

学位被授与者氏名	武末 正文 (Masafumi Takematsu)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 4 1 号
学位授与年月日	平成 2 7 年 3 月 2 0 日
論文題目	Field Computation Time Reduction for Discrete Ray Tracing Method
論文題目 (英訳または和訳)	離散型レイ・トレース法における電磁界計算時間の短縮
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 バロリ レオナルド 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 前田 洋 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 仙波 卓弥
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 (和文)	<p>無線通信ネットワークシステムの設計や建設にあたっては、複雑な伝搬環境下における電波伝搬特性について、理論的な解析を行っておくことが極めて重要である。地表面はいわゆるランダム粗面とみなされるが、このランダム粗面上を伝搬する電波伝搬特性を解明することを目的に提案された計算法が離散型レイ・トレース法 (DRTM) である。DRTM を従来のレイ・トレース法 (RTM) と比較すると、その計算時間を大幅に短縮できることが特徴である。しかし DRTM を用いても、長距離伝搬の解析にはまだ多くの計算時間を必要とすることは否めない。</p> <p>そこでこの論文では、DRTM を使って長距離伝搬の解析を行うために、さらなる計算時間の短縮を可能にするための新しいアルゴリズムを提案し、そのアルゴリズムに基づいて得られた数値解析結果の精度について評価を行っている。DRTM においては粗面の離散化とレイ探索の離散化を行うが、粗面の形状を離散化によって損なわないようにすることが、数値計算の精度を保つ上で重要となる。この論文で提案するアルゴリズムでは、電磁波回折現象の効果が強く現れる山頂等のエッジポイントでサンプリング間隔を小さくして解の精度を保ち、逆に平坦な箇所ではその間隔を大きくすることによって計算時間の短縮化を図っている。</p> <p>この論文は第 1 章から第 8 章で構成されている。第 1 章では、この研究の時代及び社会的な背景について触れ、本研究の目的について記述している。</p> <p>第 2 章では、DRTM の基本的な計算理論と計算方法について記述している。第 3 章では、厳密解が与えられている円柱導体からの反射・回折問題を取り上げ、厳密解と DRTM に基づく数値計算結果とを比較することによって、DRTM の精度について明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、地理情報システム (GIS) から実際の標高データを取り込み、現実的な地表面に対して DRTM を適用することによって、長距離伝搬特性の解析を行っている。</p> <p>第 5 章では、伝搬特性解析におけるエッジポイント近傍の回折現象の重要性について記述している。山頂等のエッジポイント近傍では細かいサンプリングが必要であること、また比較的平坦な地表面では粗い離散化が可能なこと、さらにエッジポイントの位置決めには細心の注意を払わなければならないこと等について議論を進めている。</p> <p>第 6 章では、ベクトル内積を使った DRTM の修正アルゴリズムを提案している。この論文で導入したアルゴリズムによって、地表面の形状に基づいてプレート長を自動的に決定できるので、従来の一定幅の場合と異なって可変のプレート長とすることが可能となった。</p> <p>第 7 章では、修正アルゴリズム導入後の計算結果について議論し、計算結果の精度を保ちつつ計算時間の短縮が実現できることを明らかにした。</p> <p>第 8 章はこの論文のまとめであり、この研究の主要な結果と今後の課題について記述している。</p>
論文内容の要旨 (英文)	Estimation of electromagnetic wave propagation along various types of terrestrial environments is significantly important for designing and constructing efficient radio communication network systems. Discrete ray tracing method (DRTM) was proposed in order to numerically analyze propagation characteristics along random rough surfaces (RRSs) as well as in urban areas. Although DRTM enables us to save much

computational time for electric field evaluations compared with the conventional ray tracing method (RTM), it still requires a certain amount of computational time to evaluate electric field distributions in case of long distance propagation.

In order to reduce computational time further for analyzing the long distance propagation, we have proposed a new algorithm for DRTM by introducing a variable plate-length discretization method for RRSs to keep accuracy of terrestrial surface profiles and also of electric field intensities. The new algorithm can change plate-length data automatically based on the inner product of vectors derived from the surface profiles: for example, a short plate-length is applied near a mountain summit and a long plate-length is applied for a planar area.

The purpose of this thesis is to review the DRTM and to modify it as an application program so that we can deal with the long distance propagation problems in particular. To achieve our goal, we have implemented the new algorithm to the conventional DRTM to reduce computational time maintaining numerical accuracy. It is demonstrated that the modified DRTM provides good numerical results both in computational time and accuracy.

