



INTERVIEW

横浜国立大学大学院 工学研究院 知的構造の創生部門

小島 駿 助教インタビュー



高速・大容量化と安全性を両立させた通信

パラダイムを

無線通信はデータ量の爆発的増大によって社会を支える基盤になった一方、電波の公開性という特性から高度なセキュリティ対策が不可欠となっています。信号が伝わる経路の状態が時間とともに変化するチャネル時変動に合わせて通信パラメータを適切に制御する通信環境推定や、送受信機が同じ伝搬路を共有する伝搬互恵性を活用した低消費電力の物理層秘密鍵生成で独創的な手法を提案し、通信の高速・大容量化と高い安全性を両立させた通信パラダイムの研究に取り組まれている小島駿助教にお話を伺いました。

無線通信の世界に足を踏み入れた経緯

■研究者の道に入った経緯について教えてください。学部在学中はどのような研究に取り組まれたのでしょうか。

千葉大学工学部の4年生で研究室に配属されてから、無線通信と機械学習を継続して研究しています。ドローンの制御を研究したくて、無線通信の研究室に入りましたが、実際には研究テ

ーマは、高速・大容量通信を達成するための適応的な通信パラメータの制御方式という、理論寄りの研究テーマに進むことになりました。研究を進めているうちにその面白さに惹かれ、より深く探求したいと思うようになり、研究員の道を選びました。研究室では、デューク大学のカナダ人のポスドクの方と共同研究に取り組み、共著論文として成果を発表しました。その経験を通じて、研究力だけでなく英語力も大きく向上させることができました。

尊敬する無線通信研究者との出会い

■海外では、デューク大学とサウサンプトン大学で研究活動されています。これらの経験は、ご自身の成長にどのように役立ちましたか。

デューク大学の Vahid Tarokh 教授とサウサンプトン大学の Lajos Hanzo 教授という無線通信理論のトップ研究者から直接指導を受けました。

Vahid Tarokh 教授は、最近では機械学習研究に注力されています。私の研究にも機械学習の視点から助言をくださり、論文をチェックしていただきました。最新技術を積極的に取り込み、活用し改善していく姿勢の大切さを教わりました。

Lajos Hanzo 教授からは、卓越した研究成果を生み出す働き方を直接学ぶことができました。ご高齢にもかかわらず、日曜日の夜の 11 時に研究室に行っても、先生の部屋には電気がついていました。成果の裏側にある努力を強く実感しました。学生が論文のチェックをお願いしたら、1 時間で回答されていました。真似できない部分もあるのですが、研究に向き合う姿勢から学ぶ点は多くありました。

無線通信環境の特性を利用したアイデアを具現化

■今まで研究されたことを教えてください。

大きく2つの流れで研究してきました。1つ目は、送受信機間の伝搬チャネルの特性が時間とともに変化するチャネル時変動に対して通信パラメータを適切に制御する通信環境推定の研究です。従来の通信環境推定は、受信機で既知となる参照信号を用いて、SNR、ドップラー周波数、Kファクタなどの通信環境

のパラメータを推定しています。高速通信のボトルネックになる参照信号を用いずに、これらの値を高速・高精度・低コストで推定できれば通信性能最大限に引き出すことが可能になります。この課題を解決するため、参照信号を使わずに受信した生のデータ信号を機械学習に入力して、通信環境を推定する方法を研究しました。シーケンスデータやスペクトログラム画像など、同じ受信信号からのモダリティ（波形形式）を増やすことで、推定精度を向上させました。（図1）

