

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32657
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2022
課題番号：19K04369
研究課題名（和文）IoT無線ネットワーク構築のための環境モデリングに関する研究

研究課題名（英文）3D Environment Modeling for IoT Wireless Network Planning

研究代表者
齋藤 健太郎（Saio, Kentaro）
東京電機大学・システムデザイン工学部・准教授

研究者番号：40756665
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年ではInternet of Things (IoT)サービスの普及に伴い、様々なユーザにより無線ネットワークが構築され利用されている。無線ネットワークの構築ではサービスエリアや無線機どうしの無線干渉を考慮して無線機器の配置を行う事が重要であるが、必ずしも"電波"に詳しくないユーザにとって電波伝搬特性まで考慮しながらネットワーク構築を行う事は容易ではない。そのため本研究では、ネットワーク設計支援を行うため、通信が行われる実環境3Dモデル構築と、無線通信品質予測を行う手法について研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義
ユーザの通信環境モデル構築と電波伝搬シミュレーションによる通信品質予測手法については様々な研究が行われている。本研究ではレーザスキャナから取得された高精度な環境3Dモデルに対して物理光学近似を用いた伝搬シミュレーションを適用する事で、複雑な形状を持つ家具や屋内構造物が設置される事による伝搬チャネルへの影響を高精度に計算する事ができる。またAperture Field Integration Method (AFIM)法を適用する事で物理光学近似を用いた手法で課題となる計算量を大幅に削減する手法を確立した。本研究成果を用いる事でネットワーク設定支援や設計自動化技術の活用につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：With the recent spread of Internet of Things (IoT) services, various industry fields have utilized wireless communication. In wireless network construction, it is necessary to place the base stations (BSs) to cover the entire service area while avoiding unnecessary interference among BSs. However, those predictions are quite difficult for most users. In this research project, we proposed the construction method of the 3D model of the targeted communication environment and the radio propagation simulation method to support the network construction task of the users.

研究分野：通信工学

キーワード：無線通信 電波伝搬 電波伝搬シミュレーション 物理光学近似 開口面法 ポイントクラウド ミリ波帯伝搬 散乱特性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超スマート社会の実現に向けて、様々な Internet of Things (IoT)無線ネットワークが構築されている。無線ネットワークの構築ではサービスエリアや無線機どうしの無線干渉を考慮して無線機器の配置を行う事が重要であるが、必ずしも”電波”に詳しくないユーザにとって電波伝搬特性まで考慮しながらネットワーク構築を行う事は容易ではない。そのため申請者らはネットワーク設計作業を自動化するための研究に取り組んで来たが、正確な電波伝搬予測に基づく設計を行うためには対象エリアの 3次元空間情報に加えて、周辺物体の材質情報や他無線システムからの干渉情報、また車や人の移動情報等が必要である。本研究では、通信が行われている環境情報の取得方法、またそれらの情報を用いた電波伝搬シミュレーション手法について研究を行う。

2. 研究の目的

本研究では複数のレーザスキャナによる同時計測を行い、対象エリアの環境モデルを構築する。また、レーザスキャナでは得る事が難しい材質等の情報についても、電波伝搬チャンネルサウンディングの技術を用いて推定する手法を確立する。既存のレイトレーシングシミュレーション等の電波伝搬シミュレーション手法では一定以上の大きさの平面と直線のエッジからなる環境モデルを想定しているため、環境モデルの簡略化等を組み合わせて計算する必要がある。本研究では、得られた詳細な環境モデルを用い物理光学近似に基づく電波伝搬シミュレーション手法を確立する事で、電波伝搬特性の推定精度を向上する。得られた環境モデルを用いて無線システムシミュレーションを行い、実環境での伝送実験と比較する事で提案技術の有効性を確認する。

