

## 電波が「計算」する新時代へ ノイズを克服し、膨大な IoT データから瞬時に未来を予測

### 【ポイント】

#### \* 通信と計算を一体化

：多数のセンサー情報を個別に送るのではなく、電波を重ね合わせて「空気中で一気に計算」する次世代技術（空中計算）を高度化。

#### \* ノイズに強い革新的な重み付け

：通信環境が悪い（ノイズが多い）ときでも、計算精度を自動で保つ「適応型重み付け」アルゴリズムを開発。

#### \* 6G や自動運転への応用

：電波の届き具合を可視化する「無線環境地図（電波マップ）」の構築速度と精度を劇的に向上。

### 【概要】

電気通信大学人工知能先端研究センターの佐藤光哉助教と同大学先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センターの石橋功至教授は、数千、数万の IoT デバイスから送られるデータを、無線通信のプロセスそのものを利用して瞬時に集計・解析する「空中計算 (Over-the-Air Computation)」の新手法を開発しました。従来の空中計算では、計算の精度を上げようとすると通信ノイズの影響を受けやすくなるという矛盾がありましたが、本研究では「通信環境に合わせて計算の重み付けを自動調整する」仕組みを導入。これにより、ノイズが多い環境でも安定して高精度な解析が可能になりました。

### 【背景】

現代社会では、農場、都市のインフラ、あるいは自動運転車など、至る所に設置されたセンサー（IoT デバイス）が周囲の状況を監視しています。しかし、センサーの数が増えるほど、データを一つずつ送っては通信の順番待ちが発生し、時間がかかりすぎてしまいます。そこで注目されているのが、複数のデバイスが同時に電波を出し、受信側でそれらが重なった状態をそのまま計算結果として利用する「空中計算」です。しかし、この手法は通信のノイズに非常に弱く、実用化に向けた大きな壁となっていました。

### 【手法】

本研究では、分散する無線センサから集約した観測データに対する加重平均演算を対象に、空中計算を高精度化する新しいアルゴリズムを提案しました。具体的には、「適応型重み付け (Adaptively Weighted Averaging)」という手法を用いています。各センサーのデータの重要度（重み）を、その時の通信の調子（SNR：信号対雑音比）に合わせてカットしたり調整したりします。通信状況が良い時は精密な計算を行い、悪い時はノイズを拾わないように計算方法を単純な平均に近づけるといった、いわば情報の取捨選択を通信路上でリアルタイムに行う仕組みです。提案手法の具体的な応用例として、統計学的な予測手法であるガウス過程回帰の分散処理方式への適用

法を示しました。

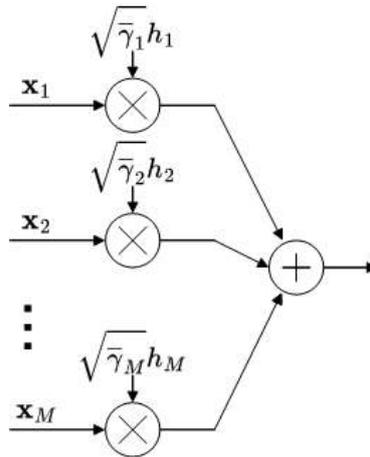


図 1：空中計算の仕組み (Signal transmission model)

多数の送信機から同時に電波を送り、受信側のアンテナでそれらが合流する際に足し算が行われる様子を示している。本研究では、この合流プロセスに適応型の重みを加える工夫を施している。

