

平成 30 年 4 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2017

課題番号：25820180

研究課題名(和文)サイバーフィジカルシステム論的アプローチによる高信頼な自律分散協調制御

研究課題名(英文)Reliable Autonomous Distributed Cooperative Control by Cyber-Physical Systems Approach

研究代表者

林 直樹 (Hayashi, Naoki)

大阪大学・工学研究科 助教

研究者番号：80637752

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、エージェントの物理制約やエージェント間の情報伝達の際の通信制約を考慮し、各エージェントがCPUのオーバーロードやネットワークの輻輳による制御性能の低下を防ぐ信頼性の高い分散協調制御法を提案した。まず、ネットワークの無線規格による通信制約を考慮した協調制御に関する研究を行った。また、事象駆動型の協調制御則や分散最適化アルゴリズムを提案し、制御性能やアルゴリズムの収束性を保ちつつエージェント間の通信回数を低減する手法を提案した。さらに、提案した協調制御則や分散最適化アルゴリズムのセンサネットワークへの応用について検討した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we addressed a control method for reliable distributed cooperative control that considers physical and communication constraints of multi-agent systems to avoid deterioration of control performance by an overload of a CPU and a network congestion. We first proposed a cooperative control method with constraints on a wireless communication standard. We also considered event-triggered cooperative control and distributed optimization algorithms and showed the proposed methods can reduce the number of communications without causing performance deterioration. In addition, we considered an application of the proposed cooperative control methods and the distributed optimization algorithms to sensor networks. By this research project, we provided a framework of cooperative control and distributed optimization for reliable autonomous control.

研究分野：制御工学

キーワード：マルチエージェントシステム 協調制御 分散最適化

## 1. 研究開始当初の背景

近年、IoT (Internet of Things) やクラウドコンピューティングに代表されるように、あらゆるシステムがネットワークを介して結合し、サービスを提供する時代となっている。このような背景の下、システム制御工学の分野においても、ネットワークを介したシステムをどのように制御すればシステム全体としてうまく機能し、より良いサービスを提供できるかを考えるマルチエージェントシステムの協調制御に関する研究が活発に行われている。マルチエージェントシステムの協調制御では、エージェントと呼ばれる自律行動主体(サブシステム)同士がお互いにローカルな情報伝達をしながら、システム全体としてのグローバルな目的を自律分散的に達成する。このように、複数のエージェントが協調することで、個々のエージェントだけでは達成が困難であるタスクを実行したり、システムの構成の変更やエージェントの故障によるタスクの変更に柔軟に対応したりすることが可能となる。このような利点から、マルチエージェントシステムの協調制御は大規模センサネットワークやロボットのフォーメーション制御、分散最適化に基づく機械学習など、様々な分野への応用が試みられている。

## 2. 研究の目的

従来の協調制御の研究では、時間と共にエージェント間の情報伝達が変化するスイッチングトポロジーや単方向通信への拡張など、主に通信トポロジーの制約に関する研究に重点が置かれてきた。しかし、例えばモバイルセンサネットワークでは、各エージェント(ロボット)は目標軌道計算の他にも、モータの駆動制御や他のロボットとのデータ送受信などのタスクを同時並行処理している。またコストや物理的制約から、ロボットに搭載できる CPU やメモリなどの情報システムのリソースは厳しく制限されている。このとき、従来研究のような通信トポロジーの制約だけでなく、エージェントの物理制約や情報システムのリソース制約も考慮した制御則に従ってタスクを実行しなければ、CPU がオーバーロード(過負荷)状態に陥ったりネットワークの輻輳を招いたりし、誤作動やシステム異常の原因となる。

そこで本研究では、協調制御の理論と実システムとの間の溝を埋めるため、エージェントの物理制約やエージェント間の情報伝達の際の通信制約を陽に考慮し、オーバーロードやネットワークの輻輳によるシステム異常や制御性能の低下を防ぐ信頼性の高い自律分散協調制御法を開発することをその目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究の目的は、システム制御理論と情報

通信理論の分野横断型アプローチにより、物理制約と情報通信制約を考慮した高信頼な自律分散協調制御法を確立することである。この目的を達成するために、以下の研究を行った。

