

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03269

研究課題名(和文)次世代M2M網における構造化P2Pを用いた分散エネルギーマッチング技術の研究

研究課題名(英文)Research on distributed energy matching control technology using structured P2P system for the next generation M2M networking

研究代表者

山中 直明 (NAOKI, YAMANAKA)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：80383983

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、サイバーフィジカルシステムの根幹をなす、分散M2Mネットワーク制御技術に関するものである。スケーラビリティを持った、電力網のマッチングは、ある需要に関して距離、量、時間、さらにはCO2といったマルチパラメータの最適な発電リソースを見つけるものである。その実現のためには、ダイナミックに変化する多くのMの状況をエッジコンピュータが監視し、それぞれに属性を持たせ、高速に必要なものを発見し、マッチングを行う技術が必要であるため、これを開発し、開発した技術を自動運転車制御の高度化やエッジコンピュータ連携の応用として発展させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サイバーフィジカルシステムは、来る5G及びBeyond 5G時代において社会システムを運用していくための重要なキーパーツの一つとなくことが期待されている。本研究結果においては、分散協調型のサイバーフィジカルシステムが実現できると、空間的、時間的なスケーラビリティを持った最適化を追求することを明確化した。我々は、これをソーシャルウエルフェアと定義し、計算量を削減しながら、予想や行動変化に対してロバスト性を考慮した最適化を実現できる見通しを得た。この結果は、複数エージェント間の連携にインセンティブを設計し、協力したエージェントにインセンティブを与え、行動変容させることへ発展できる。

研究成果の概要(英文)：This research is related to distributed M2M network control technology, which is the basis of cyber-physical system (CPS). Scalable power grid matching finds optimal multi-parameter power generation resources such as distance, quantity, time, and even CO2 for a given demand. In order to realize it, edge computers monitor the situation of many dynamically changing machines (Ms). Each M has an attribute, it is necessary to find required M which has matched attribute at high speed, and it is necessary to perform the matching technology in the real field. The developed technology has been extended to as a sophistication of autonomous vehicle control and application of edge computer cooperation.

研究分野：フォトリックネットワーク

キーワード：M2M P2P マッチング エネルギー探索 エージェントシステム 自動運転

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

(1) スマートシティの研究開発が開始され、また電力の自由化の進展で EMS (Energy Management System) が脚光を浴びている。そのため、IoT や M2M といった技術が着目し始めた。

(2) 光アクセス、特に NGPON 等の研究と 5G 技術の研究がスタートしており、アクセス系を高度化と高速化が進展し、クラウドを使った常時接続によるアプリケーションの研究が開始された。

### 2. 研究の目的

【2017-2018】家庭に設置される通信用ホームゲートウェイ (HGW) を介して、家庭内のセンサ等を接続する大規模なマシン間通信 (M2M) オーバーレイ網を構築することでビッグデータに対応する各種スマートネットワークが構築可能となる。しかしながら、HGW はセンサの値がダイナミックに変化しかつユーザによる不稼働が発生するため、M2M オーバーレイ網は常態的にノードやリンクが更新される非安定網となる。本研究は、このような非安定網上に構築されるスマートネットワークを前提として、分散的な網構築・構造化 P2P 技術を応用したデータマッチング・データ探索といった各種アルゴリズムを適用し、最適手法を探求することを目的とする。アプリケーション例として、分散ベストミックスエネルギー探索を取り上げ、プロトタイプを用いて最適手法を検証する。

【2019】通信用ゲートウェイを介して、各種センサ等を接続する大規模なマシン間通信 (M2M) オーバーレイ網を構築することでビッグデータに対応する各種スマートネットワークが構築可能となる。しかしながら、実環境においては、センサの値がダイナミックに変化しかつ、通信不安定性に伴う不稼働が発生するため、M2M オーバーレイ網は常態的にノードやリンクが更新される非安定網となる。本研究は、このような非安定網上に構築されるスマートネットワークを前提として、分散的な網構築・構造化 P2P 技術を応用したデータマッチング・データ探索といった各種アルゴリズムを適用し、最適手法を探求することを目的とする。アプリケーション例として、ネットワークアシスト型自動運転 (ADV) 制御を取り上げ、プロトタイプを用いて最適手法を検証する。