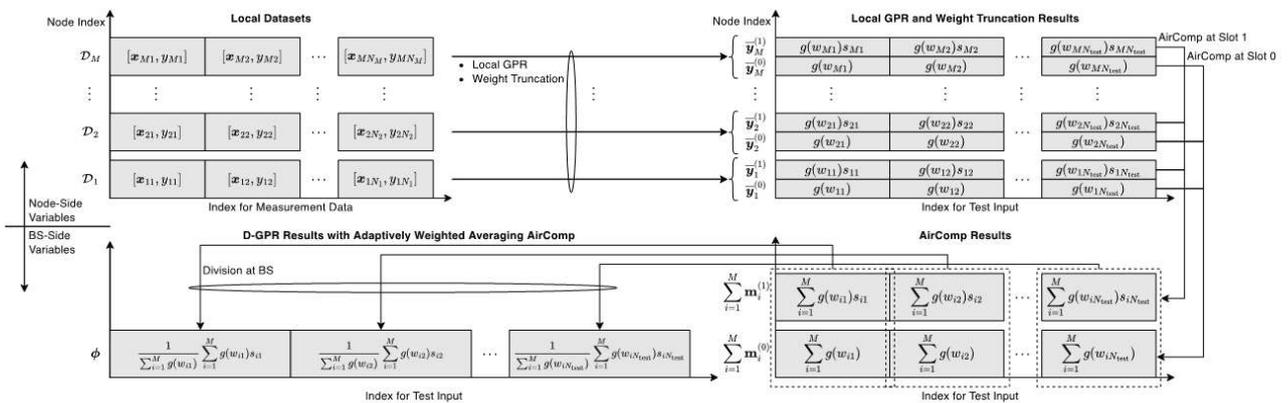


図 2：分散型ガウス過程回帰と空中計算の連携

各拠点のセンサーが持つデータが、どのように空中計算を通じて一つの「地図」として合成されるかの理論モデル。通信ノイズを最小限に抑えつつ、空間の情報を補完するプロセスが描かれている。

**【成果】**

本手法を無線環境地図（電波マップ）の構築に応用したところ、従来の空中計算方式に比べて、通信環境が悪化しても計算エラーを劇的に抑制できることが証明されました。特に、情報の集約に必要な通信回数を、デバイスの数に依存せず一定に保つことができるため、数千台規模のセンサーネットワークにおいても超低遅延で地図を構築可能です。これは、刻一刻と変化するスマートシティの状況をリアルタイムに把握する強力なツールとなります。

**【今後の期待】**

この技術は、6G（第6世代移動通信システム）の基盤技術としての活用が期待されます。

**【具体的な活用シーン】**

自動運転の安全性向上

：数百台の車両や道路センサーから、死角の情報を一瞬で集約し、事故を未然に防ぐリアルタイム道路状況把握。

スマート農業

：広大な農地に散らばった数万個のセンサーから、土壌の水分や温度を一括回収し、最適な水

やりを自動で行うシステム。

#### 災害対策

：地震発生時に、無数の建物センサーから建物の歪みデータを即座に収集し、危険エリアを数秒で特定する。

#### (論文情報)

タイトル : Adaptively Weighted Averaging Over-the-Air Computation and Its Application to Distributed Gaussian Process Regression

著者 : Koya Sato, Koji Ishibashi

掲載誌 : IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking

DOI : 10.1109/TCCN.2025.3562345

URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/10970030>

#### (外部資金情報)

科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 CRONOS 「古典的無線設計から脱却した極限的性能を実現する無線通信システムの開発」 (JPMJCS24N1)

科学技術振興機構 (JST) 国際科学技術協力基盤整備事業 AdCORP 「【通信分野】グリーン IoT : サイバー空間でフィジカル空間を再構成するための次世代基盤技術」 (JPMJKB2307)

日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費助成事業 若手研究 「高速・高精度な無線端末間分散機械学習を実現する通信設計」 (22K14255)

#### 【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学人工知能先端研究センター

【職名】 助教

【氏名】 佐藤 光哉

Tel : 042-443-5304 E-Mail : [k-sato@uec.ac.jp](mailto:k-sato@uec.ac.jp)

研究室 HP : <https://www.ksatolab.aix.uec.ac.jp/>

<報道に関すること>

電気通信大学総務部総務企画課広報係

Tel : 042-443-5019 Fax : 042-443-5887

E-Mail : [kouhou-k@office.uec.ac.jp](mailto:kouhou-k@office.uec.ac.jp)