

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04485

研究課題名（和文）高信頼に遠隔機器制御するための通信と制御との統合的設計に関する研究

研究課題名（英文）Integrated Design of Communication and Control for Reliable Wireless Controlled Systems

研究代表者

石井 光治 (Ishii, Koji)

香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：50403770

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ロボットやドローンなど複数機器を遠隔で、高信頼かつ高速に制御するための無線通信方式と通信の信頼性を考慮した制御方式に関する検討を行った。本研究のオリジナリティは、従来の無線通信設計のように「平均」誤り率特性や「最大」伝送速度などを基準に設計するのではなく、制御機器の品質を保証するために制御状態を考慮した無線設計、無線特性を考慮した制御方式の設計、さらには無線と制御とを統合的に設計する点である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来の人が使う無線の設計ではなく、ロボットなどの機器を効率良く、かつ高信頼に動作させるための通信の設計、通信品質を考慮した制御側の設計、それらの統合設計を行った。機器の品質は従来より制御理論で数式化できるため、与えられた通信品質を含む環境から求められる。そのため、従来の高速かつ大容量な通信を構築するというアプローチではなく、遠隔制御された機器を定められた品質で効率的に動作させるための設計が可能となる。将来的にサイバー空間とフィジカル空間とを統合的に設計する上で、非常に重要となる理論を構築することができた。

研究成果の概要（英文）：This study delved into the exploration of a wireless communication protocol and control method, meticulously considering communication reliability for the remote control of multiple devices such as robots and drones, with both rapidly and dependability. The originality of this research lies in its departure from traditional wireless communication designs based solely on metrics like "average" error rates or "maximum" transmission speeds. Instead, it integrates control state considerations to guarantee the quality of control devices. Furthermore, it entails crafting control strategies with careful attention to wireless characteristics and jointly integrating wireless and control designs.

研究分野：電気電子工学

キーワード：ネットワーク化制御 無線制御同時最適化 モデル予測制御 深層学習

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 【社会的背景】

少子高齢化による我が国の労働力不足を補うため、ロボット技術や ITC 技術を駆使した対策が求められている。科学技術イノベーションにより、世界で最もイノベーションに適した国にしていくことが求められている。また、新型コロナウイルスの影響で、今までの教育現場や職場等に急速に ITC 技術が普及し、従来の教育、研究方法の更なる効率化が求められるようになってきた。さらに人工知能をはじめ、加速した ICT 技術と従来の技術の融合/発展が今後必要不可欠である。

(2) 【技術的背景】

5G 技術の普及により、通信の高速化、高品質化、大容量化、低遅延化が実現された。今後の通信技術の必要性は益々高まることが予想される。それらを背景に、制御システムへの無線技術の導入は必然である。例えば、工場など産業ロボットへの無線適用は、省配線化によりモビリティが増加し、ラインの組み替え等を容易にする。また、自動運転技術は、タクシーや運送業の人手不足解消の可能性を秘め、これを実現するためには ICT 技術、特に無線通信技術への期待が非常に大きい。一方、従来の有線通信に比べると、無線通信は信頼性や遅延などの不安から、ロボットなどの機械制御への十分に普及しているとは言い難い。

(3) 【学術的背景】

2000 年代から制御理論の中でネットワークの特性(通信誤りや通信遅延、量子化誤差)を考慮した制御の設計(ネットワーク化制御)が注目を集め、現在も注目されている。一方、通信でも通信品質を考慮した通信設計などの研究が始まった。電子情報通信学会では、制御のための通信に特化した研究会(高信頼制御通信時限(RRRC)研究会)が 2010 年に発足され、その注目度は高く、2013 年には一種研究会(高信頼制御通信(RCC)研究会)となり、現在も制御関連の研究者と通信関連の研究者とが熱心な議論を行なっている。このように本研究課題は、通信理論と制御理論とが融合した研究領域に位置し、今後の社会的課題を解決するためのサイバーフィジカルシステム実現に必要な重要課題の一つである。

