

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13757

研究課題名（和文）無線通信環境をみるコンピュータビジョン技術

研究課題名（英文）Computer vision for wireless communications

研究代表者

西尾 理志（Nishio, Takayuki）

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：80711522

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）：本研究の目的は、カメラやレーダなどの視覚（ビジョン）データから無線通信品質を予測することである。無線通信、特にミリ波通信や可視光通信、テラヘルツ通信など超高周波帯を用いた通信では、歩行者や車、建物や街路樹などが遮蔽物や反射物となり、通信品質を大きく変動させる。本研究では、カメラやレーダなどビジョンデータに内包される時空間情報をもとに、0.5~1秒先の無線通信品質を正確に予測する技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンやIoT機器を用いた多様な情報通信サービスの実現に伴い、無線通信トラフィックが増加し周波数帯域は益々逼迫している。利用可能な帯域の拡大に向け、ミリ波やテラヘルツ波などの超高周波帯域の利活用が進んでいる。本研究は、超高周波帯域における周囲の環境の変動（歩行者や車両による遮蔽など）による通信品質の急峻な変動問題に対し、新しい解決策としてコンピュータビジョンにより未来の通信品質予測を可能にするものである。この技術は、途切れない安定した超高周波帯域通信の実現に寄与する。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to predict wireless communication quality from visual data (e.g., images) from cameras and radar. In wireless communications, especially those using ultra-high frequency bands such as millimeter wave communications, visible light communications, and terahertz communications, pedestrians, cars, buildings, and roadside trees become obstructions and reflections, which greatly affect the wireless communication quality. In this research, we established a technique to accurately predict wireless communication quality 0.5 to 1 second ahead based on spatio-temporal information contained in the vision data from cameras, radar, and LiDAR.

研究分野：無線ネットワーク

キーワード：無線通信 コンピュータビジョン ミリ波通信 プロアクティブ制御

## 1. 研究開始当初の背景

無線通信品質の予測はシステム設計および制御において重要な技術である。予測には二つの側面がある。1つは今通信システムがない場所に通信システムを設置したらどれだけの性能が期待できるかを予測すること。これは携帯電話網において、提供する通信網のカバレッジや通信容量を予測して基地局を設置する場合に必要となる。もう1つは、現在行っている通信が今後どのようなようになるかを予測することである。これは音声や動画配信サービスにおいて、将来のスループットを予測して、動画像の品質やバッファリングするデータ量を調整する場合に必要となる。

これまで前者の予測は、レイリーフェージングなどのような統計モデルにより、後者の予測は、時系列予測や移動予測により実現されてきた。しかし、無線通信の大容量化に向け、周波数の繰り返し利用を行うためのスモールセル化や、ミリ波通信やテラヘルツ通信など高周波帯通信の研究開発が進むにつれ、これまでの予測方法では、予測できないあるいは精度が悪い状況が生じてきた。それは、セルが小規模なためセルごとの伝搬特性のばらつきが大きく統計モデルがうまく当てはまらない状況が生じ、高周波帯通信特有の、歩行者や車両による見越し通信路遮蔽による急峻な通信品質低下は、端末の移動予測や時系列予測ではとらえることができないことである。これら新たに生じた要求に対応可能な予測手法が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、カメラやレーダなどの視覚(ビジョン)データから無線通信品質を予測することである。電波は空間内で反射や回折、散乱を繰り返し、減衰や干渉する。そのパターンは伝搬する空間のジオメトリに依存して決まる。スマートフォンやドローン、ロボットカーなどから取得されるビジョンデータは空間情報、周囲の環境およびその変化に関する情報を内包しており、通信品質予測の情報ソースとしての潜在能力を有する。

本研究の学術的独自性、創造性は、画像(2D)や点群(3D)などビジョンデータから無線通信品質の予測を試みる点にある。従来は電波や端末の位置情報を用いて予測が試みられてきた。しかしそれでは、遮蔽物や反射物の位置関係やそれらの移動をとらえることはできない。一方、ビジョンデータなら遮蔽物や反射物の位置関係が表現され、ビジョンデータの時系列からは移動や変化をとらえることができる。