### 3. 研究の方法

(1) ネットワークに各種システムが接続し、相互に M2M 制御される電力コントロールでは、最適なペアを発見、決定することが重要である。そのため、ペアの決定法を研究する。

(2) 当初はカメラのデータのフィルタといったいわゆるプレプロセッシングエンジンとして考えられていた。エッジコンピュータを、もっと高度な自動運転のコントロールエージェントとして考え、サイバーフィジカルにおける、マルチエージェント制御、エッジ間連携の研究を行なう。

### 4. 研究成果

(1) スキップグラフを使ったマルチディメンショナルサーチシステムを開発し、例えば、距離、発電量、コスト、CO<sub>2</sub> といった値での、あいまいな検索とマッチングの技術を確立し、電力需給マッチング技術への適用を実現した

(2) 自動運転 (ADV : Autonomous Driving Vehicles) の制御プログラムをエージェントとして複数エージェント (ADV) が連携して動作するプラットフォームの検討を行なった。エージェントプログラムはエッジコンピュータとセンタークラウドを連携させて動作するが、エッジコンピュータは ADV の走行に合わせて移動させる必要がある。さらに、移動時には中断等为避免制御を安定させ、エージェントと ADV のディレイを最小とすることが必要である。そこで、ライブマイグレーションと制御遅延時間の保証を考慮して実装実験を行なった。本研究は米国大学 (UTD : The University of Texas at Dallas)、米国企業と連携し、北米最大級の国際会議、エキシビション SC19 (Super Computer 2019) で日米を 100Gbps の回線で接続し、ライブデモを行なった。また、多くの国際会議で招待講演を行なった。

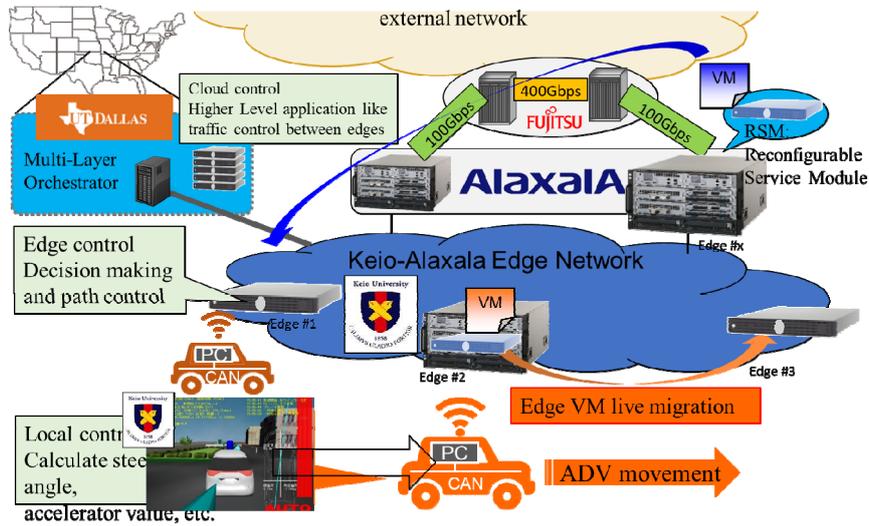


図 1. 自動車コントロールエージェントのライブマイグレーションデモ構成

(3) 他のエージェントの行動を利用した協調制御の実現を目指した。これは、サイバー上では現実世界にはない多くの空間的・時間的に離れたエージェントの制御情報を利活用することができる。これにより行動を推定し、負制動や回避を少なくする等の効果が得られる。

