

平成 27 年 5 月 8 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560478

研究課題名(和文)多層ビル空間内外における移動体通信波の伝搬予測に関する研究

研究課題名(英文)A study on electromagnetic wave propagation estimation around multi-layer buildings

研究代表者

白井 宏 (shirai, hirosi)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：00196594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：急速的に増加した高速移動無線通信の需要に伴い、効率の良い通信基地局の配置や正確な通信電磁波の伝搬予測が望まれている背景を基に、本研究は、大都市空間における高速かつ高品質な情報通信サービスの提供に向けて、都市空間に存在する複雑な多層ビル構造内外における電波伝搬環境の予測を、効率良く行う光線追跡アルゴリズムを開発し、その予測結果を高速かつ正確に行う解析・表示システムの構築を行った。その結果、建物情報のデータベースの作成方法や反射・透過・回折を起こした各種散乱光線の効率の良い計算法や表示法について様々な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Because of recent rapid growth of high speed mobile communication, effective base station installment and accurate electromagnetic wave propagation estimation are required. Especially for urban propagation environment with many high rise buildings, it is difficult to establish secure communication channels for wireless signals. In this research, Shooting and Bouncing Rays (SBR) method has been applied to estimate the scattering field. Special attention has been made to obtain multiple reflected, transmitted, and diffracted rays effectively to save the computational time. Then these results are visualized for better understanding of the wave propagation phenomena.

研究分野：電磁波工学

キーワード：移動体通信 電波伝搬 幾何光学的回折理論 GTD

## 1. 研究開始当初の背景

携帯電話や無線 LAN 等による移動通信が盛んになるにつれ、我々の生活環境の中には電波があふれ、それに伴って使用周波数の逼迫、他システムとの混信や干渉ならびに人体の影響を含めた環境問題等の社会問題も起きている。その中で無線通信システムの設計・構築において、その使用周波数に応じた電波伝搬の特性を調べることは、いわゆる「不感地帯」をなくし効率のよい通信サービスを提供するために重要な要素となっている。電波の伝搬は、その伝搬路付近の自然地形や人工建造物の影響を大きく受ける。そのため、通信障害の予測、あるいは生活環境における電波の強度分布推定には詳細な地理情報も必要となり、都市部における電波伝搬環境は、高層建築物の影響を受けて、ますます複雑なものになってきている[引用文献 1,2]。

特に高層ビルの内外で用いられる高速無線 LAN ネットワークシステムや種々の情報・サービスを統合した近未来のユビキタスネットワークの設計には、従来の平面的な通信回路設計手法をそのまま適用して解析できないので、ビルの多層構造や通信機器の位置関係を考慮した立体的な通信伝搬解析が必要となる。近年、情報通信の高度化、大容量化に伴い、使用周波数が高くなり、波長が散乱体に比べて相対的に小さくなると、以前にも増して物体の局所構造が電波の伝搬に強く影響するようになり、電磁界強度分布の予測は難しくなっている[引用文献 3,4]。

安定した通信チャネルを確保し、移動体通信の不感地帯を減らすことは重要であるけれども、そのための不必要な過度の電波放射は、周りの生活環境や人体への影響も懸念されるため避けるべきである。加えて情報通信セキュリティ上からも不必要な場所への電波漏えいは、避けるべきであり、今後は効率がよくかつ安全なユビキタス・移動体基地局の配置が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究は、大都市空間における高速かつ高品質な情報通信サービスの提供に向けて、都市空間に存在する複雑な多層ビル構造内外における電波伝搬環境の予測を、効率良く行う光線追跡アルゴリズムを開発し、その予測結果を高速かつ正確に行う解析・表示システムの構築を目的とする。

申請者らは、以前から電波の周波数が高いことを念頭に置いた光線理論に基づいた高周波近似解析法について研究し、その適応性を種々の条件に対して調査してきた。光線理論は、電波の散乱現象を、光線の反射、透過及び回折などを用いて表すため、物理的なイメージをつかみやすい。また、光線の散乱は局所的な現象として取り扱うことができるために、大きな空間を対象とするときにも、遠くにある物体の影響を無視して考えることができるため、計算時間を大幅に短縮できる。

以前に助成を受けた科学研究費補助金「ユビキタス情報通信ネットワーク構築のための電波伝搬推定に関する研究(基盤研究 B: H20-22)」において、高層ビルが林立する大都市空間内のビルの形状や構造を考慮した電波伝搬解析システムの開発を行い、幾何光学的な手法による高周波散乱解析手法の有効性を示した。今回の申請研究は、この成果をもとに建物内外の立体的な配置や構造ならびに建築材料を考慮して、さらに精度の高い電波伝搬環境の解析を目指す。

## 3. 研究の方法

多層ビル構造を含む都市空間における電波伝搬を効率的に予測するために必要となる

- (1) 電波の反射や透過に対して重要なパラメータである建物構造や材料を推定する手法の開発
- (2) 効率のよい光線追跡アルゴリズムの開発
- (3) 伝搬の解析結果をわかりやすく可視化するプログラムの開発

