

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H02143
研究課題名（和文）ダイナミック周波数共有に向けたリアルタイム電波環境マップ構築基盤に関する研究開発

研究課題名（英文）Research and Development on Real-Time Radio Environment Mapping Infrastructure for Dynamic Spectrum Sharing

研究代表者
森川 博之（Morikawa, Hiroyuki）
東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：50242011
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、リアルタイム電波環境マップ構築基盤および電波資源の効率的活用に向けた応用技術を開発した。具体的には、テレビ受信アンテナを用いた電波環境測定の有効性を明らかにするとともに、電波環境マップ構築基盤に資する機械学習型伝搬損失モデルならびに反射低減機構を開発した。さらに電波資源を有効活用するための応用技術として、衛星搭載型合成開口レーダ（SAR: Synthetic Aperture Radar）を活用したIoT構築基盤と、蔵本モデル型スケジューリング方式を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、ダイナミック周波数共有に向けたリアルタイム電波環境マップ構築基盤を低コストに実現すべく、リアルタイム電波環境マップ構築基盤および電波資源の効率的活用に向けた応用技術を開発した。得られた成果のなかでも、テレビ受信用アンテナを用いるという革新的なアプローチとその検証結果は、電波環境センシング基盤の低コスト化に貢献する稀有な成果であると考えている。本研究開発により得られた成果に関してはその社会展開および周辺分野への技術応用に向けて研究を継続するとともに、研究過程で新たに生じた技術課題に対してもその解決に今後取り組んでいく。

研究成果の概要（英文）：We have developed a real-time radio environment mapping platform and applied technologies aimed at the efficient utilization of radio resources. Specifically, we have confirmed the feasibility and applicability of radio wave environment measurements using TV reception antennas. Furthermore, we have developed a machine learning-based propagation loss model and a reflection reduction mechanism that contribute to the foundation for constructing the radio environment mapping platform. As applied technologies for the effective use of radio resources, we have developed an IoT platform using a satellite-mounted synthetic aperture radar and a Kuramoto model-based scheduling method.

研究分野：無線通信

キーワード：電波環境マップ ダイナミック周波数共有 伝搬損失モデル 機械学習

1. 研究開始当初の背景

トラフィック急増に伴う電波資源の逼迫を解決するため、リアルタイム電波環境マップの構築が望まれている。総務省は、逼迫する周波数を鑑み、平成 22 年度からホワイトスペース推進会議[1]を開催し、ホワイトスペース利活用システムの運用調整に関する仕組みをとりまとめた。それに加え、令和 2 年（2020 年）からサービスが開始される第 5 世代移動体通信システムにおいても周波数帯域が不足することが確実視されており、ダイナミック周波数共用およびホワイトスペース利用に向けた法整備が急ピッチで始まっている。

効果的なダイナミック周波数共用実現のためには、どの周波数帯がいつどこでどのように使われているのか、リアルタイムにモニタリング可能な電波環境マップ構築基盤ならびに電波資源の効率的活用に向けた基盤技術が必要不可欠である。リアルタイムかつ低コストに電波環境マップを構築できれば、現行のサービスに対するインパクトも大きい。移動体通信事業者は、通信障害への対策や基地局新設に伴うカバレッジの把握を目的として電波環境マップを活用している。現状では、専用装置を用いて技術者が現地電波強度を計測しており、人的コストが大きい点に課題がある。この手法では、都市全体に対してリアルタイムに電波環境マップを構築することは人的コストの観点から困難であるため、差し迫った需要が顕在化したエリアのみを対象とする他ない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ダイナミック周波数共用に向けたリアルタイム電波環境マップ構築基盤を低コストに実現することである。電波環境マップ実用化を阻害する本質的な課題は、電波強度計測コストにある。これに対し、本研究では、地域依存性なく建築物に取り付けられるテレビ受信用アンテナに着目して課題解決を図る。本来センサではないテレビ受信用アンテナを IoT センサ化するという従来になかったアプローチをベースとして、革新的な基盤技術ならびに応用技術の創出を図る。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、リアルタイム電波環境マップ構築基盤および電波資源の効率的活用に向けた応用技術を開発する。本研究では開発した技術を当該領域だけに適用するのではなく、周辺分野にも応用展開することにより、開発技術を広く社会へ還元させるとともに、開発技術の早期発展を促進する。