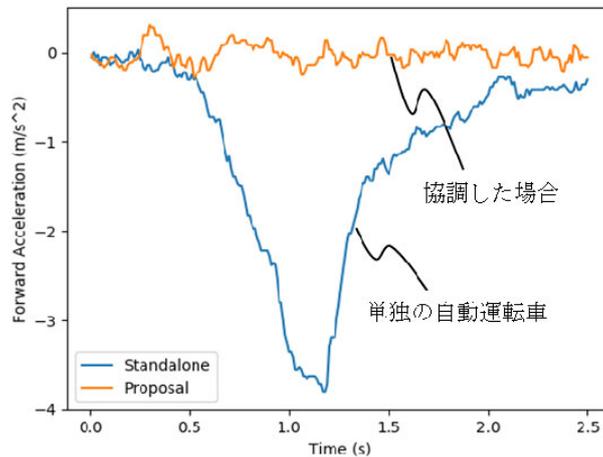


図 2. 他のエージェントの行動を利活用した場合の前後加速度の変化

(4) 複数のマルチエージェントが混在する時の制御技術をフィジカルとロジカルな側面から検討し、ソーシャルウェルフェアという概念で最適化を目指した。これは単純な優先や、交互に交差点に入るのではなく、結果としてある制御条件をつけて、複数のエージェントの合計の待ち時間が最小となる計算をする。これを発展できれば、極めて高度なスマート社会が実現できることが分かった。

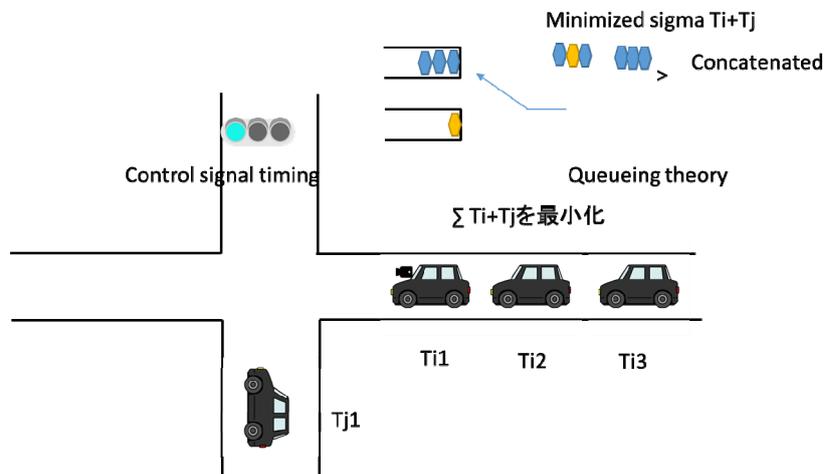


図 3. Social Welfare という考えを使ったマルチエージェント制御

(5) マルチエージェントで複数のエージェント制御を進めると、スタートの時点で最適ルートを決めた車が、走行の途中で他のエージェントの発生等に伴って、最適ルートが変化する。それを、動的に最適化を繰り返す手法として、動的利用者均衡配分の逐次計算を行なった。本検討が実現すればダイナミックで時間的に変化する条件でも最適化を図れる。そこで、非常に計算量が多くなり、従来計算が出来なかったその問題を、首都高速道路をモデルとして、ヒューリスティックな最適手法を検討した。その結果、従来よりも大幅に少ない計算量でダイナミックな最適化が行なえる可能性を示した。

