

波数空間の電界分布を利用した電波伝搬方向推定

Estimation of Radio Wave Propagation Directions Using Electric Field Distributions in Wavenumber Space

○豊田楽樹¹, 岸本誠也², 大貫進一郎²*Gakuki Toyoda¹, Seiya Kishimoto², Shinichiro Ohnuki²

Abstract: Estimation of radio wave propagation and arrival directions is an important issue in applications such as wireless communication and automotive radar. However, in complex environments such as urban or indoor areas, multiple reflections and diffractions make this estimation difficult. In this study, the electromagnetic fields are calculated using the FDTD method, and FFT is applied to transform them into wavenumber space. This conversion separates the spatial field distribution into components by propagation direction. As a result, the dominant propagation and arrival directions are clearly identified as peaks in the spectrum, thereby enabling quantitative evaluation as well as intuitive understanding, and allowing the propagation process and directional changes to be tracked over time.

電波の伝搬方向や到来方向の推定は、無線通信機器の効率化や車載レーダの死角低減などに応用される重要な技術である。しかし、都市部や屋内などの複雑な環境では、電波の多重反射や回折が発生するため、電波の主要な伝搬方向や到来方向の推定が困難となる。実環境での伝搬方向推定を実験的に行うのは難しく、電磁界シミュレーションでの検討が重要である。

本報告では、波数空間解析によって求めた電界分布を評価することで、電波の伝搬方向や到来方向の推定を行う。本手法は FDTD(Finite-Difference Time-Domain)法による電磁界の時間発展を位相を加味して逐次計算することで、電波の時間変化を解析する^[1]。そして、FDTD法で得られた電磁界データに対してFFT(Fast Fourier Transform)を行うことで波数空間に変換する^[2]。この変換により、複雑な実空間の電界分布を伝搬方向ごとに分離された波数成分として表現できる。その結果、主要な伝搬方向や到来方向が波数空間上のピークとして明確に抽出でき、時間変化を踏まえて定量的に評価するとともに、視覚的にも分かりやすく推定できる。さらに、各時間ステップでの解析により、伝搬の進行過程や経路の変化を逐次的に追跡することが可能となる。図1は解析モデルを示しており、3次元の解析領域内に送信用アンテナと受信アンテナを配置している。送信用アンテナから放射された電波が空間を伝搬し受信アンテナに到来する様子は、図2の実空間の結果から確認できる。さらに、図2のデータを波数空間に変換した結果を図3に示し、送信用アンテナからの伝搬方向を推定できる。

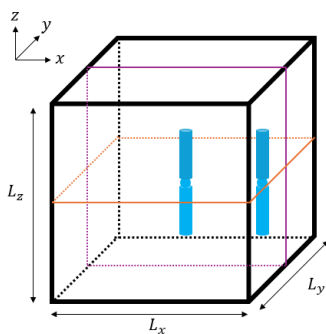


Figure 1. 解析モデル

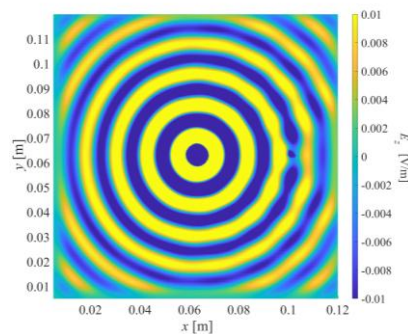


Figure 2. 実空間(xy面)

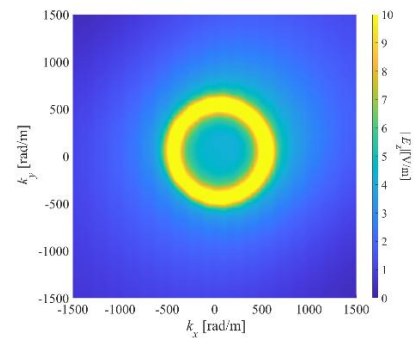


Figure 3. 波数空間(xy面)

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K03961, JP21K17753, JP25K15151 の援助を受けて行われた。

参考文献

[1] A. Taflove, S. C. Hagness : *Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method*, ARTECH HOUSE, pp273-291, 2005.

[2] E. O. Brigham, R. E. Morrow : "The fast Fourier transform", *IEEE Spectrum*, Vol.4, No.12, pp63-70, 1967.

[3] 豊田楽樹, 岸本誠也, 大貫進一郎 : 電波伝搬・到来方向推定に向けた波数空間解析の基礎検討, 2025年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15-04, 2025年.

1 : 日大理工・院(前)・電気, 2 : 日大理工・教員・電気