2. 研究の目的

Society 5.0 実現において、サイバー空間とフィジカル空間とが融合したサイバーフィジカルシステムの高度化が必要不可欠である。本研究では、制御機器やセンサーなどが存在するフィジカル空間、制御器などが存在するサイバー空間、さらにそれらを繋ぐ無線通信技術を統合的に設計することを主目的としている。それを実現するため、本研究では、制御理論と通信理論とを融合させた分野を構築し、制御と通信とのクロスレイヤ設計に基づいている。本研究の学術的独自性は、a) 制御特性を考慮した通信設計、b) 通信の不確実性を考慮した制御設計、c) 通信の不確実性を通信設計により適応的に設計することで制御と通信とを統合的に設計する点である。具体的に通信と制御とを統合的に設計するには、通信(制御)システムの系に依存する。つまり、制御器と制御対象とが 1 対 1 の関係になっている最もシンプルな無線ネットワーク化制御システムにおける設計、1 つの制御器が複数の制御対象を同じ通信リソースを用いて制御する 1 対多無線ネットワーク化制御システム、複数の制御器と複数の制御対象とが同じ通信環境下(同じ通信リソースを共用している環境下)における多対多無線ネットワーク化制御システム、複数の制御対象が自律分散的に動作している無線ネットワーク化マルチエージェントシステムにおける設計が必要である。

3. 研究の方法

(1) 【1対1無線ネットワーク化制御における通信と制御の同時最適化】

本研究課題では、1台の制御器が無線ネットワークを介して1台の制御機器を制御する系に着目した(図1参照)。以下では、制御器が制御入力を機器へ送る通信路をフィードフォワード通信路と呼び、機器がセンサーによって観測した状態を制御機器へ送る通信路をフィードバック通信路と呼ぶ。本研究では、通信におけるリソースとして、フィード

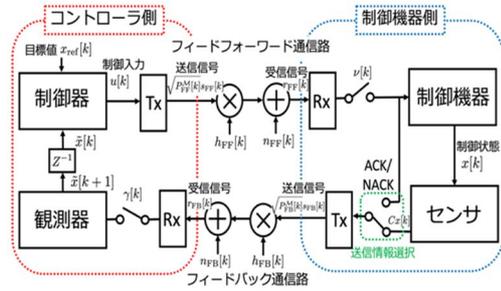


図 1. 1対1無線NW化制御

フォワード、フィードバック通信路の送信電力を考慮する。もしフィードフォワード通信路が必ず正しく通信できると仮定した場合、制御器では制御機器に加わる外乱成分が不確実成分となる。また、フィードフォワード通信路の通信に誤りが発生する確率が存在する場合、不確実性成分は外乱に加え、制御入力为正しく入力されたかどうかという不確実性が発生する。一方、フィードバック通信路の役割は制御器が正しい制御状態を得るためである。本研究において、フィードフォワード通信路に誤る確率が存在する場合は、i)フィードフォワード通信に対するACK/NACK信号を送ることで制御入力が正しく入力されたかどうかを送る、もしくはii)観測した制御状態をそのまま送ることを考える。制御状態を送る場合に比べ、ACK/NACK信号を送る場合は、送信する情報量が少なくなり、多くの通信リソースを必要としない(ある程度の通信リソースで信頼性の高い通信が実現できる)。これらのことを考慮して、フィードフォワード、フィードバックそれぞれの通信誤りが発生した場合における制御系をモデル化し、さらに通信リソースの配分に依存する通信路の誤り率と与えられた通信誤り率における制御入力とを同時に最適設計する方式を提案した。

(2) 【1対多無線ネットワーク化制御における通信と制御の同時最適化】

本研究課題では1台の制御器が複数台の制御機器を同じ無線リソースを用いて無線制御する系に着目した(図2参照)。本研究では多重通信を行うため、センサネットワークなどへの適用のために標準化されたIEEE802.15.4e Beaconモードを基準に複数の機器を制御することに着目した。スーパーフレームは、CFPと呼ばれるTDMAベースの

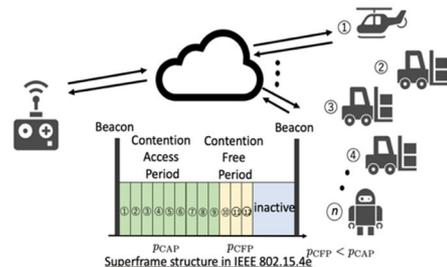


図 2. 1対多無線NW化制御

のロットとCAPと呼ばれるCSMAベースのロットで構成されており、CFPを割り振られた機器は高信頼な通信を実現できる。一方、CAPに割り振られた機器はコンテンションベースの通信を行う必要がある。そこで、我々は制御状態に応じてどの機器をどのロットに割り当てるのかというスケジューリングと割り振られたロットの誤り率から算出した制御入力とを同時最適化した。また、最適化手法としてモデル予測制御を用いて行うため、機器数に対して指数的に計算量が増加することを防ぐため、計算量を削減する手法に関して検討した。

