をまとめたものである。

次世代のネットワークの基本要素として、また、災害時緊急ネットワークとして、アドホックネットワークは非常に大きな期待を持たれる情報通信形態である。これは、幾何学的に配置され、移動する情報通信ノードが互いに通信するネットワークであり、計算幾何学で用いられる様々な幾何学的グラフが用いられている。しかし、移動幾何構造としてのアドホックネットワークの理論解析は現状では未開であった。

これに対して、代表者の徳山によって 1992 年に提唱され、その後の進展で得られている動力的データ構造理論を用いて、代表者が最近発表した静的なアドホックネットワークにおける独自の最適化理論を、移動物体をつなぐ MANET における最適化に理論拡張することで研究を開始する。

2. 研究の目的

本研究では、キネティック(動力的)な移動体管理の理論手法を取り入れた新しいアドホックネットワークの理論的手法体系を世界に先駆けて実現することをめざし、次世代スマート社会でのネットワークデザインに貢献することを目的とする。具体的に研究期間内では、幾何学的ルーティングでのキネティックルーティングの設計、通信混線の最小化構造のキネティック理論の構築を行いつつ、様々な条件を統合した実用的なモデルで理論的に保証されたネットワーク構築の提案を行う。

3. 研究の方法

具体的には、一般化局所近傍グラフやガブリエルグラフなどの幾何学的グラフにおける基礎成果を拡張して、通信先の位置が未確定である場合の幾何学ルーティングの実現と、移動物体ネットワークの頑健性検証を可能な限り局所的に行い、その効率性の理論保証を与えるという問題を、世界に先駆けて解決することを目標とする。更にそれをキネティック構造として必要な検索機能や変更機能を持ったシステムとする検討を行う。

また、アドホックネットワークの最適化問題について、効率的な解法のある定式化を検討し、幾何学的なグラフでの高速アルゴリズムの開発に取り組む。また、関連したネットワークの幾何学埋め込みに対する萌芽的アイデアの発展に関して検討を行う。距離測定誤差を許した場合の幾何学埋め込みのアルゴリズムは非常にチャレンジングな問題であるとともに、小さな移動に対するシステム

の頑健性に関連し、キネティック構造の解析に必要な要件であり、また独立に幾何学測定理論としての萌芽が期待されるものである。

4. 研究成果

理論的な研究を主体にしており、成果は学術論文や国際会議で発表し、また萌芽研究として、広く発展させるために国際ワークショップの開催や海外研究者との共同研究を実施した。また、研究の国際化と進展のため、平成 27 年度まで期間を延長している。

以下に各年度の成果と、総括的な評価を述べる。

平成 24 年度には、一般化局所近傍グラフ、ガブリエルグラフなどの幾何学的グラフにおける文献基礎成果を拡張して、通信先の位置が未確定である場合の幾何学ルーティングの実現と、移動物体ネットワークの頑健性検証を可能な限り局所的に行い、その効率性の理論保証を与えるという問題を、世界に先駆けて解決することを初年度の目標とする。更にそれをキネティック構造として必要な検索機能や変更機能を持ったシステムとする検討を行う予定であった。これに対して、上記課題で重要な技術であるネットワークルーティングに関して、従来技術を統合する視点から新しい設計法を提案した。この成果は国際会議 ALGOSENSORS2012 に採録された。

平成 25 年度には、アドホックネットワークにおける通信に必要なルーティングプロトコルに関して、主にジオメトリックルーティングと呼ばれる幾何学的情報を活用する手法を中心に研究を行った。既存のジオメトリックルーティングの特徴を検討し、重要な判断指標であるドローネグラフ上での到達保証を持つルーティング法に関して包括的な性質を与えた。これは、目的関数に関する幾何的な条件であり、また、このような目的関数の族が和と積について閉じているという代数的な性質を利用して、新しいルーティングプロトコルを開発する一般的な手法を与えた。これを用いて、4 種類の新しいルーティングプロトコルを提案し、理論と実験により、従来プロトコルよりも優れた性質を持つことを示した。さらに、状況によってプロトコルを切り替える発見的プロトコルを提案し、与えられた評価指標に対して最適化を行えることを示した。これらの成果は論文誌へ投稿し、掲載が決定している。また、2013 年 4 月 19 - 21 に松島において国際ワークショップ AAAC2013 を開催し、共同研究者の Halldorsson 教授に本研究テーマに関する招待講演を行ってもらった(経費は都合によりワークショップの全体経費から拠出した)。さらに徳山は 2014 年 1 月 26 日から 31 日にドイツダクスチュールで開催された無線通信アルゴリズムの国際ワークショップに招待され、世界のトップ研究者 40 名と研究交流を行った。ここでは理論的なアルゴ

リズムと、現実のアドホックネットワークの実証実験における要件との差について論じて、アドホックネットワークにおけるアルゴリズム研究の方向性を論じた。また、ロボットなどの分散ネットワークにおいて、可視角度情報からネットワーク形状を再構築する新しいアルゴリズムを提案し、格式ある国際会議である ISAAC 2013 に採録され、成果発表を行った。

平成 26 年度には、国際共同研究を重点的に実施した。まず、Anne Driemel 博士、Ulrich Bauer 博士の 2 名の若手研究者との討論を 26 年 6 月に行った。また、27 年 1 月には、山形県蔵王において 1 週間のワークショップを開催し、その中で動的なクラスタリングに対する研究討論を行った。韓国、中国からの海外参加者の国内滞在費の一部を研究費から拠出した。また、キネティックデータ構造に関する若手研究者の Marcel Roeloffzen を雇用(雇用費用は大学運営費から)し、研究の強化を図った。さらに、幾何学ネットワークの専門家である Shakar Smorodinsky 教授と Mattiew Katz 教授(イスラエル、Ben Gurion 大学)を東北大学に 1 週間招聘し、Kinetic Geometric Hypergraph に関する研究を行った。これに関しては継続して研究を続けており、成果は次年度に論文として発表する予定である。また、ERATO の巨大グラフプロジェクトと共同でセミナーを実施し、本研究において最も中心的になるアドホックネットワークに関する調査を行うとともに、グラフを用いた新しいルーティングアルゴリズムを開発した。

