


大規模同時接続を実現する無線信号処理の設計

工学研究科 電気電子情報通信工学専攻

准教授 **高橋 拓海**

 Researchmap https://researchmap.jp/takumi_takahashi



研究の概要

超多数の無線端末との同時接続を実現するマルチユーザ MIMO-OFDM [図1] の実現には、端末間の搬送波周波数オフセット (CFO) が大きな課題となる。CFO に起因するサブキャリア間干渉により通信路推定精度が低下し、高信頼な通信の確保が困難になるためである。本研究では、この問題に対して、通信路・CFO・データをまとめて推定するベイズ推論型受信機を提案する。時間領域通信路のスパース性（多く成分がゼロ付近に集中）と、CFO による位相回転の統計的特徴を事前情報としてアルゴリズムに組み込み、ベイジアンメッセージパッシングにより、短いパイロットでも安定して高精度な推定を実現する手法を考案した。

り、その実現を阻む主要課題の一つが CFO の補償である。提案手法は、大規模同時接続を現実的なパイロット量で成立させるための重要な技術であり、将来のセルフリー型・協調分散型ネットワークにおいて不可欠となる機器間同期・機器同定を支える推定基盤としての応用も期待される。

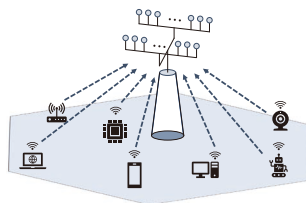


図1: MIMO-OFDM システムの模式図

研究の意義と将来展望

従来の受信機は CFO 推定・通信路推定・データ検出を段階的に行うため、多ユーザかつ短いパイロットの条件では誤差伝搬により性能が大幅に劣化する。本研究は、これらをベイズ推論フレームワークに統合し、限られたパイロットでも高い推定精度と安定した通信品質を実現できる受信機構造を示した点に意義がある。仮想デジタル空間と現実世界が高度に接続されるサイバーフィジカル融合社会 [図2] では、超多数の IoT 端末から膨大な情報を無線回線を介して集約する必要があ

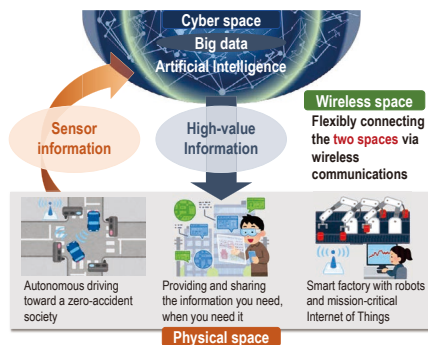


図2: サイバーフィジカル融合システム

特許

論文

参考URL

キーワード

Takahashi, Takumi; limori, Hiroki; Ishibashi, Koji et al. Bayesian bilinear inference for joint channel tracking and data detection in millimeter-wave MIMO systems. IEEE Transactions on Wireless Communications. 2024, 23(9), 11136-11153. doi: 10.1109/TWC.2024.3379122
 Ito, Kenta; Takahashi, Takumi; Ishibashi, Koji et al. Joint channel, CFO, and data estimation via Bayesian inference for multi-user MIMO-OFDM systems. IEEE Transactions on Wireless Communications. 2025, 24(3), 1898-1915. doi: 10.1109/TWC.2024.3514210
 Kobayashi, Fuga; Takahashi, Takumi; Ibi, Shinsuke et al. EXIT chart analysis of expectation propagation-based iterative detection and decoding. IEEE Open Journal of the Communications Society. 2025, 6, 5249-5268. doi: 10.1109/OJCOMS.2025.3578473

<http://www.2a.comm.eng.osaka-u.ac.jp/ochiaial/>

無線通信、信号処理、ベイズ統計学、情報理論

不確かさを活かす省エネ AI 制御： イベント駆動制御と確率推論の融合

工学研究科 電気電子情報通信工学専攻

准教授 橋本 和宗

Researchmap <https://researchmap.jp/kazumunehashimoto>



研究の概要

本研究では、自動車・移動ロボット・ドローンのように力学モデルが不確か／未知な制御対象を、データから学習しつつ「必要なときだけ」最適化計算により制御信号を決定するイベント駆動型モデル予測制御 (MPC) を提案します。未知ダイナミクスは、少ないデータでも柔軟に近似でき、予測の不確かさ (分散) も同時に評価できるガウス過程回帰で学習します。得られた不確かさから誤差上界を導き、予測と実測のズレが閾値を超えた場合にのみ制御入力を再最適化することで、計算負荷を抑えつつ性能を維持します。数値例として移動ロボットの追従制御を取り上げ、有効性を確認しました。

