

機関番号：12401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700182

研究課題名（和文） リアルタイム複数動体追跡を実現する階層型分散協調システム構築に関する研究

研究課題名（英文） Research on Construction of Hierarchical Distributed Cooperative System for Real-Time Multitarget Tracking

研究代表者 松本 倫子 (MATSUMOTO NORIKO)

埼玉大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：90447277

研究成果の概要（和文）：本研究は、サブシステム間の協調によりシステム総体として新たな機能獲得を目指すシステムにおける、システムの安定性確保や制御機能の低下を防止する方法論への展開を目指している。合意形成理論に基づくネットワーク、動体追跡などに応用されているセンサネットワークでのネットワーク最適化を具体的システムとして構築・分析することにより、当該分野の理論的研究を裏付け、高い評価を得ている。

研究成果の概要（英文）：This research aims at constructing a methodology for acquiring new functionalities as the whole system by cooperating among subsystems. Such kind of System has structural problems of degrading its stability and controllability. We constructed and analyzed two concrete systems, the network based on the consensus formation theory and the optimization of sensor networks. The outcomes supported theoretical researches in their related fields, and have been highly acclaimed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス，自律分散処理

キーワード：分散システム，情報ネットワーク，センサネットワーク

1. 研究開始当初の背景

自律分散システムや分散人工知能システムは、多数のサブシステムで構成される。サブシステムは各々がもつ独自の目標に従い処理を行うと同時に、システム全体としての目標達成のために互いに協調を行う。この協調は、サブシステム間の関係により自律的に生成され、それは各サブシステムが知りえるローカルな情報のみに従って制御される。このようなシステムでは、多くの情報がサブシステム内で処理されるため、通信量やコスト

が削減でき、またサブシステム間で協調して処理パターンを作成することによりシステム構成の変化に耐性をもつ。このような特性から、Swarm Intelligence を筆頭に多くの分野での応用が試みられており、今後の発展が期待されている。しかし、サブシステム間の協調によりシステム総体として新たな機能の獲得を目指す場合、非線形性がシステムの本質に関わっていることから、システムの安定性や制御性能が劣化するという問題があり、システム的设计は非常に困難になる。

本研究は、このような問題を具体的なシステムの構築と実験評価を通じて分析し明らかにすることで、システムの安定性確保や制御機能の低下を防止する方法論への展開を目指している。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに画像中からの輪郭抽出を対象に、階層型エージェント協調による新たな分散協調手法を提案し、最適解への到達可能性を向上させてきたが、対象のダイナミクスは考慮に入れていなかった。前述したようなシステムの安定性と制御機能を分析するためには、状態が時々刻々と変化するような具体的なシステムを構築し、実験・評価を通して分析することが望ましい。そこで、申請時における当初の目的は、動画画像中に多数の粒子を配し確率的に動体追跡を行う粒子フィルタを対象システムとして、そこに階層型分散協調システムを応用することにより、探索空間の動的な変化に対するシステムの性能評価を行うと同時に、システムの安定性や制御機能を分析することであった。しかしながら、後述のように、サブシステム間に存在する関係性（以下ネットワーク）に着目し、その相互作用が最適なネットワーク構造を自律的に変化させていくことによる、システムの安定性向上や制御機能の低下防止を議論し、その方法論を築くことを目的とした。

近年、ネットワーク科学の分野で対象間に存在するネットワーク、すなわち対象の関係性に着目し、その関係性が創発する知能、集合知に関する研究が注目を集めている。これらは現実世界のネットワークの構造を解析し、その構成要素（以下ノード）群の振る舞いから特別な役割を果たすノードや重要な関係（以下リンク）を見つけること、またそれによってネットワークが組織として新たな発展を遂げていくダイナミクスを明らかにすることを指すものである。このようなアプローチは、頑健性がありながら最適化され連続と続けられてきた自然界・社会に存在する複雑な振る舞いを示すシステムや、インターネットのような非中央集権的で各ノードが気ままに振る舞っているが統制されている（ように見える）システムを理解することに繋がる。自然界や社会活動では、個はローカルだが得うる最大の情報に基づき、自身の利益を最大化するよう自律的に行動しているが、マクロに捉えれば意図せぬ新たな機能を果たしている。従って、このようなアプローチから得られる知見は、本研究の柱である、サブシステム間の協調により新たな機能獲得を目指すシステムの安定性確保や制御機能の低下を防止する方法論への展開を支える重要な要素となる。そこで本研究では、具体的なシステムとして合意形成理論に基