を行い、広範囲の推定を高速に行う統合プログラムを構築する。

電波の反射・透過量は、その建造物のビル壁の材質、表面等で変化し、壁材が周波数分散性を持つことが多いので、周波数によっても、また入射角によっても反射、透過率が変化する。都市部の高層建築物の主要部材は、そのほとんどが、鉄筋コンクリートであり、建物内のフロアプランのための間仕切り壁もコンクリート、合板木材やパネル等でできている。こうした壁材等は、移動体通信に用いる高周波の電波に対して、損失誘電体と考えることができる。

申請者らによるこれまでの研究では、建物内の無線 LAN 基地局等からの見通し伝搬を主に考えていたので、壁材の損失により内部透過の影響は少ないとして、建物壁による多重反射を考えていた。しかし比較的薄いパネル材などについては、材質内の透過量も多く、壁内の多重反射や多重透過の効果の検討も必要となることを示した。

多層空間内での伝搬、あるいは屋外から屋内への透過の場合には、天井、床、壁、窓を透過した伝搬が主となることから建築材料の内部構造や厚さを把握し、それらの電気定数を測定することによって伝搬量を推定することになる。高速の無線通信の場合には、直接届く波に対して、多重反射・透過することにより遅延して到達する波の影響を知ることが重要であり、それらをすべて合成した波として伝搬損を推定するのではなく、遅延も考えた伝搬状況を知る必要がある。この場合、連続波ではなく、むしろパルス波による通信と考えたほうが便利である。パルス波は、その波の持つ周波数スペクトルが広いので、ある物質の反射・透過を考えたとき、一度の測定でそのパルス波のスペクトル帯域の特性が取得できることになり、都合がよい。また材料中の不均質な他材料(例えば、コンクリート中

の鉄筋)や内部構造(中空構造)等を検出し、それらの影響を時間差等から分離することができる。こうして得られた多層空間構造データを基にして、電波伝搬量を高速に推定する方法を構築する。

#### 4. 研究成果

建築物の壁によって反射・散乱された電波を逐次、電界強度を求めながら追跡する解析アルゴリズムを具体的なプログラムに組み込むことによって、簡単な形状をもつ建築物による散乱解析を行い、その結果を可視化した。建築物の壁内の多重反射効果を一回反射波や一回透過波に集約的に組み入れて計算する方法を採用し、計算時間を大幅に削減することが可能であることが示したが、それらの効果がどれほど最終的な合成界に必要なか、確認する必要があった。また建物内へ透過する伝搬波の光線追跡解析を行うアルゴリズムが完成した。

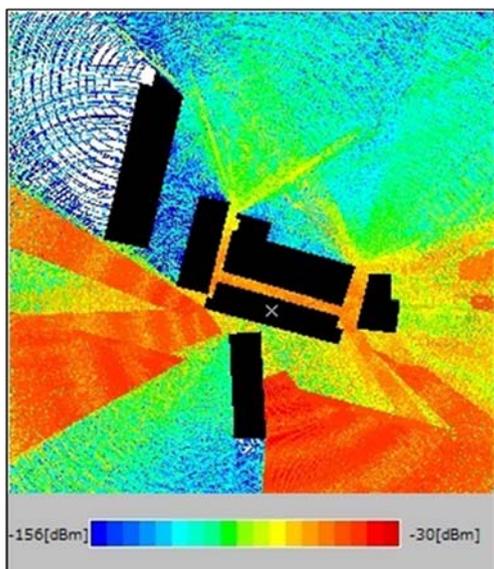


図1 地理情報と組み合わせた無線基地局からの電波伝搬推定例

図1は無線基地局から放射された電波が、建物群の外壁で多重反射や回折波を繰り返しながら伝搬していく様子を推定した一例であり、また図2は建物がコンクリートで作られていることを想定して、多重透過していく様子を含めて伝搬推定した例である。ここで作成したプログラムは、現在のところ、反射解析と透過解析が別々の形で解析されているので、これらの解析を統合し、ひとつのプログラムで実行できるようにする必要がある。広域を電波伝搬解析するためには、まだ計算時間がかかるので、高速な追跡手法について検討を行い、光線追跡の間隔を粗くした場合に、観測されない光線をどのように補間することができるかについての知見を収集した。現在のところ、建物はすべて方形をした場合についての解析に限定している。最近の都市

部の高層建築物は方形とは限らず、丸みを帯びたものを含めいろいろな形状がある。こうした建造物は多角形近似をすることにより、現プログラムでも適用可能であるが、建物の表面曲率が大きくなると、精度が悪くなる可能性もあるので、曲率のある建物形状の扱いについてさらに検討する必要がある。