- ✓ 複数の通信環境情報を同時に推定できれば大幅に計算量・遅延を削減可能
- ✓ データセットの増大問題や推定精度との両立が課題となる

Proposal

異なる波形形式を用いたマルチモーダル構造による複数通信環境の同時推定

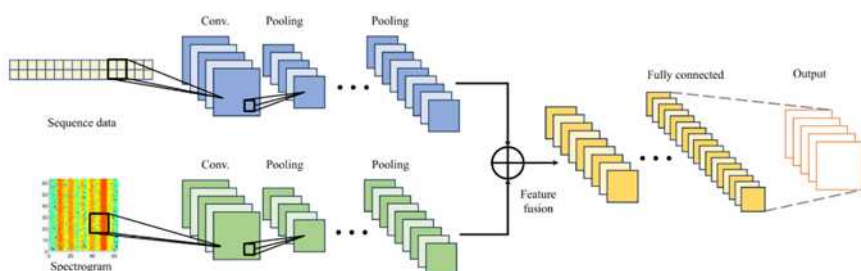
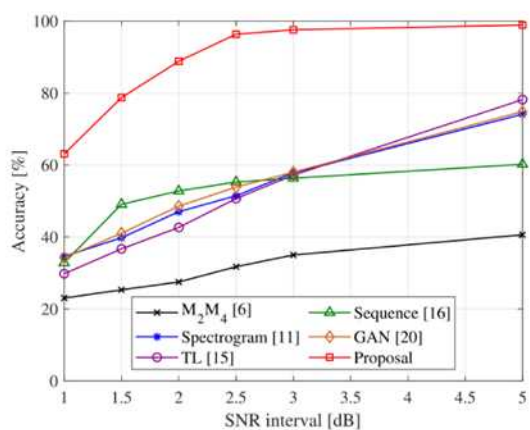


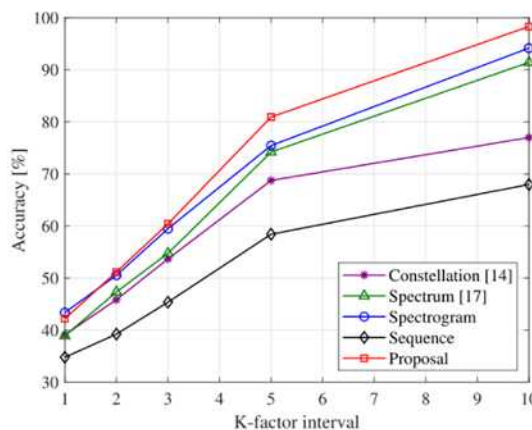
図1 本手法のマルチモーダル構造

本提案の通信環境推定手法の効果を示します。（図2）左図がSNRのみを推定した結果、右図がKファクタのみを推定した効果です。左右の図とも、本提案手法（赤の折れ線）の推定精

度が最も高く、機械学習を使った通信環境を推定する手法の有効性を示しています。



SNRのみを推定した結果



K-factorのみを推定した結果

- ✓ マルチモーダル構造により少ないデータセットからでも十分な特徴抽出が可能
- ✓ 計算量の増加を抑えつつ、従来法よりも優れた推定精度を達成

図2 本手法のシミュレーション結果

2 つ目は、送受信機が同じ伝搬路を共有する伝搬互恵性を活用した物理層秘密鍵生成の研究です。Alice と Bob という正当なユーザがいたとして、このユーザ間でのみ、安全な鍵を共有したいというモチベーションのもと、伝搬互恵性を使って秘密鍵を生成することで秘密鍵の配送を必要としない物理層秘密鍵生

成手法を提案しました。(図3)

盗聴者への情報漏洩を抑制しつつ、IoT デバイスに適した、秘密鍵容量が小さく低消費電力の物理層秘密鍵生成手法を考案しました。現在、USRP (ソフトウェア無線デバイス) を使った基礎的な実機実験を行い、提案法の有効性を評価しています。