づくネットワークやセンサネットワークを設計・構築し、シミュレーション実験を通して、どのようなノードやリンクがネットワークの発展ダイナミクスに影響を与えるのか、また効果的にネットワークを最適化する役割割当手法について分析することとした。

3. 研究の方法

(1) 合意形成理論に基づくネットワークの構築と分析

自律分散的に協調するサブシステムは、互いに対等であり、各サブシステムは各々のローカルな情報のみに従い行動選択を行う。しかしこの行動選択は、協調関係にある他者に影響を与え、その状態を変化させる。これをネットワークと捉えると、このような非中央集権的構造はピアツーピア・ネットワーク

(P2P) が最も近い。そこで、基礎となる分散システムをネットワーク上に構成する技術としてP2Pを用いることとした。このとき、サブシステムはノードにあたり、それらの協調はパケットやコンテンツの授受であると思ふ。一方で、社会ネットワークにおいては、例えば企業や趣味サークルといった様々な集団から成り立っており、集団内では興味や意見の近い人間が集まっていることが多い。合意形成理論とは、このような集団における意見変化と相互の繋がりをモデル化したものであり、先行研究により、このモデルが、初期状態ではフラットであった社会ネットワークを意見の類似性に従ってクラスタ化していくことが確認されている。そこで、P2Pにおける検索行為に合意形成理論を導入し、各ノードの保持コンテンツや検索履歴の類似性に従って動的にネットワーク構造を変化させるP2Pを提案し、シミュレーションを通して、その通信量やトポロジーの変化、ネットワークの発展ダイナミクスにおけるノードやリンクの役割について分析を試みた。

(2) センサネットワークによるネットワーク最適化

(1)では、個はネットワーク全体としての目的は全く関知せず、個の目的である検索行為の類似性に従ってネットワークが再構成されていく際に、重要な役割を果たすノードやリンクが存在するか、またそれらが果たす役割とは何か、について分析を試みた。しかし、システム総体として新たな機能獲得を目指すとき、そのネットワークの制御機能を維持できないシステムは破綻する。自然界や社会活動においてそのシステムが破綻しないためには、個にある制約が重要なのではないかと考えた。そこで、動体追跡などに応用されているセンサネットワークを対象システムとし、制約下におけるネットワークの制御性について分析を試みた。センサネットワー

クでは、空間的に分散配置された無線センサ群を用いて、時々刻々と変化する環境からのリアルタイムで最適・効率的な情報の授受と集約が求められている。このとき、各センサの電波範囲と消費電力がここでの制約となる。このようなネットワークにおいて、各ノードの協調性によるネットワーク最適化の効率的な役割の割当法、ネットワークの再構成法について提案、分析した。

4. 研究成果

本研究では、次のような成果を挙げた。

合意形成理論に基づくネットワークの構築と分析では、各ノードは自身の興味にのみに従い行動を行うが、ネットワーク全体としてはコンテンツとノードの意図的なクラスタが構成され、ネットワークが最適化されることを確かめた。ここでいう最適化とは、検索行為における通信量を抑制しつつ検索成功率を向上させることを指す。だが、重要な役割を果たすノードやリンクの存在については、十分な検証が行えたとはいえ、今後の課題として残されている。

また、センサネットワークにおけるネットワークの最適化では、センサ群をクラスタ化し、そのクラスタを状況に応じて階層化することにより、情報抽出の効率化が果たせることを実験により示した。加えて、障害物における遮蔽に対しても効果的な手法を検討した。

これらの成果は、学術論文誌や学会で高い評価を得ている。

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 8 件)

(全て全文査読)

- [1] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Utilizing Multilayer Hierarchical Structure in Context Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", International Journal of Computational Science, Vol.4, No.1, pp.23-37 (2010)
- [2] Koichi Shimizu, Takahiro Sawamura, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Dynamic Load-Aware Multicast Routing in Ad-hoc Networks", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.5, No.1, pp.123-125 (2010)
- [3] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Context-Aware Cluster-Based Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Networks", International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, Vol.4,

No.6, pp.379-386 (2009)

