

採 択 番 号 22403
 研究開発課題名 次世代コアと Beyond 5G/6G ネットワークのためのプログラム可能なネットワークの研究開発
 副 題 SWIFT: 6G 移動通信ネットワークのための知的処理機構のソフトウェア化

(1) 研究開発の目的

図 1 に提案するデータ駆動型無線ネットワーク SWIFT の概要図を示す。本研究では、データ駆動型無線ネットワーク「SWIFT」の概念を実現するために、ネットワーク制御を司る人工知能において、学習データセット内で生じる Concept-drift の変化特性を同定し、同定された特性を基に学習用訓練データセットを構築し、データ駆動型学習モデルを設計する。そして、Concept-drift のレベルに基づき学習モデルとネットワーク制御機能を最適に融合する適応的通信資源制御技術を開発する。

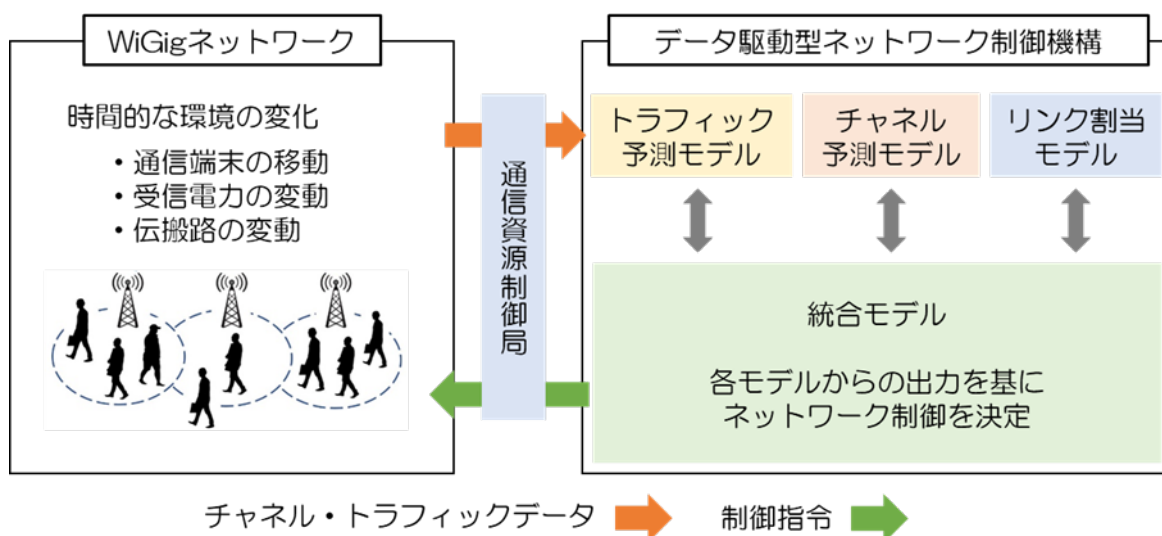


図 1：本研究で提案する SWIFT の概念図

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 7 年度（36 か月間）

(3) 受託者

国立大学法人東北大学＜代表研究者＞

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 4 年度から令和 7 年度までの総額 43 百万円（令和 7 年度 6 百万円）
 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 WiGig における伝搬環境データセットの生成
 評価 （国立大学法人東北大学）
 研究開発項目 2 WiGig における予測モデルの開発
 評価 （国立大学法人東北大学）
 研究開発項目 3 SWIFT のプロトタイプ実装と概念実証実験
 実装 （国立大学法人東北大学）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	3	0
	その他研究発表	11	0
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	1	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1)

- 1-1. 現実的なネットワーク環境におけるマルチユーザモビリティパターンとユーザ分布を反映した伝搬路、トラフィックのデータセットを効率的に生成する方法を構築するために、WiGig 環境を反映したデータセットを作成する方法を確立した。
- 1-2. 現実的なネットワーク環境におけるマルチユーザモビリティパターンとユーザ分布を反映した伝搬路・トラフィックのデータセットを効率的に生成する方法を構築するために、WiGig 環境を反映した屋内環境における現実的なモビリティモデルを開発した。そして、基礎設計を行った WiGig における通信環境データセットの生成技術に関して、詳細設計を行った。また、このデータセット生成技術を用いて WiGig 環境におけるトラフィックのデータセットを生成し、研究開発項目 2 での検討におけるシミュレーションを行った。
- 1-3. 実環境における測定に基づくデータセットの収集方法及び WiGig 環境の特性を反映したデータセットの生成方法について、提案モデルにより生成されたデータセットを用いて WiGig テストベッドによる有効性の検証を実施した。評価の結果、ユーザ密度の変化に伴うチャネル予測精度の低下（コンセプトドリフト）に対し、センシングを活用した多段階モデル選択によるチャネル予測を行うことにより、対象環境における高精度なデータ生成が可能となることが確認された。

これにより、屋内における人間の行動パターンの深い理解、反射面を活用した WiGig 屋内ネットワークのチャネルモデル分析、およびディープラーニングを用いた予測手法に基づき、線形計算量でブロックage（遮蔽）を検出することが可能になり、今回実験に用いた一般的なオフィス環境において計算量を 1/1000 に低減することができることが分かった。

研究開発項目 2)