## 3. 研究の方法

本研究では、これまで申請者が先駆的に研究してきた機械学習によるカメラ画像からのミリ波通信品質予測技術をベースとして、電波伝搬モデルや深層学習をもとに、無線通信を特徴づける新たな特徴量をビジョンデータから抽出する手法を明らかにし、それにより、予測精度および実行速度が向上することを実験的に示す。

## 4. 研究成果

### (1) RGB カメラを用いたミリ波通信受信電力予測

これまで確立してきた深度カメラ画像からミリ波通信受信電力を予測する技術を応用し、RGB カメラ画像からミリ波通信受信電力を予測する技術について検討した。RGB カメラは深度カメラ

と比較して廉価であり、Web カメラや監視カメラなど広く用いられていることから、既存のカメラを転用することで設置コストを大幅に削減できる。一方、深度画像では取得可能であった奥行き情報が失われるため、予測精度が低下する可能性がある。特に、カメラの奥行き方向に歩行者が移動する場合においては予測精度低下の可能性が高い。本

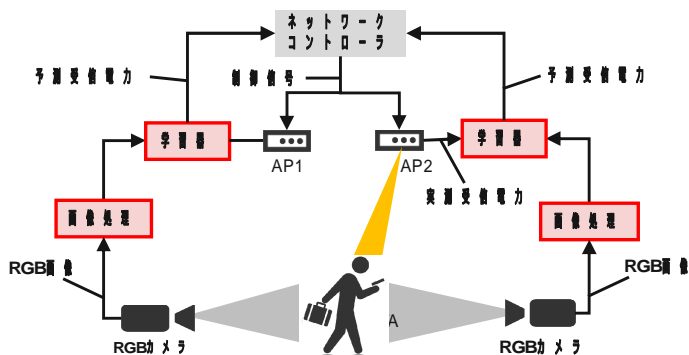


図 1: カメラを用いたミリ波通信受信電力予測

研究では、グレースケール変換した RGB 画像を、画像処理で代表的に用いられる特徴抽出手法である画像差分とエッジ抽出を施した画像を入力として、機械学習により受信電力を予測する手法を検討し、入力に深度画像を用いた場合と同程度の性能が達成できることを示した。

## (2)電波伝搬シミュレーションを用いた転移学習による受信電力予測モデル学習の高速化

カメラ画像からミリ波通信受信電力を予測する技術において、学習を高速化する技術について検討した。カメラ画像からのミリ波受信電力予測では、深層学習を用いるため、学習用データの収集および学習処理に時間を要する。本研究では、転移学習を用いた学習高速化を検討した。具体的には、3D モデルと電波伝搬シミュレーションから生成したデータから予測モデルを事前学習し、そのモデルを初期値として使用する環境で取得したデータを用いて再訓練することで、使用環境で実測する学習データの量および学習処理を削減しつつ、削減前と同程度の予測精度を達成できることを示した。また、画像の時系列特徴から、時間方向で適切に特徴選択することで学習時間短縮および精度向上できることを示した。