3. 研究の方法

本研究は(課題 1)物体材質モデリング、(課題 2)無線干渉モデリング、(課題 3)物体移動モデリングからなる。各課題の研究内容・研究計画は下記の通りである。

(課題 1) 物体材質モデリング

電波伝搬シミュレーションに用いる環境モデルを構築するため、レーザスキャナとチャンネルサウンダを組み合わせた測定システムを構築する。概要を図 1 に示す。レーザスキャナによる計測では、対象エリアの 3次元点群データを取得すると共にテキスト情報等を元に物体の同定(点群データのクラスタリング)を行う。チャンネルサウンダによる電波伝搬測定では、送信側から指向性アンテナより各方向へ測定電波を送信する。受信側はポジショナを用いた仮想アレーアンテナになっており、ビームフォーミングを用いて対象物体からの散乱波の電力と到来角度特性を測定し材質パラメータを推定する。本システムを用い屋内・屋外環境で測定を行う。測定では現在無線通信で用いられているマイクロ波帯からミリ波帯までの周波数帯での実験データを取得し、様々な物体の材質パラメータの周波数特性についても明らかにする。また(課題 3)との連携のため特に人体や自動車等、移動物体による電波散乱の基本特性について測定する。

次に、得られた測定データを解析し物体材質モデリングを行う。物理光学近似に基づく伝搬理論では電波の散乱特性は物体表面の凹凸形状と表面インピーダンスにより決まるが、本研究では測定した散乱波特性と点群データを用いて逆問題を解く事により物体の表面インピーダンスを求める手法を提案する。検証のため表面インピーダンスが既知である物体で実験を行い推定アルゴリズムの改良等を行う。また得られた物体材質モデルに基づく電波伝搬シミュレーションより得られた予測値と実験データと比較し、提案手法の有効性を明らかにする。

(課題 2) 無線干渉モデリング

無線干渉モデリングではスペクトラムアナライザを用いて対象エリアの電力スペクトルを測定する。測定は電力スペクトルの時間変動特性を観測するための長時間測定と場所毎の干渉電力の差異を観測するための多地点測定からなる。長時間測定では電力スペクトルの長期・短期時間変動特性を確認する。各測定点で指向性アンテナを回転させながら電力スペクトルを測定し、地点毎の平均干渉電力及びその主要な到来方向を明らかにする。

(課題 3) 物体移動モデリング

複数のレーザスキャナを用いて店舗や食堂等の混雑環境にいる利用者の動向を測定する。計測のサンプリング頻度を上げるため、複数のスキャナを組み合わせる手法や、スキャナの走査範囲を調整する手法を確立する。そのために必要となるスキャナどうしの同期手法等も検討する。ポイントクラウドデータ取得後、全体データから移動物体に関する点群データを抽出して移動物体の分布や主要な移動経路を検出し、統計的な物体流動モデルを構築する手法について検討

を行う。また、(課題1)で解析した人体や様々な移動物体の物体材質モデルを用いて動的環境での電波伝搬シミュレーションを行い、シミュレーションにより実環境での通信性能予測がどの程度正確に実施できるか確認する。