### (1) 通信制約を考慮した協調制御則の導出

ロボットの物理制約と IEEE 802.15.4 ネットワークによる通信制約を考慮した協調制御に関する研究を行った。まず、全てのロボットを同じ地点に集合させる合意形成問題を考え、合意ダイナミクスとリアプノフの安定性理論を用いて各ロボットの目標軌道を与えるタスクと目標軌道に追従するようにモータを制御するタスクを導出した。また、ロボット間の通信体系として IEEE 802.15.4 ネットワークを考え、協調制御を実現するネットワーク帯域割り当てアルゴリズムについて考察した。

### (2) 事象駆動型の協調制御則や分散最適化アルゴリズムの導出

リアプノフの安定性理論により、非周期的にエージェントの状態を更新するイベントトリガ型合意ダイナミクスについて考察した。連続時間の事象駆動型ダイナミクスとして、エージェントの出力を合意させるダイナミクスや収束速度を向上させるダイナミクスを提案し、合意を達成するための十分条件を導出した。離散時間の事象駆動型合意ダイナミクスについても同様に、合意を達成するための十分条件を導出した。また、各エージェントのローカルな目的関数の和を共通の変数で最小化する最適化問題に対する分散最適化アルゴリズムに事象駆動型通信を適用し、エージェント間の通信回数を削減する手法を提案した。

### (3) 協調制御のセンサネットワークへの応用

本研究テーマでは、協調制御のカメラセンサネットワークへの応用について考察した。カメラセンサネットワークによる協調追跡では、カメラのターゲットへの割り当てと割り当てられたターゲットの追跡を行う必要がある。このうち、ターゲット割り当て問題を解くためには、カメラやターゲットの位置などの大域的な情報が必要であり、また計算量も大きくなるため、限られた計算資源しかもたないカメラエージェントのみで解くことは一般に困難である。そこで、提案手法では大域的な情報を扱うことができるコーディネータを導入した 2-レベル階層型のカメラセンサネットワークを提案し、複数のカメラがターゲットを協調して追跡できることを示した。また、2次元拡散方程式に支配される拡散現象において、拡散物質の発生源を突き止めるセンサネットワーク問題に合意制御や分散最適化を応用する手法を提案した。

#### 4. 研究成果

(1) 物理制約を考慮した対向二輪型移動ロボットモデルの導出と IEEE 802.15.4 無線ネットワークの通信制約を考慮した協調制御法の導出を行うことができた。特に、GTS (Guaranteed Time Slot) を用いた時分割方式により PAN コーディネータが無線ネットワーク帯域を割り当て、合意形成が実現できるようにエージェント間の情報伝達を完了する無線通信アルゴリズムを導出した。

(2) 事象駆動型の協調制御則や分散最適化アルゴリズムの導出では、必要なときにのみ他のエージェントと通信を行う事象駆動型の合意ダイナミクスについて考察し、リアプノフの安定性理論に関する手法を応用することで、通信回数を削減しつつ合意を達成するための十分条件を導出することができた。また、エージェント間の状態の差があるしきい値を超えたときのみ他のエージェントと通信を行う事象駆動型通信による分散最適化アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムにより、エージェントが通信回数を削減しつつ分散的に最適化問題を解けることを示した。

(3) 協調制御のセンサネットワークへの応用では、カメラネットワークを用いた協調追跡則を導出し、提案制御則により移動ターゲットを漸近的に追跡するための十分条件を導出した。さらに、初期濃度推定問題をスパースモデリングの正則化問題として定式化し、各エージェントがスパースな初期濃度分布を分散的に求めるアルゴリズムの収束速度を評価した。

#### 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 14 件)

Kazuyuki Ishikawa, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Consensus-Based Distributed Particle Swarm Optimization with Event-Triggered Communication, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E101-A, no. 2, pp. 338-344, February, 2018. 査読有 . DOI:10.1587/transfun.E101.A.338