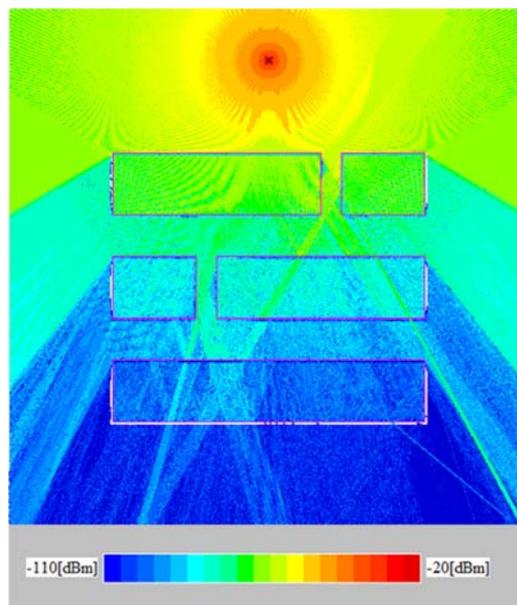


図2 地理情報と組み合わせた無線基地局からの電波伝搬推定例2

#### <引用文献>

- [1] H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel, and H. H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," Proc. of the IEEE, 82(9), pp.1333-1359, 1994.
- [2] H. L. Bertoni, Radio Propagation for Modern Wireless Systems, Prentice Hall, NJ, USA, 2000.
- [3] M. F. Catedora, J. Perez, F. Saez de Adana, and O. Gutierrez, "Efficient ray-tracing techniques for three dimensional analyses of propagation in mobile communications: application to pico-cell and micro-cell scenarios," IEEE Antennas Propagation Magazine, 40(2), pp.15-28, 1998.
- [4] M. F. Iskander and Z. Yun, "Advances in propagation modeling of wireless communications environments and systems," IEICE Trans. on Electronics, E87-C(9), pp.1441-1448, 2004.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 40 件)

- ① R. Sato and H. Shirai, “Efficient reflection/transmission coefficient by two-layered dielectric slab for accurate propagation analysis,” Proc. of 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Tokyo (EMC’ 14/Tokyo), 査読有, 2014, CDROM.
- ② R. Sato and H. Shirai, “Reflection/transmission coefficient for two-layered dielectric slab with internal multiple reflections,” Proc. of 2014 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, 査読有, 2014, CDROM.
- ③ H. Hasegawa, H. Shirai, and R. Sato, “E polarized plane wave diffraction by a wide and thick slit,” Proc. of 2014 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, 査読有, 2014, CDROM.
- ④ H. B. Chu, H. Shirai, and C. D. Ngoc, “Analysis and Design of Antipodal Vivaldi Antenna for UWB Applications,” Proc. of 2014 IEEE International Conference on Communications and Electronic, 査読有, 2014, pp.391-394.
- ⑤ H. Shirai and R. Sato, “Ray-mode conversion method for high frequency scattering analysis,” Proc. of 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA14), 査読有, 2014, CDROM.
- ⑥ R. Sato and H. Shirai, “A study on electromagnetic plane wave scattering by a crack on conducting plane,” Proc. of 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA14), 査読有, 2014, CDROM.
- ⑦ 白井 宏, “電磁波伝搬の三次元可視化表現,” 電子情報通信学会和文論文誌 C, 査読有, J97-C, 2014, pp.335-341.
- ⑧ K. Fujita and H. Shirai, “Theoretical Limitation of the Radiation Efficiency for Homogenous Electrically Small Antennas,” IEICE Trans. Electron. 査読有, J98-C, 2015, pp.2-7. 10.1587/transele.E98.C.2

〔学会発表〕 (計 38 件)

- ① R. Sato and H. Shirai, “Efficient reflection/transmission coefficient by two-layered dielectric slab for accurate propagation analysis,” 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Tokyo, 2014年 05月 16日, Hitotsubashi Hall,

Tokyo Japan

- ② R. Sato and H. Shirai, “Reflection/transmission coefficient for two-layered dielectric slab with internal multiple reflections,” 2014 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation 2014年 7月 8日, TN USA
- ③ H. Hasegawa, H. Shirai, and R. Sato, “E polarized plane wave diffraction by a wide and thick slit,” 2014 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, 2014年 7月 10日 TN USA
- ④ H. B. Chu, H. Shirai, and C. D. Ngoc, “Analysis and Design of Antipodal Vivaldi Antenna for UWB Applications,” 2014 IEEE International Conference on Communications and Electronics, 2014年 7月 31日, Danan, Vietnam
- ⑤ H. Shirai and R. Sato, “Ray-mode conversion method for high frequency scattering analysis,” 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, 2014年 8月 4日, Aruba
- ⑥ R. Sato and H. Shirai, “A study on electromagnetic plane wave scattering by a crack on conducting plane,” 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, 2014年 8月 4日, Aruba

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

以下のホームページ:

<http://www.elect.chuo-u.ac.jp/shirai/>  
に研究業績を含めた研究紹介を掲載している。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白井 宏 (Shirai Hiroshi)  
中央大学・理工学部・教授  
研究者番号: 00196594

(2) 研究分担者

佐藤 亮一 (Sato Ryoichi)  
新潟大学・人文社会・教育科学系・教授  
研究者番号: 00293184