(3) 【自律分散的に制御される機器への通信と制御の同時最適化】

本研究課題では、自律分散的に制御される機器への通信と制御との同時最適化に関して検討した。我々の研究グループは、自律分散型の通信方式としてSlotted-ALOHA方式とCSMA/CA方式に準拠した通信最適化手法を既に提案し、その基づく制御が高速化かつ高信頼に達成されることを示した。本研究では、さらに発展させ、多数の機器で構成される大規模ネットワークにおける制御の高速化を目的に、機械学習の一種である深層展開技術を用いた最適化を提案し

た。さらに最適化されたパラメータのネットワーク構成へのパーサタイル性を向上させるために、ネットワーク中心性制約を持たせた深層展開を提案した。これにより、ネットワークの特徴が同じであれば、最適化した手法を異なるネットワークを持つ場合にも適用することが可能となった。

4. 研究成果

(1) 【1対1無線ネットワーク化制御における通信と制御の同時最適化】

本研究では、通信リソースとしてフィードフォワード、フィードバック通信路への送信電力とフィードバック情報としてフィードフォワード通信に対するACK/NACK信号もしくは制御状態を送ることを適応的に定めることで、それぞれの通信路にける通信不確実性を制御する。また、送信電力は連続な値で設定可能であるが、最適化を行うために離散的な値を取るものと仮定した。さらにフィードフォワード、フィードバック通信路の通信不確実性を考慮した制御入力も同時に最適化することで、通信と制御とを同時最適化した。図3に1-shotにおける制御状態と選択された通信モードを示す。図3上図において、赤字実線と青実線は(2状態)の制御状態を表し、緑点線はフィードフォワード通信路における通信誤り、赤点線はフィードバック通信路の通信誤りを示す。制御初期段階では制御入力を送信するフィードフォワード通信を優先するため、ACKモードを選択し、かつフィードフォワード通信路の送信電力を多めに設定していることがわかる。また制御後半になると、制御の細かい入力が必要となるため、正確な制御状態を制御器が把握する必要があり、結果、制御状態をフィードバックし、かつ送信電力も多く配分されていることがわかる。また、フィードバック通信に失敗した場合は、制御器での推定制御状態に誤差が多くなるため、フィードバック通信では制御状態を正しく通信するように通信リソースを割り振る。図4では平均二乗制御状態誤差を示す。これは制御状態が目標値までの誤差を示したものであり、ゼロに近づく程、目標に近い値になることを意味している。従来の通信モード固定で送信電力のみ切り替える手法と比べ、本研究で提案したシステムはより高信頼かつ高速な無線制御を実現できていることがわかる。

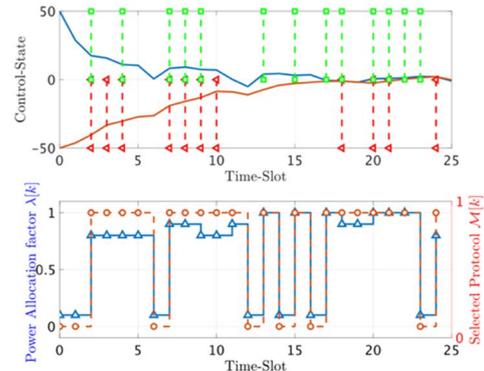


図 3. 収束特性と選択した通信モード

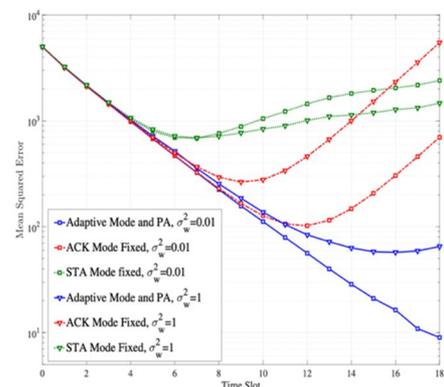


図 4. 制御状態の平均二乗誤差

(2) 【1対多無線ネットワーク化制御における通信と制御の同時最適化】

3章の方法に示した通り、本研究ではIEEE802.15.4eベースで通信スケジューリングと制御入力の同時最適化を行なった。特に本研究では、CFP、CAPにおける通信誤りを設定し、通信不確実性を考慮したモデルに拡張している。さらに、割り振る候補機器数に対して最適化の計算量が指数的に増加することを抑える手法を提案した。具体的には、予測ホライズン期間全てにおける組み合わせを最適化するのではなく、部分的に最適化を行うことで準最適な手法を検討した。図5に想定する端末数に応じた特性関数を示す。限られた通信リソースを用い