梶山 祐一, 林 直樹, 高井 重昌, 合意制御に基づく分散事象駆動型劣勾配アルゴリズムによる制約なし凸最適化, システム制御情報学会論文誌, vol. 61, no. 6, pp. 253-262, 2017 年 6 月. 査読有 . DOI:10.5687/iscie.30.253

Naoki Hayashi, Kohei Segawa, and Shigemasa Takai, 2D Voronoi Coverage

Control with Gaussian Density Functions by Line Integration, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 10, no. 2, pp. 110-116, March, 2017. 査読有 . DOI:10.9746/jcmsi.10.110

Naoki Hayashi and Shigemasa Takai, Distributed Source Identification by Two-Hop Consensus Dynamics with Uniform Time-Varying Communication Time-Delays, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 10, no. 2, pp. 70-76, March, 2017. 査読有 . DOI:10.9746/jcmsi.10.70

Naoki Hayashi, Masaaki Nagahara, and Yutaka Yamamoto, Robust AC Voltage Regulation of Microgrids in Islanded Mode with Sinusoidal Internal Model, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 10, no. 2, pp. 62-69, March, 2017. 査読有 . DOI:10.9746/jcmsi.10.62

Shiori Miyake, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Discrete-Time Average Consensus with Multi-Hop Communication, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 9, no. 5, pp. 187-191, September, 2016. 査読有 . DOI:10.9746/jcmsi.9.187

Shinji Iwase, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, A Gradient-Based Approach for Discrete-Time Average Consensus with Self-Triggered Control, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 9, no. 3, pp. 122-127, May, 2016. 査読有 . DOI:10.9746/jcmsi.9.122

瀬川 昂平, 浜田 健太, 林 直樹, 高井 重昌, 2 レベル階層型 PTZ カメラセンサネットワークによるイベントトリガ型協調追跡, 計測自動制御学会論文集, vol. 52, no. 1, pp. 19-27, 2016 年 1 月. 査読有 . DOI:10.9746/sicetr.52.19

野村 健二, 林 直樹, 高井 重昌, 収束速度の改善を考慮した 2-ホップ平均合意ダイナミクスの検討, 電子情報通信学会論文誌分冊 A, vol. J98-A, no.10, pp. 587-594, 2015 年 10 月. 査読有 . [https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-a\\_10\\_587](https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-a_10_587)

Naoki Hayashi and Shigemasa Takai, GTS-based Communication Task Scheduling for Quantized Output Consensus over IEEE 802.15.4 Wireless Networks, Automatica, vol. 55, pp. 6-11, May, 2015. 査読有 . DOI:10.1016/j.automatica.2015.02.028

林 直樹, 高井 重昌, サイバーフィジ

カルシシステムの研究動向と展望, 計測と制御, vol. 53, no. 12, pp. 1076-1079, 2014年12月. 査読無.  
DOI:10.11499/sicejl.53.1076  
Kenta Hamada, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Event-Triggered and Self-Triggered Control for Discrete-Time Average Consensus Problems, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 7, no. 5, pp. 297-303, September, 2014. 査読有.  
DOI:10.9746/jcmsi.7.297  
村西 悠, 林 直樹, 高井 重昌, 平均コンセンサスアルゴリズムによる分散円あてはめ, システム制御情報学会論文誌, vol. 27, no. 1, pp. 14-19, 2014年1月. 査読有.  
DOI:10.5687/iscie.27.14  
林 直樹, 永原 正章, マルチエージェントシステムの制御 --- II 代数的グラフ理論, システム/制御/情報, vol. 57, no. 7, pp. 283-292, 2013年7月. 査読無.  
DOI:10.11509/isciesci.57.7\_283

〔学会発表〕(計46件)