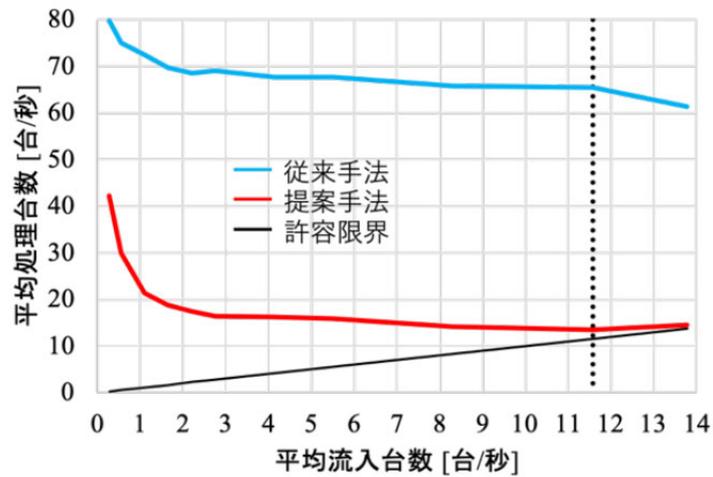


図 4. 流入台数と処理台数の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamanaka Naoaki, Okamoto Satoru, Hirono Masayuki, Imakiire Yukihiro, Muro Wataru, Sato Takehiro, Oki Eiji, Fumagalli Andrea, Veeraraghavan Malathi	4. 巻 10
2. 論文標題 Application-Triggered Automatic Distributed Cloud/Network Resource Coordination by Optically Networked Inter/Intra Data Center [Invited]	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Optical Communications and Networking	6. 最初と最後の頁 B15 ~ B15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/JOCN.10.000B15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 4件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 山中直明、青木佳紀、谷口優也、山本剛毅、岡本聡
2. 発表標題 Self-organized autonomous driving vehicle controlling network using dynamic migrated edge computer function
3. 学会等名 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICN C 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中直明、青木佳紀、谷口優也、山本剛毅、岡本聡
2. 発表標題 5G Edge-computer network supported autonomous driving vehicle realizing selforganized route/position selection
3. 学会等名 International Conference for Leading and Young Computer Scientists (IC-LY CS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口 優也, 青木 佳紀, 岡本 聡, 山中 直明
2. 発表標題 ネットワークアシスト型自動運転プラットフォームにおけるベイズ推定を用いた制御不能車両の位置推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木 佳紀, 山本 剛毅, 谷口 優也, 窪川 拓紀, 岡本 聡, 山中 直明
2. 発表標題 エージェントマイグレーションによる低遅延保証型自動運転プラットフォーム
3. 学会等名 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 剛毅, 青木佳紀, 谷口優也, 窪川拓紀, 山中直明, 岡本 聡
2. 発表標題 自動運転車両における他車両の行動推定に基づく急制動を回避するための経路生成
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Aoki, Kodai Yarita, Goki Yamamoto, Satoru Okamoto, Naoaki Yamanaka, Shohei Ishikawa, Kentaro Sugawara, Kazuo Sugai, Takayuki Muranaka, Ali Shakeri, Behzad Mirkhazadeh, Marco Tacca, Andrea Fumagalli, Gi Vania
2. 発表標題 Result of US-Japan Reconfigurable Resource Pool Networking Experiment
3. 学会等名 47th Asia Pacific Advanced Network (APAN) Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yamanaka, Satoru Okamoto, Kodai Yarita, Takayuki Muranaka, Andrea Fumagalli
2. 発表標題 Smart and Connected Community Network creates new Autonomous Vehicle Services with Big-data science
3. 学会等名 The Irago Conference 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中直明、岡本聡、鏑田幸大、村中孝行、Andrea Fumagalli
2. 発表標題 Edge/Cloud Co-operative Autonomous Driving Vehicular (ADV) control technologies
3. 学会等名 21st Annual Conference Net-Centric (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoaki Yamanaka, Satoru Okamoto, Andrea Fumagalli
2. 発表標題 5G and Elastic Optical Edge Network Testbed for Autonomous Driving Vehicle
3. 学会等名 Global Experimentation for Future Internet (GEFI - 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本聡、鏑田幸大、青木佳紀、三国真土人、谷口優也、山中直明
2. 発表標題 仮想通信処理プロセッサによるエッジコンピューティングサービス基礎実験
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Guillaume Habault, Yuya Taniguchi, Naoaki Yamanaka
2. 発表標題 Delivery Management System based on Vehicles Monitoring and a Machine-learning Mechanism
3. 学会等名 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference: VTC2018-Fall (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Taniguchi, Ryo Kutsuzawa, Akira Yamashita, Jun Matsumoto, Naoaki Yamanaka
2. 発表標題 Demand response minimizing the impact on the consumers' utility considering forecast error on renewable energy resource
3. 学会等名 2017 IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩崎 陽介, 松本 隼, 岡本 聡, 山中 直明
2. 発表標題 ホームゲートウェイInternet of Thingsプラットフォームにおける処理負荷分散手法
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡本 聡  (OKAMOTO SATORU)  (10449027)	慶應義塾大学・理工学研究科(矢上)・特任教授   (32612)	
研究分担者	山口 正泰  (YAMAGUCHI MASAYASU)  (60509967)	慶應義塾大学・理工学研究科(矢上)・特任教授   (32612)	