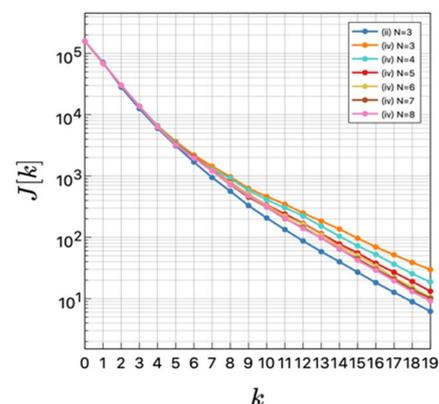


図 5. 端末数による評価関数の収束

るため、同時接続する端末数が増えると特性が劣化するが、スケジューリングを適切に行うことで特性劣化を抑えることが可能であることが示されている。また図 6 では、提案する計算量削減アルゴリズムによる計算コストを比較している。提案する手法は計算コストを同時接続する端末数に対して線形増加に抑えることが可能であり、準最適に設計することで特性劣化も抑えることが可能であることがわかる。

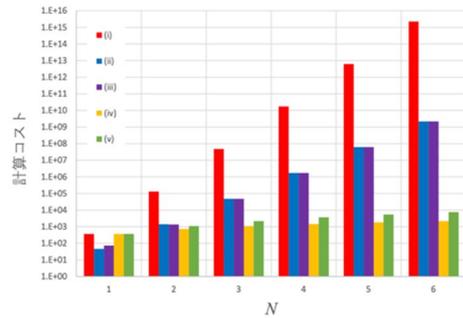


図 6. 計算コストの比較

(3) 【自律分散的に制御される機器への通信と制御の同時最適化】

本研究では、各機器(以下エージェントと呼ぶ)が通信可能な他のエージェントから得られる限られた情報を基に自律分散的に制御する合意制御に着目している。合意制御問題は、すべてのエージェントが共通の目的を達成するために各エージェントが自律分散的に自身を制御する制御であるが、各エージェントは全てのエージェントの情報を得ることができない点が制御を困難にする。特にエージェント数が多い場合には、制御の収束性が著しく劣化する問題があった。これを解決する手法として機械学習を応用した手法が岸田らにより提案された(以下従来手法と呼ぶ)。しかし、従来手法は固定のネットワークポロジでのみ動作可能であり、トポロジが変化する場合、最適化を 1 からやり直す必要があるという問題が存在した。本研究では、その問題を解決する手法を提案した。具体的には、ネットワークの特徴により最適化を制約することで、同じネットワークの特徴を持つ違うネットワークポロジにおいても準最適に動作する手法を提案した。図 7 に提案するネットワーク中心性制約に基づく深層展開を用いたシステム最適化方法を示す。

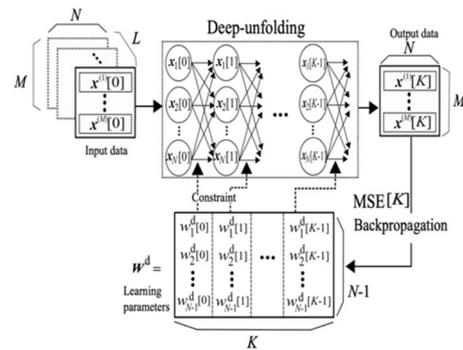


図 7. 提案する最適化手法

着目するネットワーク中心性(例えば、次数中心性やページランクなど)から合意制御へ適用する重みを時変パラメータとすることで、深層展開を用いて最適化を行う。これにより統計的性質が同じネットワークであれば、その特徴量に応じた重みを設計することを可能にした。さらに中心性制約の与え方による更なる手法を提案したがここでは説明を割愛する。興味がある場合は、成果の論文を参照してほしい。図 8 に ER ネットワークに基づいて構築したネットワークにおいて、適用する制約条件による収束特性を示す。適用するネットワークにより最適な中心性は異なるが、提案する中心性制約に基づく最適化を行なったシステムは、ネットワーク固定で最適化を行なったシステムの特徴に近づくことがわかる。これにより、大規模ネットワークにおける合意制御において、ネットワークに汎化性能を持たした最適化を行えることを示した。

