

学位被授与者氏名	李 昌權 (LEE CHANGKWON)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 4 号
学位授与年月日	平成 1 5 年 3 月 2 5 日
論文題目	Field Estimation in Closed Space Based on Ray Tracing Method
論文題目 (英訳または和訳)	レイ・トレース法による閉じた空間内電界強度推定
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田一徳 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 松永利明 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 行田尚義 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 今村正明
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (英文)	<p>This thesis is concerned with electromagnetic field estimation in the closed space such as tunnel, underground and so forth. The analysis is based on the ray tracing method (RTM), which is an approximate numerical method on the basis of the principle of geometrical optics. Application of RTM is simple but the result is effective when the dimension of scattering objects is large enough compared with the wavelength. The main objects of this thesis are that first we check the accuracy of RTM in comparison with other methods and next we apply it to field estimation in tunnel and underground.</p> <p>Chapter 1 describes the background of this investigation. Mobile communications are now playing an important role in the information-oriented society where everybody wants to communicate with anyone everywhere at any time. As a result it has become important to study the electromagnetic wave propagation characteristics in the closed space such as tunnel, underground, office room and others.</p> <p>In chapter 2 finite volume time domain (FVTD) method is summarized. The FVTD method is a purely numerical method and its advantage is flexible applicability to complicated structure while its disadvantage is requirement of much computer memory. This FVTD method is used to check the accuracy of RTM in chapter 4 when it is applied to uniform 2D tunnels with arbitrary cross section.</p> <p>In chapter 3 the ray-searching algorithm based on the imaging method is summarized. First curved walls are approximated by combination of flat plates in order to determine images easily, and next images of these plates, including higher order of images, are determined step by step. The main feature of this method is described as it yields accurate rays but it takes much computation time especially for complicated 3D structures. A few procedures are proposed to reduce computation time.</p> <p>In chapter 4 the accuracy of the RTM is discussed in comparison with the results obtained by other methods for 2D tunnels with arbitrary cross section. First the RMT solutions are compared with the rigorous solution for a circular tunnel, and next they are compared with the FVTD solutions for rectangular and semi-circular tunnels. It is shown that the RTM solutions allows considerably accurate numerical results if the plate width and the curvature radius are greater than 20λ.</p> <p>In chapter 5 RTM is applied to field estimation in the uniform tunnel with arbitrary cross section as well as in the underground with parallel ceiling and floor. It is demonstrated that these two types of closed structures are quasi-3D and then the ray tracing can be completed in almost 2D fashion, which saves much computation time. Numerical results are in good agreement with the experimental data.</p> <p>Chapter 6 is the conclusion of this thesis and some future problems are described.</p>
論文内容の要旨 (和文)	この論文はトンネルや地下街等の閉じた空間内電界強度推定について述べている。解析には幾何光学原理に基づく近似的なレイ・トレース法を用いている。その応用は簡便

であるが、散乱体の寸法が波長より十分大きいとき有効となる。この論文の主要な目的は、まず他の手法との比較によりレイ・トレース法の精度を考察すること、次にトンネルや地下街等の閉じた空間内の電界強度推定に応用することである。

第1章は本研究の背景を述べている。いつでもどこでも誰とでも通信したいとの要求が強くなるこの情報化社会にあって、移動体通信の役割は大きい。その結果、トンネル、地下街、オフィス等の閉じた空間内電波伝搬に関する研究が重要となってくる。

第2章ではFVTD法の概要を述べている。この手法は完全な数値解法であり、その長所は複雑な形状に柔軟に適用できること、一方短所として大量のコンピュータメモリを要することである。この手法は、4章において任意形状断面を持つ2次元トンネルに対して適用し、レイ・トレース法の精度を調べるのに用いている。

第3章ではイメージ法に基づくレイ探索アルゴリズムの概要を述べている。まずイメージの決定を容易に行うため、曲面からなる壁面を複数の平板で近似し、次の高次のものまで含めてイメージを一步一步決定して行く。この手法の特徴としては、高精度のレイを与える一方、複雑な3次元構造に対しては計算時間が大幅に増大することである。計算時間短縮のためのいくつかの方法も述べている。

第4章ではレイ・トレース法の精度について、任意断面を持つ2次元トンネルに対して、他の手法との比較によって議論している。まず円形トンネルに対して厳密解との比較を行い、次に半円トンネルと矩形トンネルに対して、FVTD解との比較を行っている。その結果、レイ・トレース解が平板の寸法や曲率半径が 20λ 以上のとき、精度の良い結果を与えることを明らかにした。

第5章では、任意形状の断面をした一様トンネルおよび床と天井が平行な地下街等にレイ・トレース法を適用している。これらの構造は3次元ではあるが、準3次元と言う方が相応しい場合であり、2次元の場合のレイ探索法がほぼそのまま応用できる。従って計算時間は大幅に短縮可能となる。また、レイ・トレース法の計算結果と実験結果を比較したところ、両者が比較的良く一致することが判明した。

第6章はこの論文のまとめである。また、今後に残された課題についても述べている。

論文審査結果

この論文では、トンネルや地下街等の閉じた空間における電波伝搬特性の推定を、レイ・トレース法に基づき効率的に行うため、まず2Dトンネルを対象にその精度について考察し、次に3Dトンネルや地下街構造に対して計算時間の短縮化を図ることを目的とした理論的研究を行った。この研究の主要な結果は次のとおりである。

幾何光学的近似の一つであるレイ・トレース法は、波長より十分大きい寸法の散乱体に有効である。しかし、トンネル構造の散乱体については、未だ不明な点が多かった。そこで2Dトンネルについて、円形の場合の厳密解や任意形状の場合のFVTD数値解との比較検討を行った。その結果、トンネル壁が平面構造のときその寸法が20波長程度で、また曲面壁のときその曲率半径が20波長以上で、レイ・トレース法が精度の良い数値解を与えることを明らかにした。

実用的観点から重要な、3Dトンネルや地下街構造については、レイ・トレース法の計算時間のほとんどがレイの探索に費やされるので、構造が複雑になるほど計算時間は増大する。この問題を解決するため、この研究では計算時間短縮化のアルゴリズムを提案した。この方法は、任意形状断面を持つ一様トンネルや天井と床が平行な地下街に適用できる。まず2D的にレイを探索し、次に構造の対称性を利用して3Dレイに拡張し、最後に3D的に電界強度を計算するものである。この手法により計算時間を大幅に短縮することが可能となった。また、この手法の有効性を確かめるため、一様トンネルとキャンパス内廊下における電界強度分布について、計算値と実験値との比較を行い、両者が良く一致することを確認した。このことから、レイ・トレース法が閉じた空間内電波伝搬推定に有効な解析法であることが確かめられた。学位審査委員会は、これらの研究結果が学位論文に値すると判断した。

学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び数値計算に関する質問があったが、概ね適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験において、学位論文提出者が、学位論文の内容に関して学識を有し、また研究能力を備えていることを確認した。語学能力については、提出論文が英文であることから特に問題なしと判断した。

以上の結果から、学位審査委員会は、この論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。