- [4] Masahito Sugai, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Design and Implementation of Executable UML Platform for Assertion-Based Dynamic Verification", International Journal of Computational Science, Vol.3, No.5, pp.554-567 (2009)
- [5] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Exploiting Context-Awareness in Cluster-Based Wireless Sensor Networks", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.4, No.5, pp.677-679 (2009)
- [6] Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Refactoring-based Executable UML Transformation for Embedded System Design", International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.9, No.6, pp.173-181 (2009)
- [7] Hiroyuki Mukasa, Takashi Shiraishi, Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Toshihiro Nakayama, "Model-Driven Architecture Applied to Distributed Embedded System Design", International Journal of Computational Science, Vol.3, No.1, pp.42-52 (2009)
- [8] Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Shuji Narazaki, "Layered Cooperation of Macro Agents and Micro Agents in Cooperative Active Contour Model", Lecture Notes in Artificial Intelligence, No.5044, Springer, pp.86-97 (2009)

[学会発表] (計 15 件)

- [1] Yuta Miyauchi, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Toshihiko Shimokawa, "Preliminary Study on World-Wide Implementation of Adaptive Content Distribution Network", Proc. Workshop on Self-Organising, Adaptive, Context-Sensitive Distributed Systems, 11 pages, Kiel, Germany (2011.3.11) (全文査読)
- [2] Masaya Miyashita, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Dynamic Load Distribution in Grid Using Mobile Threads", Proc. IEEE 3rd International Workshop on Internet and Distributed Computing Systems, pp.629-634, Melbourne, Australia (2010.9.3) (全文査読)
- [3] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Obstacle Handling in Context-Aware Multilayer Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Networks", Proc. 5th International Conference on Systems and Networks Communications, pp.76-82, Nice, France (2010.8.23) (全文査

- 読)
- [4] 亀山 信吾, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “並行処理デザインパターンのアスペクト指向による記述” 情報処理学会 研究報告 (組込みシステム研究会), Vol.2010-EMB-18, No.8, 15 pages, 函館 (2010.8.10) (査読なし)
- [5] 上野 高元, 野口 雅司, 植木 雄一, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “システム・バリエーションのアスペクト指向による部品化” 情報処理学会 研究報告 (組込みシステム研究会), Vol.2010-EMB-18, No.9, 16 pages, 函館 (2010.8.10) (査読なし)
- [6] 宮内 雄太, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “適応型コンテンツ配信ネットワークの広域環境での実験評価”, マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, pp.659-665, 下呂 (2010.7.7) (ヤングリサーチ賞受賞) (全文査読)
- [7] 宮下 雅哉, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “モバイルスレッドを用いたGRIDの動的負荷分散”, マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, pp.722-727, 下呂 (2010.7.7) (優秀プレゼンテーション賞受賞) (全文査読)
- [8] 山口 拓也, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “コンテンツ類似度に基づくP2Pネットワークの動的再構成”, マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, pp.2009-2014, 下呂 (2010.7.9) (全文査読)
- [9] 岩田 英一郎, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “Webサービスのインタフェース変換の動的アスペクト記述”, 情報処理学会 第72回全国大会論文集, Vol.5, pp.219-220, 東京 (2010.3.9) (査読なし)
- [10] Tatsuya Hoshino, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Masahito Sugai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Communication Model Exploration in Aspect-Oriented Executable UML”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.129-134, Rome, Italy (2009.11.20) (全文査読)
- [11] Shinya Kosuge, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Masahito Sugai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Design Pattern Specifications in Aspect-Oriented Executable UML”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.139-144, Rome, Italy (2009.11.20) (全文査読)
- [12] Risa Suzuki, Koichi Shimizu, Ken'ichiro Kimura, Chuzo Tsumura, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Reliable and Geography-Aware Peer-to-Peer Multicast for Earthquake Early Warnings”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.165-170, Rome, Italy (2009.11.20) (全文査読)
- [13] Nurul Azma Zakaria, Masahiro Kimura, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Stepwise Refinement in Executable-UML for Embedded System Design: A Preliminary Study”, Proc. International Conference on Computer Engineering and Technology 2009, pp.151-153, Oslo, Norway (2009.7.31) (全文査読)
- [14] Yusuke Yoshida, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Efficient Decentralized Evaluation of Node Trustworthiness in Peer-to-Peer Networks”, Proc. International Conference on Computer Engineering and Technology 2009, pp.177-179, Oslo, Norway (2009.7.31) (全文査読)
- [15] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Context-Aware Multilayer Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Network”, Proc. 3rd International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp.277-283, Athens, Greece (2009.6.22) (全文査読)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 倫子 (MATSUMOTO NORIKO)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：90447277

(2) 研究分担者 なし。

(3) 連携研究者 なし。