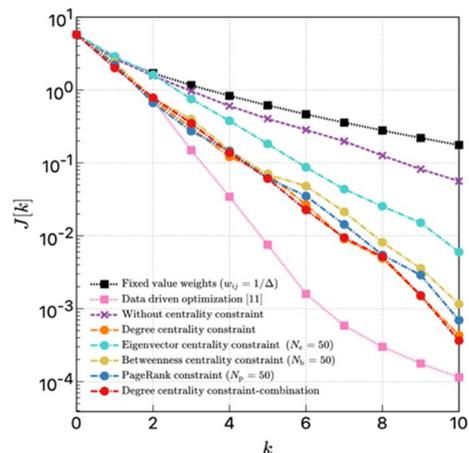


図 8. 中心性制約ごとの収束特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ishii Koji	4. 巻 12
2. 論文標題 Multihop networked control system considering communication delay and link reliability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 78 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0174	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 -
1. 著者名 Ishii Koji	4. 巻 10
2. 論文標題 Adaptive Feedback Information Switching for Reliable Wireless Networked Control Systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 114272 ~ 114283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3218317	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 -
1. 著者名 西畑 友登、石井 光治	4. 巻 J105-B
2. 論文標題 深層展開による拡散LMSのパラメータ分散最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 692 ~ 700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2022JBP3005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小川 翔也、石井 光治	4. 巻 J105-A
2. 論文標題 合意制御におけるネットワーク中心性を用いたデータ駆動型最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子電子情報通信学会論文誌A 基礎・境界	6. 最初と最後の頁 58 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transfunj.2021JAP1034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa Shoya, Ishii Koji	4. 巻 11
2. 論文標題 Deep-learning aided consensus problem constrained by network-centrality	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 20 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021XBL0182	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 -

1. 著者名 小川 翔也、石井 光治	4. 巻 J105-A
2. 論文標題 合意制御におけるネットワーク中心性を用いたデータ駆動型最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子電子情報通信学会論文誌A 基礎・境界	6. 最初と最後の頁 58 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transfunj.2021JAP1034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishino Tomoya, Ishii Koji	4. 巻 141
2. 論文標題 Backoff Period Control for Consensus Problem based on CSMA/CA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1008 ~ 1015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.1008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田 信穂、石井 光治	4. 巻 J104-B
2. 論文標題 オートエンコーダを用いた電力増幅器特性を考慮した変復調設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 527 ~ 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2020JBP3063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Tomokazu, Ishii Koji	4. 巻 141
2. 論文標題 Decision Tree Based GNSS Positioning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 704 ~ 711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishii Koji	4. 巻 /
2. 論文標題 MPC based Power Allocation for Reliable Wireless Networked Control Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3062831	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 -