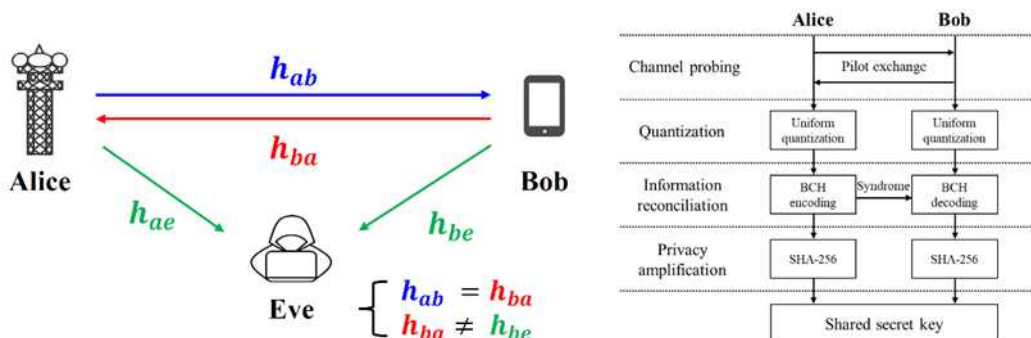


図3 本手法のモデルと通信手順

無線通信と機械学習を高度に融合させた通信パラダイムを

■最近は、どのような研究に取り組まれていますか。
 機械学習を無線通信に高度に融合させたいというモチベーションで、セマンティック通信と電磁ニューラルネットワークの2つの研究テーマに取り組んでいます。
 1 つ目のセマンティック通信について紹介します。これまで進めてきた通信環境推定は機械学習との親和性が高い分野ですが、さらに本質的なアルゴリズムで無線通信と機械学習を融合させ

たいと考えました。その過程で着目したのが、通信プロトコルの機械学習への。従来の通信が文字列をそのまま0と1のビットを使って送っていたのに対して、セマンティック通信では、送りたい情報の本質、すなわち意味を抜き出して送ることによって、従来方式より高効率化を図ります。送信側では機械学習によってその文章の特徴を抽出し、それを符号化して送ります。受信側では再び機械学習を用いて特徴から同じ意味となる文を復元します。(図4)

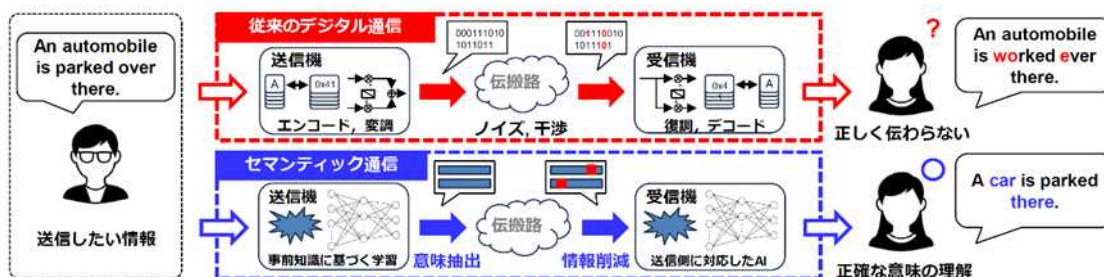


図4 セマンティック通信

2つ目は、電磁ニューラルネットワークです。メタサーフェスは、電波の波長よりはるかに小さい微細構造を平面上に並べた人工材料で、電波の位相・振幅を自在に制御できる反射板のような役割を持ちます。メタサーフェスを複数枚で積層構造に並べて、そこを電波が伝搬していく過程をニューラルネットと見

✓ 電波の位相・振幅を制御可能なメタサーフェスを積層構造に配置

✓ 電波の伝搬をシナプス、メタサーフェスの各素子をニューロンとし、ニューラルネットワークを構成 ⇒ **超高速・低遅延・低消費電力な処理**を実現 [3]

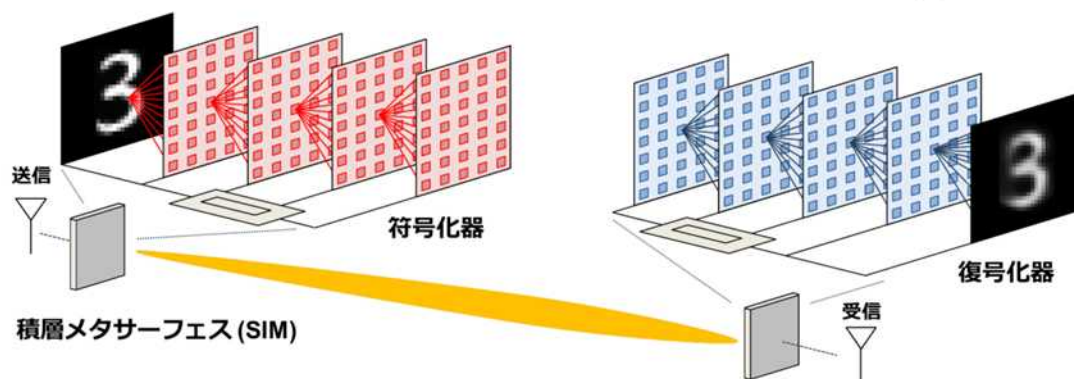


図5 電磁ニューラルネットワーク

■2025年に横浜国立大学で研究室を立ち上げたと言いました。様々な研究テーマがありますが、これらは共通するものなのでしょうか、それとも独立したものなのでしょうか？

