

点群を用いたミリ波帯 Radio Map 推定における 物体平面の粗さ調節

Roughness Adjustment of Object Planes in Millimeter-Wave Band Radio Map Estimation Using Point Cloud

郷園諒太郎¹
Naoya Yoshida

菅宣理¹
Norisato Suga

芝浦工業大学 工学部 情報通信工学科¹

Department of Information and Communications Engineering, Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology

1 はじめに

近年、5G や beyond5G などのミリ波を用いた高速・大容量通信技術が発展している。ミリ波は直進性が強く障害物などの遮蔽の影響を強く受けるため、通信品質を確保するために最適な基地局の設置や制御が必要となる。そのため、エリア内の受信電力を可視化した地図である Radio Map (RM) を作成し、予め受信電力値を予測することで最適な基地局の設置や制御が可能となる。RM は実環境での測定やレイトレーシング法等の電波伝搬シミュレーションにより得ることができる。実環境での測定は人的コストが高く、シミュレーションによる推定が主流となっているが、シミュレーションには建物や地形などの構造物のモデルが必要となり、膨大な計算量に起因する時間的なコストがかかる。既存研究 [1] では RGB-D 画像から 3 次元点群データを生成し、直方体に近似することで屋内構造の情報を容易に取得し、2.4GHz および 5GHz 帯における RM を推定している。しかし、ミリ波は波長が短く非常に小さな物体でも電波伝搬に影響を及ぼすため、ミリ波帯での RM 推定を既存研究 [1] で行うと、小さな直方体の面でも起こる反射・回折・透過などの相互作用を無視できず、結果としてレイトレーシングの計算量が膨大となる。

そこで、本研究ではレイトレーシングの計算量の削減を目指し、複数のオブジェクトを 1 つのオブジェクトとして直方体に近似する直方体合成と電力減衰を考慮するための合成後の直方体の面の粗さ調節を用いた RM 推定方法を提案する。

2 提案手法

LiDAR 付きのカメラで 3 次元点群データを取得する。それぞれのオブジェクト位置の領域内にある点群の集合をクラスタとして、クラスタごとに直方体に近似する。直方体近似はシミュレーションに必要な面を形成するために行う。提案手法は複数のクラスタを 1 つのクラスタとみなして直方体に近似することで、相互作用が起こる直方体の面を削減する。また、クラスタの合成により失われるオブジェクトでの反射・回折・透過などの相互作用による電力減衰を考慮すべく、合成後の直方体の面の粗さを調節することによって反射率を低下させる。合成した直方体の中に存在する点群から直方体の 6 面までの距離をそれぞれ算出し、面との距離が最も短くなる時に点はその面に属すると定め、点から属している面までの距離の標準偏差を点群粗さと定義する。点群粗さの値は一般的に定義される粗さの値より非常に大きいため、点群粗さを適切な粗さに変換する必要がある。そのために、複数のオブジェクトの点群モデルを複数用意し、それぞれ合成前の直方体および粗さを考慮しない場合の受信電力値を真値として、合成後の受信電力値が真値に最も近づくような最適な粗さをシミュレーションによって見つけ出す。点群粗さを粗さに変

換したのち、合成した直方体に粗さを適用させてシミュレーションし、RM 推定を行う。

3 評価結果

壁や天井、床は考慮せず、Fig. ?? の 5 つのオブジェクトが存在する条件でシミュレーションを行う。周波数は 60GHz、オブジェクトの材質を石膏とし、送信点は高さ 2m、受信点は高さ 1.2m で 0.2m 間隔、机を中心に横 10m、縦 10m の範囲で等間隔に配置する (総受信点数 2550 点)。相互作用回数は反射 1 回、回折 1 回、透過 0 回とする。

まず、18 個の異なる点群モデルを用いて導出した点群粗さと粗さの関係式を Fig. 1 に示す。点群粗さは 5.93cm で、関係式より粗さは 0.08cm となる。

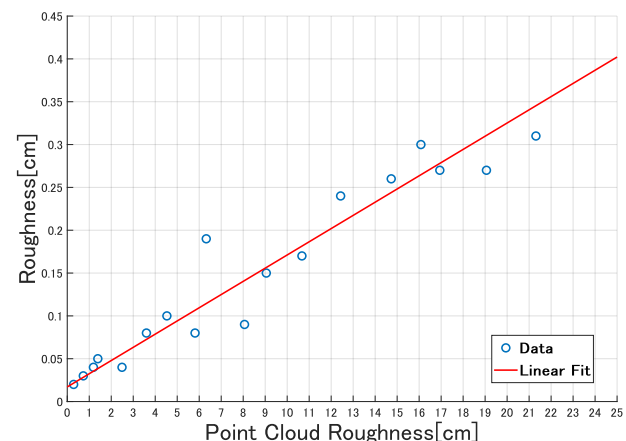


Fig. 1. Point cloud roughness vs. roughness

次に、直方体合成により計算量および RM の推定精度を評価する。直方体合成前の電界計算を行うレイの本数は 6782 本であったが、直方体合成後の本数は 5250 本と削減されることを確認した。また、合成前の 5 つの直方体が存在する場合の受信電力値を真値とすると、合成後の直方体および粗さを考慮しない場合の RMSE は 0.308dB、合成後の直方体および粗さを考慮する場合の RMSE は 0.263dB と、提案手法の方が推定精度が高いことを確認した。

4 まとめと今後の課題

点群による物体平面の粗さ調節を用いた RM 推定方法を提案し、レイトレーシングの計算量の削減や粗さを考慮する有意性を確認した。今後の課題は、材質の誘電率や導電率によって点群粗さと粗さの関係が変わるため、材質ごとの点群粗さと粗さの関係式を導出することである。

参考文献

- [1] Norisato Suga, et al, IEEE Access, March, 2023, pp.24863-24874