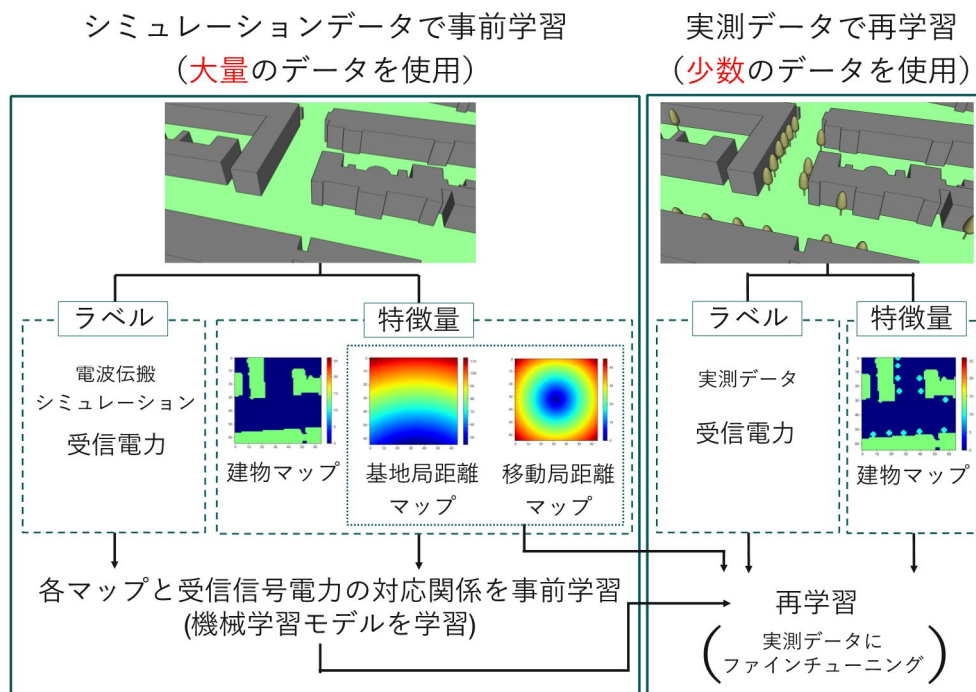


図 2: シミュレーションを用いた事前学習とファインチューニングによる学習

(3) 無線通信受信電力予測モデルの環境適合方式

カメラ画像から無線通信受信電力を予測する技術において、データの取得と学習を同時に行い環境変化に自動的に適合しながら予測システムを実装し、実験的に有効性を示した。これまでの検討では、事前に取得した大量のデータセットを用いて深層学習モデルを訓練し、予測モデルを生成していた。しかし、この方法では環境に変化が生じると予測精度が低下するという課題があった。本研究では、端末が自身に具備された無線LAN とカメラを用いて、通信品質と画像

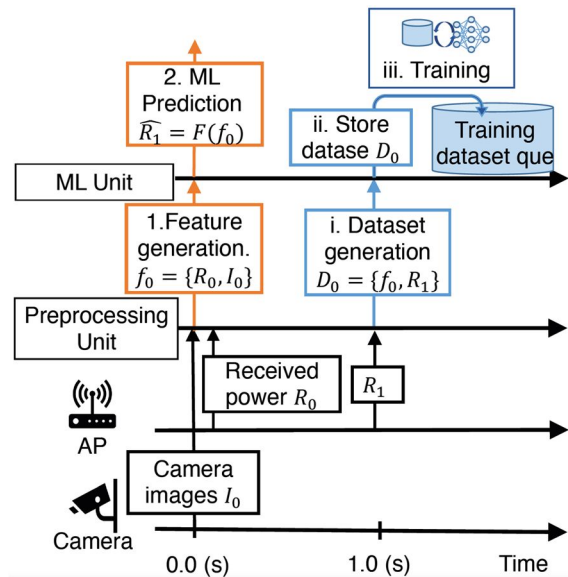


図 3: オンライン学習によるモデルの環境適合

データを同時に取得し、取得したデータを用いて逐次的に予測モデルを更新するシステムを、市販の機器を用いて実装した。5 GHz 帯無線 LAN 環境での実験では、送信端末の位置が変更するなどの環境変化が発生すると一時的に予測精度が低下するものの、時間経過とともに予測精度が改善できることを実証した。

(4) 通信効率の良い分散学習方式

上記の無線通信品質予測技術は機械学習を用いることで高い予測を実現してきた。しかし、その学習には大量のデータが必要となる。データ収集の有効な手段として、実装先で取得される画像と通信品質データを集約する方法が考えられるが、病院やオフィスなどプライバシー・機密情報保護の観点から、画像の集約が難しい場合もある。そのような状況において、データを集約せずに機械学習に用いる方式として Federated Learning がある。