研究テーマは多岐にわたりますが、根底ではつながっています。取り組んでいる研究テーマは、大きく「物理層セキュリティ」と「セマンティック通信」という2本の柱に集約されます。さきほどお話した電磁ニューラルネットは、この2つの研究領域のどちらにも活用できる、両者をつなぐフレームワークとして考えています。つまり、2つの大きなテーマを軸にしながら、様々な技術を組み合わせたり新しいモデルを構築したりすることで、多角的にアプローチしていく研究スタイルを志向しています。

状況変化にも対応できる使い勝手がよい助成

■SCAT助成については、研究奨励金と研究費助成で合計2回受けていただいています。数ある助成金の中でSCATに申請されたのはどのような理由でしょうか？

研究奨励金は、指導教員の勧めがきっかけで申請しました。結果的に採択されて、本当に助かりました。

研究費助成は、宇都宮大学に在籍したときに応募しました。ちょうど着任したばかりで、自分で予算を確保できるのか、きちんと研究を進められるのか、不安を抱えていた頃でした。通信系の分野を対象とした助成で、助成額も比較的大きい支援が受けられることが申請した理由です。

■研究費助成を受けたときの印象はいかがでしたか？

これまで利用した助成制度の中でも、使い勝手がよく、金額面

立てて、物理的・電磁的ニューラルネットワークを構成します。

(図5) そもそも電波は高速で伝搬し、エネルギー効率も高いため、これをセマンティック通信や通信環境推定に応用する研究を進めています。

でも助けられた制度でした。助成期間を2年または3年から選べる点と、用途を柔軟に変動できる点が魅力でした。たとえば、論文が採択された際に、インパクトを高めるためオープンアクセスにしたい場面がありました。他の助成では、当初申請した計画額を自由に変更できないことがありました。SCAT助成は、突発的に大きな金額が必要になった際にも柔軟に対応できました。為替変動で購入費が変わってしまったときにも助かりました。

大学教員として初めて研究室を立ち上げた時期に困ったのが、机や椅子といった什器の整備です。公的助成では、用途に制約があるため、使いにくい面があります。大学からの予算は、什器の購入には足りても、研究に必要なパソコンなどの機器まで揃えようとするとう足してしまう。そうした状況の中で、柔軟に使える助成はありがたいものでした。

■研究室を立ち上げたときに助成を受けていただいています。が、どういうタイミングで助成があると助かりますか？

研究室を立ち上げたばかりの時期が最も助成金を必要とするタイミングです。設備や環境を整えるための初期投資が大きく、この段階で支援があれば必ず申請したいと考えています。

■研究のステップアップのタイミングでお役に立つような助成に対する期待はありますか？

はい、そのような使い方もあると思います。研究が一段階進んで成長したときに、ステップアップの研究費があると挑戦したい気持ちがあります。理論系なので必ずしも金額は大きくなくとも構いません。たとえば、3年で500万円あれば、ありがたいです。

■どのくらいの年齢のときに使えると望ましいとお考えでしょう？

若手向けの助成制度は多く存在します。自分の将来を考えますと、ミドルやシニアになったときに、応募できる助成が限られると、研究の効率が落ちてしまいます。年齢が上の世代でも応募でき、採択される助成制度が望ましいと考えています。

通信分野の交流の場への期待

■研究者の交流懇談会のご希望はありますか？

あったらよいと思います。交流会がある助成も多くあります。しかし、対象分野が広い助成の交流懇談会では、研究の話を十分できないこともあり、もどかしい思いをしています。通信分野の研究者が集まるような交流会は、楽しいと思っています。

プロフィール

2017年千葉大学工学部電気電子工学科卒業。2018年同大学院融合理工学府基幹工学専攻修士課程修了、2021年同博士課程修了。博士(工学)。同年、宇都宮大学助教、2022年東京大学生産技術研究所特任助教を経て、2025年横浜国立大学大学院工学研究院知的構造の創生部門助教。2019年デューク大学訪問研究員、2025年サウサンプトン大学客員研究員。