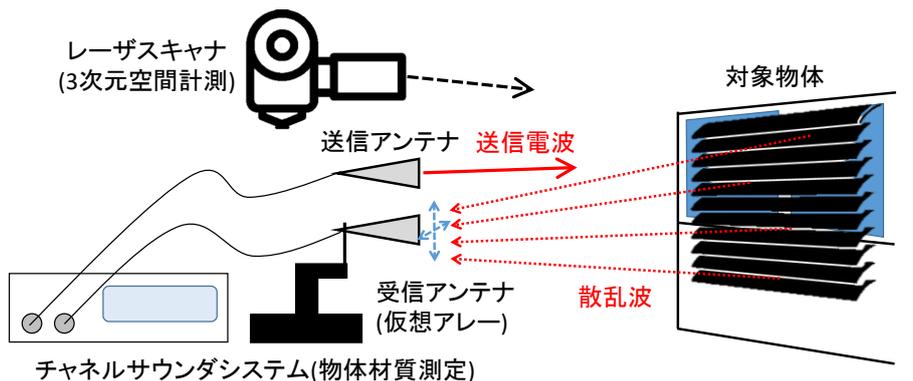


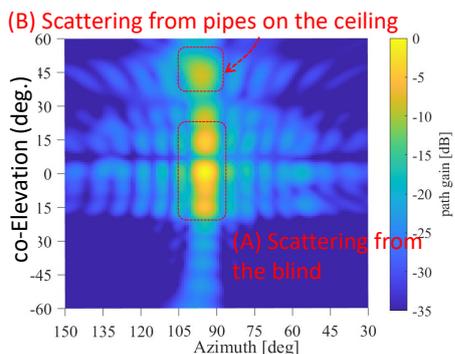
図1 3次元空間モデルと物体材質の同時測定手法

4. 研究成果

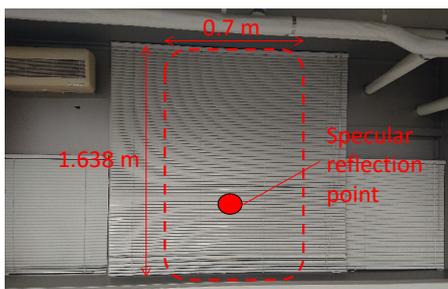
図2に本研究で構築した測定システムとその測定結果の例を示す。チャンネルサウンダはVector Network Analyzer (VNA)と3次元ポジショナからなる。3次元ポジショナにはバイコンカルアンテナが取り付けられており、3GHzから32GHzの広帯域な周波数範囲で伝搬チャネルを測定することができる。ポジショナは $100\mu\text{m}$ 以下の精度でアンテナの3次元位置を制御する事ができ、測定する周波数帯に応じた仮想アレーアンテナを構成し測定を行う事ができる。チャンネルサウンディングと同時にレーザスキャナ (Leica BLK360)で測定を行い測定時の伝搬環境のポイントクラウドデータを取得する。取得したポイントクラウドデータに対し、物理光学近似を用いて電波伝搬シミュレーションを行った。物理光学近似でシミュレーションを行う際には、得られたポイントクラウドデータから周辺物体の表面プロファイルを取得する。得られた表面プロファイルを3角形メッシュに分割し、各メッシュの表面を流れる等価電流を物理光学近似に基づき計算し、観測点での散乱電界を計算する。実験結果としてウィンドウブラインドの計算例を示す。ウィンドウブラインドは多数のスラットを組み合わせられて構成されており、その電波散乱特性は無線周波数により大きく変化する。本研究では物理光学近似に基づく電波伝搬シミュレーションを行う事で、このような複雑な構造を持つ物体からの散乱波も正確に計算する事が可能である。



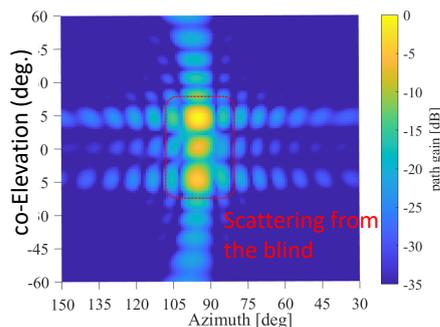
(a) Photo of the measurement system



(c) Measurement (Window blind)



(b) Window blinds



(d) PO simulation (Window blind)

図2 本研究で構築した測定システムと測定結果の一例

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 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Saito Kentaro, Keerativoranan Nopphon, Takada Jun-ichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Scenario-Specific Radio Propagation Simulation from LiDAR Point Cloud Data for Smart Office Scenario	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2023XBL0054	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 Hanpinitak Panawit, Saito Kentaro, Fan Wei, Hejselbaek Johannes, Takada Jun-Ichi, Pedersen Gert Frolund	4. 巻 7
2. 論文標題 Frequency Characteristics of Geometry-Based Clusters in Indoor Hall Environment at SHF Bands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 75420 ~ 75433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2920890	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