平成 27 年度は、24 - 26 年度の成果をベースに、更に広い研究ネットワークを構築するための国際化に重点を置いて研究を行った。キョンギ大学(韓国)の Sang Won Bae 准教授を 2 回招聘し、計算幾何学についての最先端の理論についての共同研究を行った。また台南国際大学(台湾)の Yi-Jung Chen 博士を招聘し、LSI 設計への本研究テーマの活用に関する共同研究を行った。これらについては、論文を作成中である。また、香港科学技術大学(香港)の Siu-Wing Cheng 教授との共同研究を行い、主にアドホックネットワークの基盤技術であるドローネ網に関する知見を得た。

また、研究代表者の徳山は招待講演をタイにおける国際会議で実施した。ここでは、ビッグデータ処理におけるアルゴリズム設計全般についての講演を行ったが、その中で本研究のテーマである計算幾何学の研究成果についての講演を行った。

総合的な評価：

本研究では、キネティック(動力的)な移動体管理の理論手法を取り入れた新しいアドホックネットワークの理論的手法体系を世界に先駆けて実現することをめざし、次世代スマート社会での実用化に貢献することを

目的として研究を進めた。本テーマに最も深くかかわる国際学会 ALGOSENSORS や、国際的専門誌に論文が掲載されるなど、コンスタントに論文発表を行った。

テーマであった理論研究に関しては十分な成果である。現実のシステム実装に関しては、研究代表者は東北大学にネットワークアルゴリズムセンターを設立し、その主催者として、現実のアドホックネットワークのインフラストラクチャに関わる研究者との相談や意見交換を開始しており、この点でも予定通りの進展を行っている。更に、数多くの国際共同研究セミナーを実施し、海外の有力研究者を招聘したことにより、国際共同研究体制も確立した。この萌芽研究を基盤にして、平成 27 年度からは基盤研究(B)で「非決定性を含む動力的計算機科学の理論と応用」という課題に発展させてより大規模に研究を行うことに発展した。従って、当初の計画以上に進展した。さらに、このテーマに関して、オランダとの二ヶ国間共同セミナー事業に採択され、共同セミナーを平成 28 年度 5 月に実施するなど、国際交流の発展にもつなげている。

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 7 件)

1. Xiang Yu, Jinhee Chun, Takeshi Tokuyama, **Reliable Top-k Dominating Query on Uncertain Big Data with x-Relation**, Proceedings of the Young Researcher Workshop on Automata, Languages and Programming (2015) 33-41, 査読有
2. Meng Li, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, **Efficient algorithms for network localization using cores of underlying graphs**, Theoretical Computer Science 553 (2014) 18-26, 査読有
3. Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien, Takeshi Tokuyama, **A Unified View to Greedy Geometric Routing Algorithms in Ad Hoc Networks**, IEICE Transaction 97-A(6) (2014) 1220-1230, 査読有
4. Jinil Kim, Peter Eades, Rudolf Fleischer, Seok-Hee Hong, Costas S. Iliopoulos, Kunsoo Park, Simon J. Puglisi, Takeshi Tokuyama, **Order-preserving matching**, Theoretical Computer Science 525 (2014) 68-79, 査読有

5. Jinhee Chun, Ricardo Garcia de Gonzalo, Takeshi Tokuyama,
Space-Efficient and Data-Sensitive Polygon Reconstruction Algorithms from Visibility Angle Information,
Proceedings of ISAAC 2013, LNCS 3283(2013) 22-32, 査読有

6. Akitoshi Kawamura, Jiri Matousek, Takeshi Tokuyama,
Zone Diagrams in Euclidean Spaces and in Other Normed Spaces,
Mathematische Annalen 354-4 (2012) 1201-1212, 査読有

7. Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien, Takeshi Tokuyama,
A Unified View to Greedy Geometric Routing Algorithms in Ad Hoc Networks,
Proc. Algosensors 2012 (2012) 54-58, 査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

1. Takeshi Tokuyama,
Theoretical Computer Science for Big Data Analysis: Recent Activities in Japan,
The Tenth International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (2015年11月14日), タイ プーケット, 招待講演

2. Xiang Yu, Jinhee Chun, Takeshi Tokuyama,
A Reliable Top-k Dominating Query on Uncertain Big Database,
18th Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms and Computation (2015年8月23日), 韓国 仁川

3. T. Tokuyama,
Algorithmic Problems on Geometric Routing in Ad Hoc Networks,
Dagstuhl Seminar on Algorithms for Wireless Communication (2014年1月29日), ドイツ ダグスチュール, 招待講演

4. Jinhee Chun, Ricardo Garcia de Gonzalo, Takeshi Tokuyama,
Space-Efficient and Data-Sensitive Polygon Reconstruction Algorithms from Visibility Angle Information,
AAAC 2013 (2013年4月21日), 松島

5. Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien, Takeshi Tokuyama,
A Unified View to Greedy Routing Algorithms in Ad Hoc Networks,
15th Korea-Japan Joint Workshop on

Algorithms and Computation (2012年7月11日), 東京

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳山 豪 (Tokuyama Takeshi)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：40312631

(2) 研究分担者 なし
()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし
()

研究者番号：