神村 素輝, 林 直樹, 高井 重昌, Thompson 抽出に基づく分散協調型確率的 Bandit の検討, 電子情報通信学会技術報告書, vol. 117, no. 506, MSS2017-80, pp. 15-20, 大阪大学 豊中キャンパス, 大阪府豊中市, 2018年3月12日. 査読無.  
林 直樹, 永原 正章, 分散スパースモデリングによる拡散過程の初期分布推定, 第5回 制御部門マルチシンポジウム, Sa41-2, 東京都市大学 世田谷キャンパス, 東京都世田谷区, 2018年3月9日. 査読無.  
鈴木 健太, 林 直樹, 高井 重昌, 事象駆動型制御による摂動のある時変システムの安定性の考察, 平成29年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, B2-3, 大阪大学 吹田キャンパス, 大阪府吹田市, 2018年1月12日. 査読無.  
Yuichi Kajiyama, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Distributed Multi-Step Subgradient Algorithm for Constrained Convex Optimization with Undirected Time-Varying Communications, Proceedings of the 56th IEEE Conference on Decision and Control (CDC2017), pp. 4650-4655, Melbourne, Australia, December 14, 2017. 査読有.  
石川 和幸, 林 直樹, 楠木 祥文, 高井 重昌, 離散最小費用流問題におけるマルチエージェントシステムを用いた分散最適化の検討, 第60回 自動制御連合

講演会, SuH2-3, 東京都調布市, 2017年11月12日. 査読無.  
Naoki Hayashi and Masaaki Nagahara, Distributed Proximal Gradient Algorithms for Sparse Modeling over Networks, Proceedings of the 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017), pp. 305-306, Kyoto, Japan, October 31, 2017. 査読有.  
林 直樹, 合意制御に基づく分散凸最適化, 電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会, AT-2-4, 東京都市大学 世田谷キャンパス, 東京都世田谷区, 2017年9月12日. 査読無.  
Yuichi Kajiyama, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Distributed Event-Triggered Subgradient Method for Convex Optimization with a Common Constraint Set, Proceedings of the 20th IFAC World Congress (IFAC2017), pp. 15884-15889, Toulouse, France, July 14, 2017. 査読有.  
伊藤 龍弥, 林 直樹, 高井 重昌, ターゲットの速度を考慮したボロノイ被覆制御のカメラセンサネットワークへの応用, 第61回 システム制御情報学会研究発表講演会, 133-2, 京都府民総合交流プラザ京都テルサ, 京都府京都市南区, 2017年5月23日. 査読無.  
林 直樹, 代数的グラフ理論に基づくマルチエージェントシステムの制御と分散最適化, 東北大学 大学院情報科学研究科 研究科重点プロジェクト「数学と諸分野の協働推進による学際的・総合的な新領域研究の開拓」第11回講演会, 宮城県仙台市, 2017年3月6日. 査読無.  
石川 和幸, 林 直樹, 高井 重昌, 事象駆動型平均合意制御を用いた分散 PSO アルゴリズムの検討, 平成28年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, pp. 211-215, 大阪府吹田市, 2017年1月13日. 査読無.  
中島 駿, 林 直樹, 高井 重昌, オイラー・ラグランジュシステムに対する協調取り囲み制御のカメラセンサネットワークへの応用, 平成28年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, pp. 125-130, 大阪府吹田市, 2017年1月13日. 査読無.  
林 直樹, スペクトラルグラフ理論に基づく協調制御, スペクトラルグラフ理論および周辺領域 第5回研究集会, 兵庫県神戸市, 2016年11月26日. 査読無.  
林 直樹, グラフ理論, SICE セミナー「マルチエージェントシステムの制御: IoT時代の制御理論」, 東京都港区, 2016年9月29日. 査読無.  
Hayato Fujimura, Naoki Hayashi, and