- 2-1. ユーザの将来の状態に基づいて、より良い将来の伝送速度やより安定した環境を持つアクセスポイントにユーザを切り替える方式を構築した。
- 2-2. 基礎設計を完了したモデルを基に、環境レイアウトの変化と、その結果生じるコンセプトドリフトを検出できるフレームワークを開発した。提案フレームワークにおいては、畳み込みニューラルネットワークモデルによって環境の変化に素早く対応し、高い精度の予測レベルを維持できるようになる。これらの予測を通じて、WiGig 基地局間のプロアクティブな制御とハンドオーバーが可能となり、ユーザに安定した高スループットサービスの提供が可能となる。
- 2-3. 詳細設計を完了させたチャネルゲインを予測する方法を基に、AP におけるチャネルゲインを予測するために、一連の機械学習モデルを開発し、UE の通信特性を予測するフレームワークを構築した。構築したフレームワークについて、ユーザ密度、モビリティステージ、室内レイアウトの変化に起因するデータドリフトを考慮し、それぞれに対応した専用モデルおよび汎化モデルの学習と評価を行った。特にユーザ密度と部屋構成の変化に対しては性能劣化が軽微であることを確認し、モビリティステージに対しては特化モデルの有効性を示した。これにより、実環境に即した柔軟かつ高精度なチャネル予測を可能とする基盤を確立した。

これにより、定常環境下では、学習ベースのモデルは WiGig およびテラヘルツチャネルにおけるチャネル利得を約 99%の精度で予測できることが示された。しかし、動的環境（ユーザの移動がある状況など）では、コンセプトドリフトによって最悪のケースで予測精度が 50%低下する。この問題に対してアンサンブル学習ベースの手法を用いることで、精度の低下を一部のシナリオでは 1%未満、すべての測定シナリオでも 4%未満に抑えることができています。現在、最悪ケースにおける性能をさらに改善するための取り組みを進めており、これらの結果を含む論文[2]を数ヶ月以内に投稿する予定である。また、ランダムフォレストベースの手法は、実験用テストベッドデータを用いたシナリオにおいて、動的変化やコンセプトドリフトの有無にかかわらず、98%以上の精度で WiGig チャネル利得を予測できることがわかった。これより、定常環境においては目標値を達成するとともに、動的環境においては最悪のケースにおいても目標値に近い精度を得られることが分かった。

研究開発項目 3)

- 3-1. 研究開発項目 1 および 2 で開発した手法を統合して SWIFT のプロトタイプを実装し、テストベッドで概念実証を行った。まず、テストベッド内に設置された通信機器間の無線伝送を、通信制御サーバにおいて制御するシステムを構築した。通信制御サーバにてチャネル、トラフィックデータを収集し、予測モデルに基づく学習を実施した。
- 3-2. 研究開発項目 1 および 2 で開発した手法を統合した SWIFT のプロトタイプを活用し、その統合的な評価を実施した。まず、実験評価系をテストベッド内に導入し、ネットワーク制御を模擬するシステムを構築した。さらに、ネットワークの状態を取集・解析することで、データ駆動型の最適化手法の有効性を検証した。これにより、研究開発項目 1 及び 2 の成果を組み合わせた評価を行った。

これにより、実験用テストベッドデータに基づいたシナリオでの評価結果では、ユーザ満足度の誤差偏差は 2%未満であり、不必要なハンドオーバーの発生確率は 3%、必要なハンドオーバーを見逃す確率は 0%である。すなわち、提案手法を用いた場合、測定されたシナリオにおいてリンクが切断されることは一度もない。よって、ユーザごとの偏差に関する目標値を達成し、安定した通信を実現できることが確認された。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究成果の展開と発展・普及を促進するためには、研究成果の積極的な発信が大変重要であることから、本研究開発終了後も継続して情報通信技術の幅広い範囲をカバーする国際論文誌、国内外の学会等において、成果発表やデモンストレーションを実施するとともに、それらの活動を通じて得られる知見を研究開発に随時フィードバックする。また、関係省庁や通信業界に対してデータ駆動型ネットワーク制御に基づく 6G ネットワークへの統合、利用方法に関する提言を行う。本研究開発においては、IEEE Network, IEEE Communications on Survey & Tutorial など第一級の論文誌において成果展開を行ってきた。今後も、研究成果を学会発表や論文誌投稿の形で世界に向けて発信続けるために、本研究成果が世界的に優れたものであることを客観的に裏付ける意味でも、採択率が 3 割程度の難関国際会議や、IEEE 等が刊行するインパクトファクタが世界トップクラスの有名国際ジャーナルでの成果発表が大変重要であることから、これらを目標として設定する。また、これまでも実際にスマートフォンを用いた通信実験を行った際に、プレスリリースによる情報発信、ホームページでの研究成果の紹介、デモンストレーションの実施、標準化等を行った経験を有する。本事業においても、テストベッドを利用した評価実験から得られる実験結果等を同様の方法を用いて外部へ発信していくことで、その成果を幅広く社会へと普及させていく。さらに、本プロジェクトの提案内容に関連した論文誌において特集号の企画を行う。代表者の加藤が現在 IEEE Transactions on Vehicular Technology の Editor-in-Chief を務めていることや 2015 年から 2017 年まで IEEE Network Magazine の Editor-in-Chief を務めたことから本分野において豊富な専門経験を持つ。また、2017 年から IEEE Communications Society の副会長を務めていることから学術的な潮流を形成することにおいても卓越した知見を有している。事業終了後 3 年は実用化に向けた本格的な開発を実施し、

実環境での試験利用などを試みる。

また、本プロジェクトで得られる成果は、WiGig のような将来の無線ネットワークの知的化を実現する技術であり、高周波数帯の通信システムが抱える課題を解決し、次世代規格の普及促進に寄与するものである。さらに、本事業の完遂により無線ネットワーク環境のダイナミクスを特徴量として抽出することが可能となるため、学术界へのインパクトも大きく幅広い分野への波及が期待され、ネットワーク上で展開されるサービスの変貌をもたらし、新産業の創出を促すことも期待される。

(9) 外国の実施機関

テネシー工科大学（アメリカ）

アイダホ州立大学（アメリカ）