1. 著者名 ISHII Koji	4. 巻 17
2. 論文標題 An Integrated Design of Communication and Control: Communication Design for Control, and Control Design Considering Communication Uncertainties	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE ESS Fundamentals Review	6. 最初と最後の頁 193 ~ 202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/essfr.17.3_193	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 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 河崎雄太, 石井光治
2. 発表標題 GPS及びQZSSのスプーフィング信号生成
3. 学会等名 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾田啓太, 石井光治
2. 発表標題 複数機器による事象駆動型無線制御に関する一検討
3. 学会等名 令和4年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野滉貴, 石井光治
2. 発表標題 符号領域NOMAを用いたグラントフリーアクセスにおける復調の検討
3. 学会等名 令和4年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河崎雄太, 石井光治
2. 発表標題 QZSSにおけるスプーフィング信号生成に関する一検討
3. 学会等名 令和4年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井光治
2. 発表標題 通信による制御システムの高度化, 通信と制御との統合的設計
3. 学会等名 第66回システム制御情報学会研究発表講演会(IoTを活用した大規模ネット ワーク化システムの理論と応用) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川翔也, 石井光治
2. 発表標題 ネットワーク中心性を用いたデータ駆動型合意制御におけるクラスタリング手法の最適化に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shaoya Ogawa, Koji Ishii
2. 発表標題 Deep-Learning Aided Consensus Problem Considering Network Centrality
3. 学会等名 IEEE VTC-fall2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shaoya Ogawa, Koji Ishii
2. 発表標題 Deep Learning Aided Consensus Problem with Betweenness centrality Approach
3. 学会等名 IEEE ISGIT 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川翔也, 石井光治
2. 発表標題 ネットワーク中心性を用いたデータ駆動型合意制御におけるクラスタリング手法の最適化に関する検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 121, no. 431, RCC2021-84
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩田将士, 石井光治
2. 発表標題 MPCを用いた無線通信スケジューリングにおける計算コスト削減の一検討
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西畑友登, 石井光治
2. 発表標題 深層展開による拡散LMSアルゴリズムのパラメータの初期値に関する検討
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井三早貴, 石井光治
2. 発表標題 RTK測位へのスプーフィングに関する研究
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小渡健太郎, 石井光治
2. 発表標題 TCPを用いたMPCによる無線フィードバック制御の一検討
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾田啓太, 石井光治
2. 発表標題 複数機器制御のためのCSMA/CAに関する検討
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河崎雄太, 石井光治
2. 発表標題 USRPを用いたGPSスプーフィング信号の生成
3. 学会等名 令和3年度年度電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西畑友登, 石井光治
2. 発表標題 深層展開による拡散LMSアルゴリズムのエッジ重みとステップサイズの最適化に関する 検討
3. 学会等名 電子情報通信学会, RCC研究会, 信学技報 RCC2021-22
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川翔也, 石井光治
2. 発表標題 合意制御におけるネットワーク条件緩和のための固有ベクトル中心性制約を用いた深層
3. 学会等名 電子情報通信学会, RCC研究会, 信学技報 RCC2021-23
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川翔也, 石井光治
2. 発表標題 深層展開を用いた合意制御におけるネットワーク条件の緩和のための一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会, 信学技報 RCC2020-14/WBS2020-11,
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 塩田将士, 石井光治
2. 発表標題 IEEE 802.15.4ネットワークにおける制御入力および通信スケジューリング同時最適化の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会, 信学技報 RCC2020-13/WBS2020-10
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 西野智也, 石井光治
2. 発表標題 隣接エージェント数に基づくCSMA/CAのバックオフ期間制御の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会, 信学技報 RCC2020-12/WBS2020-9
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 石井光治
2. 発表標題 無線フィードバック制御のための送信電力設計
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会(招待講演)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小川翔也, 石井光治
2. 発表標題 次数制約付き深層展開を用いた合意制御におけるネットワーク条件の緩和のための一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Masashi Shiota, Koji Ishi
2. 発表標題 Joint Optimization of Control Input and Communication Scheduling for IEEE 802.15.4 Network
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Kyosuke Hori and Koji Ishii
2. 発表標題 Directional Control for Consensus Problem with Directional Antennas
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Shoya Ogawa and Koji Ishii
2. 発表標題 Relaxation of Network Condition for Deep-Unfolding Aided Consensus
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 中田信穂, 石井光治
2. 発表標題 オートエンコーダによるピーク電力制限下における変復調設計
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 白井三早貴, 石井光治
2. 発表標題 RTK測位へのスプーフィングに関する一検討
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 大月雄太, 石井光治
2. 発表標題 量子化ビット数が無線ネットワーク化制御に与える影響解析
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 西畑友登, 石井光治
2. 発表標題 Sparse Diffusion LMS を用いた分散最適化によるスパース信号再現
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

香川大学研究者情報サービス
<https://www.kards.kagawa-u.ac.jp/profile/ja.f2d22fc32dcd4147edc27b186c88b5bc.html>
Researchmap
https://researchmap.jp/Koji_Ishii
香川大学教員紹介
https://www.kagawa-u.ac.jp/kagawa-u_ead/introduction/staff/20698/staff017/
リサーチマップ
https://researchmap.jp/Koji_Ishii
香川大学教員紹介
https://www.kagawa-u.ac.jp/kagawa-u_ead/introduction/staff/20698/staff017/
リサーチマップ
https://researchmap.jp/Koji_Ishii

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------