研究の意義と将来展望

従来の MPC は毎時刻で最適化を解く必要があり計算負荷が大きく、モデル誤差がある場合には安全側に寄りすぎて保守的になりやすいという課題がありました。本手法は、ガウス過程回帰が与える「予測平均+不確かさ」を用いて更新の要否を判断するため、いつ・なぜ再計算したのかを説明しやすく、計算資源やバッテリー容量などが限られた環境でも必要最小限の計算で性能を維持できます。さらに、学習が進んで不確かさが小さくなるほど更新頻度を自然に下げられるため、運用しながら効率化できる点も利点です。今後は、ロボットや自動運転、エネルギー設備などの実時間制御への実装に加え、外乱やセンサ誤差を含むより実環境に近い状況での安全設計へ拡張することが期待されます。

移動ロボットの目標軌跡 (赤の一点鎖線) と、イベント駆動型 MPC によって得られたロボットの軌跡 (青の実線) を示す。黄色の★印は、制御入力の最適化が再計算されたタイミングを表す。図1は反復回数1回、図2は反復回数10回の結果である。図に示す通り、反復回数が増えるにつれて目標軌跡への追従性が向上し、同時に制御入力の再最適化 (再計算) の発生頻度が低下していることが分かる。

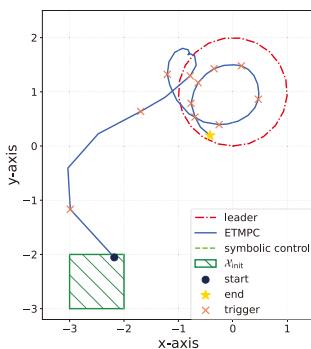


図1

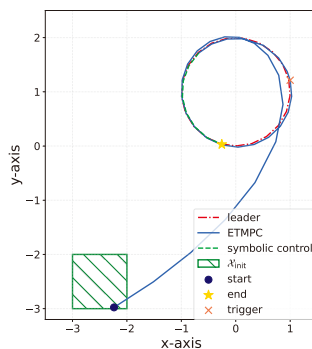


図2

特 許

論 文

Hashimoto, Kazumune; Onoue, Yuga; Wachi, Akifumi et al. Learning-based event-triggered MPC with Gaussian processes under terminal constraints. IEEE Transactions on Cybernetics. 2025. 55(4). 1512-1525. doi: 10.1109/TCYB.2025.3536606

参考URL

<https://sites.google.com/view/kazumunehashimotoupdate/home>

キーワード

制御理論、機械学習、強化学習、最適制御

サイボーグ昆虫が群れとなって協調移動する 制御アルゴリズムを新開発

情報科学研究科 バイオ情報工学専攻

教授 若宮 直紀

 Researchmap <https://researchmap.jp/wakamiya>



研究の概要

サイボーグ昆虫は昆虫に小型の電子装置を取り付けたもので、災害時の救助活動、環境モニタリング、インフラ点検などさまざまな分野での活躍が期待されています。これまでに、サイボーグ昆虫の群れが協調作業するためには一匹一匹に対して個別に指示を与える必要があり、非効率で不安定でした。若宮教授は、小蔵正輝教授（広島大学大学院先進理工系科学研究科）、佐藤裕崇教授（南洋理工大学機械航空学科）とともに、障害物が多く移動が困難な地形を多数のサイボーグ昆虫が群れとなって協調し移動するための新しい制御アルゴリズムを開発しました。

制御アルゴリズムはツアー旅行でガイドが最小限の指示によって参加者を導く様子に着

想を得ており、複数のサイボーグ昆虫が一匹のリーダーサイボーグに従って行動するため、リーダーに指示を与えるだけで障害物の多い砂地を自由自在に群れとして移動することができます。10回の実験の全てで20匹のサイボーグ昆虫が群れとなってゴールに到達しました。

研究の意義と将来展望

本研究成果は、サイボーグ昆虫の群れが人を助け社会で活躍するための基盤を築くものです。今後、様々な分野において、サイボーグ昆虫が人と協働、活動することで、私たちの暮らしがより安心、安全になることが期待されます。



複数のサイボーグ昆虫が一匹のリーダーサイボーグに従って群れ移動するイメージ図



実際の実験の様子。手前がリーダーとなるサイボーグ昆虫

特許

論文

Bai, Yang; Tran, Ngoc Phuoc Thanh; Nguyen, Huu Duoc et al. Swarm navigation of cyborg insects in unknown obstructed soft terrain terrain. Nature Communications. 2025. 16, 221. doi: 10.1038/s41467-024-55197-8

参考URL

<https://www.waka.ist.osaka-u.ac.jp/>

キーワード

サイボーグ昆虫、群れ、制御、アルゴリズム