本研究では、Federated Learning における課題の一つである通信トラフィックについて、非常に少ない通信トラフィックで学習を可能にする新たな学習手法を提案した。これにより、複数の分散した無線拠点間で協調的に予測モデルを学習できるようになり、高い精度のモデルを効率よく獲得できるようになる。

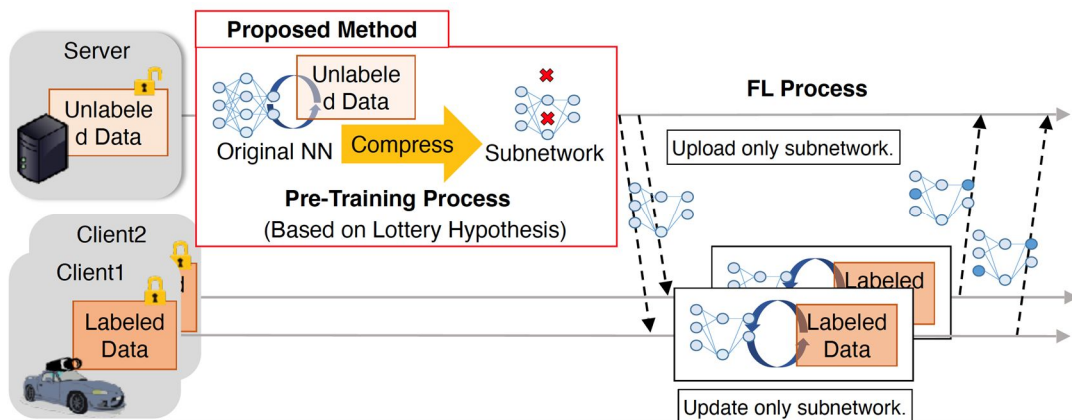


図 4: 教師なし学習による圧縮モデル訓練に基づく分散学習方式

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Itahara Sohei, Nishio Takayuki, Koda Yusuke, Morikura Masahiro, Yamamoto Koji	4. 巻 -
2. 論文標題 Distillation-Based Semi-Supervised Federated Learning for Communication-Efficient Collaborative Training with Non-IID Private Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Mobile Computing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMC.2021.3070013	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 Park Jihong, Samarakoon Sumudu, Shiri Hamid, Abdel-Aziz Mohamed K., Nishio Takayuki, Elgabli Anis, Bennis Mehdi	4. 巻 5
2. 論文標題 Extreme ultra-reliable and low-latency communication	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Electronics	6. 最初と最後の頁 133 ~ 141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41928-022-00728-8	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 該当する
1. 著者名 Nishio Takayuki, Koda Yusuke, Park Jihong, Bennis Mehdi, Doppler Klaus	4. 巻 5
2. 論文標題 When Wireless Communications Meet Computer Vision in Beyond 5G	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Communications Standards Magazine	6. 最初と最後の頁 76 ~ 83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MCOMSTD.001.2000047	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 該当する
1. 著者名 Nishio Takayuki, Inoue Yoshiaki, Nakayama Yu, Katsurai Marie	4. 巻 -
2. 論文標題 Joint Computation Offloading and Sampling Interval Optimization for Accuracy-Guaranteed Surveillance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE CCNC 2021	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/CCNC49032.2021.9369655	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 Itahara Sohei, Nishio Takayuki, Morikura Masahiro, Yamamoto Koji	4. 巻 -
2. 論文標題 Online Trainable Wireless Link Quality Prediction System using Camera Imagery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Globecom Open Workshop on Machine Learning in Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCWkshps50303.2020.9367396	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 Iwasaki Masahiro, Nishio Takayuki, Morikura Masahiro, Yamamoto Koji	4. 巻 -
2. 論文標題 Transfer Learning-Based Received Power Prediction with Ray-tracing Simulation and Small Amount of Measurement Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE VTC2020-Fall	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VTC2020-Fall149728.2020.9348557	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 Itahara Sohei, Nishio Takayuki, Morikura Masahiro, Yamamoto Koji	4. 巻 -
2. 論文標題 Lottery Hypothesis based Unsupervised Pre-training for Model Compression in Federated Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE VTC2020-Fall	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VTC2020-Fall149728.2020.9348439	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 S. Ohta, T. Nishio, R. Kudo, K. Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Millimeter-wave Received Power Prediction Using Point Cloud Data and Supervised Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE VTC2022-Spring	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 T. Nishio, Y. Inoue, Y. Nakayama, M. Katsurai