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Kentaro Saito, CheChia Kang, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 EM-based Building Material Parameter Estimation with Wideband Free Space Measurement Method
3. 学会等名 17th European Conf. Antennas and Propagation (EuCAP)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentaro Saito, Nopphon Keerativoranan, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Dynamic Propagation Simulation Method from LiDAR Point Cloud Data for Smart Office Scenario
3. 学会等名 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋場 一将, 大平 欣然, 齋藤 健太郎
2. 発表標題 屋内オフィス電波伝搬実験とレイトレーシングシミュレーションの比較評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術報告 vol. 122, no. 214, AP2022-94, pp. 7-8
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 健太郎, 康 哲嘉, 進藤 竜也, 高田 潤一
2. 発表標題 最尤推定アルゴリズムによる建材物性パラメータ推定手法
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 齋藤 健太郎, Nopphon Keerativoranan, 高田 潤一
2. 発表標題 LiDAR点群データを用いたオフィス環境における動的電波伝搬シミュレーション手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術報告, vol. 122, no. 277, SRW2022-26, pp. 38-38
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kentaro Saito, CheChia Kang, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Angular Characteristics Prediction of Radio Propagation Channel from Point Cloud Data by Aperture Field Integration Method
3. 学会等名 EurAAP EuCAP2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kentaro Saito, Yongri Jin, CheChia Kang, Jun-ichi Takada, Jenq-Shiou Leu
2. 発表標題 Radio Propagation Prediction by Artificial Neural Network for Wireless Service Area Planning
3. 学会等名 IEICE ICETC2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Saito, CheChia Kang, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Angular Characteristics Prediction of Radio Propagation Channel from Point Cloud Data by Aperture Field Integration Method
3. 学会等名 COST, 3rd Post Inclusive Radio Communication Networks for 5G and Beyond (Post-IRACON) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Saito, CheChia Kang, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Angular Characteristics Prediction of Radio Propagation Channel from Point Cloud Data by Aperture Field Integration Method
3. 学会等名 COST IRACON CA15104 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金 錫, 齋藤 健太郎
2. 発表標題 ミリ波帯電波伝搬測定と伝搬パラメータ推定法
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会 第9回アドバンスドワイヤレスシリーズ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 康 哲嘉, 齋藤 健太郎, 高田 潤一
2. 発表標題 物理光学近似に基づくミリ波帯伝搬チャネル予測の計算量削減手法
3. 学会等名 信学技報, vol. 120, no. 406, SRW2020-68
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Panawit Hanpinitasak, Kentaro Saito, Wei Fan, Johannes Hejselbak, Jun-ichi Takada, Gert Pedersen
2. 発表標題 Cluster Intensity and Spread Characteristics in Classroom Scenario at 10 and 28 GHz Bands
3. 学会等名 14th European Conf. Antennas and Propagation (EuCAP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kentaro Saito, CheChia Kang, Panawit Hanpinitasak, and Jun-ichi Takada
2. 発表標題 Prediction of Diffuse Scattering Characteristics by Physical Optics Approach in 32 GHz band
3. 学会等名 COST Inclusive Radio Communication Networks for 5G and Beyond (IRACON), 12th MCM (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 康 哲嘉, 齋藤 健太郎, 高田 潤一
2. 発表標題 仮想アンテナアレー技術によるSHF 帯無線通信路特性測定器の構築
3. 学会等名 革新的無線通信技術に関する横断型研究会(MIKA)2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Panawit Hanpinitsak, Kentaro Saito, Wei Fan, Johannes Hejlselbaek, Jun-ichi Takada, Gert F. Pedersen
2. 発表標題 Multi-path Cluster characteristics in Indoor Environments at 28 GHz Band
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 120, AP2019-46, pp. 135-140
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Panawit Hanpinitsak, Kentaro Saito, Jun-ichi Takada, Wei Fan, Johannes Hejlselbak, Gert Frolund Pedersen
2. 発表標題 Cluster Frequency Dependency Analysis in Indoor Environments at Microwave and Millimeter Wave Bands
3. 学会等名 第633回URSI -F会合
4. 発表年 2019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	高田 潤一 (Takada Jun-ichi) (90222083)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授 (12608)	

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