- Shigemasa Takai, Linear Convergence of Distributed Periodically-Triggered ADMM for Unconstrained Optimization, Proceedings of the SICE Annual Conference 2016 (SICE2016), pp. 1735-1736, Tsukuba, Japan, September 23, 2016. 査読有 .
- 石川 和幸, 林 直樹, 高井 重昌, ペロン行列を用いたグラフ信号処理による平滑化フィルタ設計の検討, 第33回 センシングフォーラム 計測部門大会 ポスターセッション, 和歌山県紀の川市, 2016年9月2日. 査読無 .
- 梶山 祐一, 林 直樹, 高井 重昌, 合意制御に基づく自己駆動型分散劣勾配法, 第33回 センシングフォーラム 計測部門大会 ポスターセッション, 和歌山県紀の川市, 2016年9月2日. 査読無 .
- 石川 和幸, 林 直樹, 高井 重昌, ペロン行列を用いたバイラテラルフィルタによるグラフ信号処理の検討, 第60回 システム制御情報学会研究発表講演会, 132-1, 京都府京都市, 2016年5月25日. 査読無 .
- 梶山 祐一, 林 直樹, 高井 重昌, 合意制御に基づく劣勾配法による事象駆動型分散最適化, 第60回 システム制御情報学会研究発表講演会, 152-7, 京都府京都市, 2016年5月25日. 査読無 .
- 林 直樹, マルチエージェントシステムの制御 -- IoT/CPS 時代の制御理論 線形代数とグラフ理論, 第3回 制御部門マルチシンポジウム, 愛知県名古屋市, 2016年3月10日. 査読無 .
- 21 林 直樹, マルチエージェントシステムによる分散協調制御, 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会, 大阪府大阪市, 2016年1月29日. 査読無 .
- 22 加藤 雅也, 林 直樹, 高井 重昌, 時刻に依存する最大許容通信遅延を持つ合意制御の検討, 平成27年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, 大阪府吹田市, 2016年1月8日. 査読無 .
- 23 Kohei Segawa, Kenta Hamada, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Cooperative Target Tracking by 2-level Hierarchical PTZ Camera Sensor Networks, Proceedings of the 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC2015), pp. 2975-2980, Osaka, Japan, December 16, 2015. 査読有 .
- 24 岩瀬 真司, 林 直樹, 高井 重昌, 時変ネットワークシステムにおけるイベントトリガ型離散時間合意制御, 第58回 自動制御連合講演会, 2B1-1, 兵庫県神戸市, 2015年11月15日. 査読無 .
- 25 林 直樹, 桜間 一徳, マルチエージェントシステムの制御(2)代数的グラフ理論, 第58回 自動制御連合講演会, 1B2-3, 兵庫県神戸市, 2015年11月14日. 査読無 .
- 26 Koki Abe, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Cooperative Voronoi Coverage with Velocity Feedback of Centroids, Proceedings of the 1st International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2015), pp. 372-374, Kyoto, Japan, October 30, 2015. 査読有 .
- 27 林 直樹, 桜間 一徳, マルチエージェントシステムの制御(2)代数的グラフ理論, 電子情報通信学会 2015年ソサイエティ大会, AT-2-2, 宮城県仙台市, 2015年9月9日. 査読無 .
- 28 Naoki Hayashi, Yu Muranishi, and Shigemasa Takai, Distributed Event-triggered Control for Voronoi Coverage, Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP2015 Work-in-Progress Session), Krakow, Poland, June 17, 2015. 査読有 .
- 29 加藤 雅也, 林 直樹, 高井 重昌, リアルタイムシステムのスケジュール可能性に対するロバスト性の検討, 第59回 システム制御情報学会研究発表講演会, 344-4, 大阪府大阪市, 2015年5月22日. 査読無 .
- 30 三宅 志織, 林 直樹, 高井 重昌, 収束時間を考慮した離散時間平均合意ダイナミクスの検討, 第59回 システム制御情報学会研究発表講演会, 214-2, 大阪府大阪市, 2015年5月21日. 査読無 .
- 31 藤村 勇人, 林 直樹, 高井 重昌, 分散シンプレックス法による線形計画問題の秘匿性を考慮した解法, 第59回 システム制御情報学会研究発表講演会, 112-4, 大阪府大阪市, 2015年5月20日. 査読無 .
- 32 林 直樹, 分散協調制御: 代数的グラフ理論からのアプローチ, 電子情報通信学会 2015年総合大会, AT-3-2, 滋賀県草津市, 2015年3月13日. 査読無 .
- 33 安部 洸暉, 林 直樹, 高井 重昌, 離散時間合意制御問題におけるセキュアな協調制御, 平成26年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, pp. 48-51, 大阪府吹田市, 2015年1月16日. 査読無 .
- 34 岩瀬 真司, 林 直樹, 高井 重昌, イベントトリガ制御を用いた離散時間合意制御の検討, 平成26年度 計測自動制御学会 関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, pp. 44-47, 大阪府吹田市, 2015年1月16日. 査読無 .
- 35 Yu Muranishi, Naoki Hayashi, and