4. 研究成果

テレビ受信用アンテナを用いた電波環境マップ構築基盤の実現可能性を検証した。検証方法として、マスプロ電工製地上デジタル放送用 UHF アンテナ LS56 を Rohde&Schwarz 製スペクトラムアナライザ FSL に接続し、受信強度スペクトルを計測した。場所は東京大学本郷キャンパス工学部 2 号館 11 階である。計測した電波強度スペクトルを図 1 に示す。

図 1 より、地上デジタルテレビ放送はもちろん、FM ラジオ、携帯電話、PHS、2.4GHz 帯無線 LAN、広帯域無線通信アクセスなどの周波数帯域で電波を捕捉できている。地上波テレビ放送用周波数帯および現行の携帯電話用周波数帯など広範な周波数帯域に対してであっても、テレビ受信用アンテナを用いることでセンシングすることができることを示すものであり、電波環境の低コストセンシングに繋がる大きな成果であると考えている。

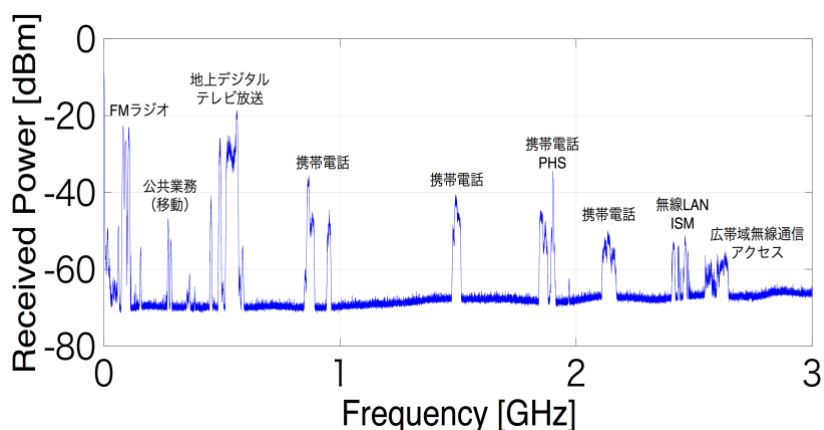


図 1 テレビ受信用アンテナを用いて計測した受信強度

電波環境マップ構築ソフトウェア基盤として、機械学習型伝搬損失モデル構築機構の検討を行なった。伝搬損失モデルを用いることにより、電波強度計測値を入力として、電波強度計測値の存在しない周辺領域に対しても電波強度を推定することが目的である。従来、伝搬損失モデルはパラメトリックなアプローチが一般的であったが、パラメータ数が限られるためその表現力に限界があった。それに対し、複雑な伝搬に対応する手法として近年台頭しているのが機械学習を用いて伝搬損失モデルを構築するアプローチを検討した。本研究では、送信機位置と電波強度計測値群のみから、周囲の建造物等の地域環境を考慮した伝搬損失モデルを高精度に構築する手法を開発した。伝搬損失モデルを画像として捉え、数ある機械学習手法のなかから画像処理分野で豊富な成功事例を有する CNN を採用し、CNN のなかでも様々な方式を比較検証するとともに、パラメータと性能との依存関係の評価した。

図 2 に性能比較の結果を示す。本評価の条件下においては、比較検討したモデルのうち、shallow feature extraction および Residual Block の両方を含むモデルが最も高性能であることがわかる。また、D2D 通信をアプリケーションとして想定した性能評価により、検討した機械学習型伝搬損失モデル構築機構の有用性を確認した。