2. 発表標題 Joint Computation Offloading and Sampling Interval Optimization for Accuracy-Guaranteed Surveillance
3. 学会等名 IEEE CCNC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Itahara, T. Nishio, M. Morikura, and K. Yamamoto
2. 発表標題 Online Trainable Wireless Link Quality Prediction System using Camera Imagery
3. 学会等名 IEEE Globecom Open Workshop on Machine Learning in Communications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Iwasaki, T. Nishio, M. Morikura, and K. Yamamoto
2. 発表標題 Transfer Learning-Based Received Power Prediction with Ray-tracing Simulation and Small Amount of Measurement Data
3. 学会等名 IEEE VTC2020-Fall (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩崎正寛、西尾理志、守倉正博、山本高至
2. 発表標題 電波伝搬シミュレーションを用いた無線通信の受信電力データ拡張に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板原壮平、西尾理志、守倉正博、山本高至
2. 発表標題 カメラ画像を用いた無線通信品質予測のオンライン学習
3. 学会等名 電子情報通信学会SeMI研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Itahara, T. Nishio, M. Morikura, and K. Yamamoto
2. 発表標題 Lottery Hypothesis based Unsupervised Pre-training for Model Compression in Federated Learning
3. 学会等名 IEEE VTC2020-Fall (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩崎正寛、西尾理志、守倉正博、山本高至
2. 発表標題 電波伝搬シミュレーションと深層学習を用いたミリ波受信電力予測手法の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 266, SeMI2019-78, pp. 73-74, 2019年11月.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎正寛、西尾理志、守倉正博、山本高至
2. 発表標題 電波伝搬シミュレーションと深層学習を用いたミリ波通信のエリア品質予測の検討
3. 学会等名 ICTイノベーション
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 西尾理志
2. 発表標題 無線通信制御への応用に向けた機械学習の基礎と実践
3. 学会等名 IEEE AP-S Kansai Joint Chapter Tutorial, Sept 2020. (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西尾理志
2. 発表標題 無線通信分野への応用に向けた機械学習の基礎
3. 学会等名 信学総大, March 2020. (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Yamamoto and Takayuki Nishio
2. 発表標題 Machine Learning and Stochastic Geometry: Statistical Frameworks Against Uncertainty in Wireless LANs
3. 学会等名 IEEE ICC tutorials, May 2019. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上健祐, 西尾理志, 守倉正博, 浅井裕介, 宮武遼
2. 発表標題 RGBカメラと機械学習を用いたミリ波受信電力予測性能の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾理志
2. 発表標題 深層学習応用チュートリアル
3. 学会等名 電子情報通信学MoNA研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾理志
2. 発表標題 無線通信制御への機械学習応用
3. 学会等名 次世代ワイヤレス技術講座（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾理志
2. 発表標題 無線通信制御への応用に向けた機械学習の基礎と実践
3. 学会等名 IEEE AP-S Kansai Joint Chapter Tutorial（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Ohta, T. Nishio, R. Kudo, K. Takahashi
2. 発表標題 Millimeter-wave Received Power Prediction Using Point Cloud Data and Supervised Learning
3. 学会等名 IEEE VTC2022-Spring（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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			
フィンランド	University of Oulu			
オーストラリア	Deakin University			
米国	Nokia Bell Labs			