- Shigemasa Takai, Distributed Estimation of 1-D Convection-Diffusion Phenomena by Discrete-Time Event-Triggered Consensus Dynamics, Proceedings of the 53rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC2014), pp. 1995-2000, Los Angeles, USA, December 15, 2014. 査読有 .
- 36 浅井 俊紀, 林 直樹, 高井 重昌, 分散シミュレーション法を用いた発電機起動停止計画問題の最適化, 電子情報通信学会技術報告書, vol. 114, no. 312, CAS2014-96 (MSS2014-60), pp. 75-79, 沖縄県石垣市, 2014年11月20日. 査読無 .
- 37 野村 健二, 林 直樹, 高井 重昌, 収束性を考慮した平均合意ダイナミクスの検討, 電子情報通信学会技術報告書, vol. 114, no. 312, CAS2014-97 (MSS2014-61), pp. 81-84, 沖縄県石垣市, 2014年11月20日. 査読無 .
- 38 Kenji Nomura, Naoki Hayashi, and Shigemasa Takai, Distributed Event-Triggered Control for Consensus Problems with Non-linear Output Functions, Proceedings of the ISCA/ASME 2014 International Symposium on Flexible Automation (ISFA2014), ISFA2014-99S, Hyogo, Japan, July 14, 2014. 査読有 .
- 39 Naoki Hayashi and Shigemasa Takai, Consensus-based Distribution Estimation of 1-D Diffusion Phenomena, Proceedings of the 2014 American Control Conference (ACC2014), pp. 2569-2574, Portland, USA, June 5, 2014. 査読有 .
- 40 安部 洸暉, 林 直樹, 高井 重昌, オンライン故障検出による安全な協調制御, 第58回 システム制御情報学会研究発表講演会, 313-2, 京都府京都市, 2014年5月23日. 査読無 .
- 41 瀬川 昂平, 林 直樹, 高井 重昌, 平均合意ダイナミクスを用いた分散変化点検出法, 第58回 システム制御情報学会研究発表講演会, 313-1, 京都府京都市, 2014年5月23日. 査読無 .
- 42 林 直樹, 物理システムと情報システムをつなぐ協調設計, 計測自動制御学会関西支部 物理と情報をつなぐ次世代システム制御研究会, 大阪府大阪市, 2013年11月21日. 査読無 .
- 43 浜田 健太, 林 直樹, 高井 重昌, カメラセンサネットワークにおける協調物体追跡の一手法, 計測自動制御学会関西支部 物理と情報をつなぐ次世代システム制御研究会, 大阪府吹田市, 2013年11月22日. 査読無 .
- 44 浜田 健太, 林 直樹, 高井 重昌, PTZ

カメラセンサネットワークにおける協調トラッキング, 電子情報通信学会技術報告書, vol. 113, no. 278, CAS2013-59 (MSS2013-38), pp. 41-46, 岩手県花巻市, 2013年11月6日. 査読無 .

- 45 Naoki Hayashi and Shigemasa Takai, A GTS Scheduling for Consensus Problems Over IEEE 802.15.4 Wireless Networks, Proceedings of the 12th European Control Conference (ECC2013), pp. 1764-1769, Zurich, Switzerland, July 18, 2013. 査読有 .
- 46 村西 悠, 林 直樹, 高井 重昌, 円の代数的あてはめ問題へのコンセンサスアルゴリズムの応用, 第57回 システム制御情報学会研究発表講演会, 223-6, 兵庫県神戸市, 2013年5月16日. 査読無 .

〔図書〕(計1件)

東 俊一, 永原 正章, 石井 秀明, 林 直樹, 桜間 一徳, 畑中 健志, マルチエージェントシステムの制御, コロナ, 2015年. ISBN : 978-4-339-03322-9

〔その他〕

ホームページ等

<http://is.eei.eng.osaka-u.ac.jp/n.hayashi/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

林 直樹 (Hayashi, Naoki)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 80637752

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

該当なし