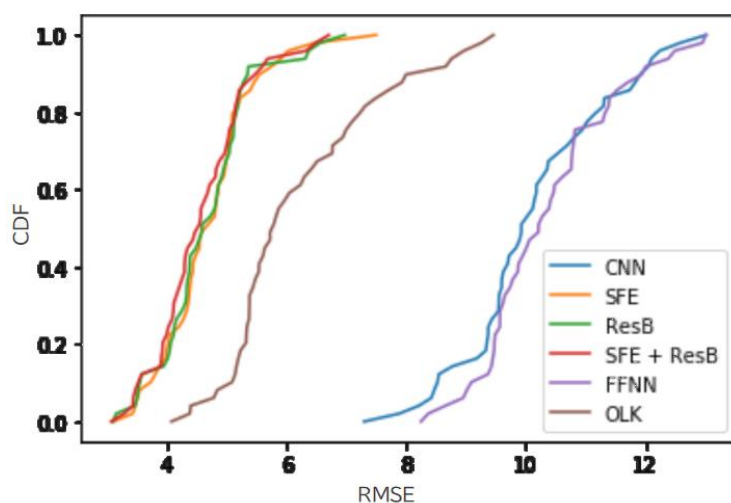


図 2 複数の機械学習モデルに対するRMSEの累積分布関数 (CDF)

より高性能なセンシングを実現するための方式として FET ブリッジ型動的反射低減回路の検討を行い、実験評価によりその性能を評価した。FETブリッジに印加する電圧を調整することでリアクタンスを制御することが可能である。本機構については、その特性を踏まえ共振器結合の動的反射低減機構にも応用展開し、その有効性を確認した。本機構の動作周波数向上については今後の研究課題である。

電波資源を有効活用するための応用技術として、衛星搭載型合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)を活用したIoT構築基盤と、大規模無線センサネットワークに対する蔵本モデル型スケジューリング方式を開発した。衛星搭載型合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)を活用したIoT構築基盤では、レーダに用いるセンシング用の電波を後方散乱することにより、通信網の整備されていない地域においても省電力でセンサのアップロードリンクを確保する手法を提案した。これは衛星搭載型合成開口レーダの電波を地上のアンテナで後方散乱することにより、既存衛星を用いた広域衛星IoTを実現するものであり、既存衛星を改造なく利用可能である点に特徴がある。本研究ではTE Connectivity社のHDDA5W-29-DP2をアンテナとして用い、Amphenol Connector社製N Shorting Plug 172317で短絡させることにより、合成開口レーダからの放射波を後方散乱させ、合成開口レーダで捕捉可能であるか実験的に検証した。比較対象としてコーナーリフレクタを用いた。実証実験により、高指向性アンテナを短絡させることにより、その反射波によって合成開口レーダを介して通信可能であることが示された。本機構のさらなる高度化は今後の研究課題である。また、大規模無線センサネットワークに対する蔵本モデル型スケジューリング方式に関しては、各端末がスケジューリングに与える影響が相殺されるよう設計することにより、疎なネットワークにおいても動作する効率的なスケジューリング方式を開発した。

[1] 総務省 ホワイトスペース推進会議,
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/whitespace/index.html.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 森川博之	4. 巻 104
2. 論文標題 Beyond 5G / 6Gへの向き合い方	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.394-397
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 K. Matsuura, D. Kobuchi, Y. Narusue, and H. Morikawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Communication-Less Receiver-Side Resonant Frequency Tuning for Magnetically Coupled Wireless Power Transfer Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 23544-23556
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2023.3251987	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6件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 生形 貴，成末義哲，篠原笑子，森川博之
2. 発表標題 無線センサネットワークにおける隠れ端末を考慮した蔵本モデル型スケジューリング方式
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 成末義哲，生形 貴，篠原笑子，森川博之
2. 発表標題 IoT/CPS基盤としてのワイヤレス給電技術
3. 学会等名 電子情報通信学会 無線通信システム研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Morikawa
2. 発表標題 How to Face the 5G / Beyond 5G / 6G Era
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mobility (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Morikawa
2. 発表標題 How to Face 'Digital' in Post COVID-19 Era
3. 学会等名 International Conference on Emerging Technologies for Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 生形貴, 館野 将寿, 成末義哲, 森川博之
2. 発表標題 衛星IoTに向けた合成開口レーダ活用型後方散乱通信の実現可能性
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 2022年

1. 発表者名 森川博之
2. 発表標題 Beyond 5G/6G時代に向けた通信・AI・センシング融合技術の最新動向
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2023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
研究 分担 者	成末 義哲 (Narusue Yoshiaki) (70804772)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	

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
---------	---------