This thesis consists of 8 Chapters. In Chapter 1, we have described introduction and background of this study. In Chapter 2, we have reviewed DRTM and discussed how to discretize RRSs and rays. In Chapter 3, we have shown some numerical results to check the accuracy of DRTM focusing on the number of discretizing plates of a conducting cylinder. In Chapter 4, we have introduced terrestrial data by use of GIS, and we have estimated field distributions in case of long distance propagation corresponding to a realistic situation.

In Chapter 5, we have discussed diffraction edge points and sampling rate for DRTM. It is found that intense sampling rate is needed near the edge point and less sampling rate is needed in the planar area. In Chapter 6, we have proposed a modified DRTM by introducing variable plate-length for RRS profiles. It is found that we can reduce computational time not only for searching rays but also for computing electric field intensities by applying the proposed method. In Chapter 7, we have checked computational time and accuracy of the numerical results based on the proposed algorithm. It is demonstrated that the proposed method can save much computation time with a good numerical accuracy. In Chapter 8, we have concluded this research and we have also described our future work.

論文審査結果

知能情報システム工学専攻博士後期課程 3 年「武末正文」氏が提出した学位論文を審査し、また最終試験を行ったのでその結果について報告する。

(学位論文審査の結果)

論文題目は“Field Computation Time Reduction for Discrete Ray Tracing Method”である。論文目録は学術論文 5 編 (第 1 著者 2 編), 国際会議論文 7 編 (第 1 著者 4 編) となっている。本論文の研究内容と目的は、携帯電話、地上デジタル波放送、センサネットワーク等の無線通信の急速な利用の拡大と関連して、山岳による電磁波の回折現象や、丘陵地及び海面等のランダム粗面とみなせる地表面での電波伝搬特性について数値的な予測を行うことである。その実現に向けて、数値結果の精度を失うことなく計算時間の短縮化を図る方法について考究している。

この論文は第 1 章から第 8 章で構成されている。第 1 章では、研究の背景と目的について述べている。第 2 章では、DRTM (Discrete Ray Tracing Method) について記述している。第 3 章では、DRTM の数値精度について議論している。第 4 章では、DRTM を適用して長距離伝搬特性の解析を行っている。第 5 章では、伝搬特性解析において山頂付近の回折現象の重要性について述べている。第 6 章では、内積を使って離散点を自動的に決定できる修正 DRTM アルゴリズムを提案している。第 7 章では、修正アルゴリズム導入の有効性について議論している。第 8 章はこの論文のまとめであり、本研究の主要な結果と今後の課題について述べている。

この学位論文の新規性とその成果は次のようにまとめられる。第 1 は、DRTM が従来の RTM の計算時間を短縮するために開発された計算方法であったが、本研究では隣接プレートの成す角度 (内積より計算) によって自動的に標本点を求めることによって、数値精度を損なうことなくさらに DRTM による計算時間の短縮化に成功した

	<p>ことである。第2は、厳密解との比較によってDRTM解の精度について考察を加えたことによって、DRTM適用の指針が明確に与えられたことである。第3は、粗面に離散化法に対して数値的な誤差評価を行い、離散点間隔のための規格化相関長を用いた数値的な基準を与えたことである。</p> <p>以上の研究成果により、審査委員会は提出論文が学位論文に適合すると判定した。</p> <p>(最終試験の結果)</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の理論的および応用に関する質問があったが、それらの質問に対してすべて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、学位論文に関連する基本的な知識を有しており、研究を進めていくための研究能力と語学（英語）の基礎学力も十二分に備えていると判断した。</p> <p>以上の理由により、学位審査委員会は「武末正文」氏の最終試験結果を合格と判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 12編1冊</p> <p>(学術論文5編：第一著者2編)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. M. Takematsu, J. Honda, Y. Kimura and K. Uchida : "Method for Reduction of Field Computation Time for Discrete Ray Tracing Method", IEICE TRANS. ELECTRON., VOL.E97-C, No.3, pp.198-206, (2014-03).</li> <li>2. M. Takematsu, K. Uchida and J. Honda: "Investigation of observational plate length and diffraction point for DRTM", Int. J. Space-Based and Situated Computing, Vol. 3, No. 4, pp.185-192, (2013-12)</li> <li>3. K. Uchida, M. Takematsu, J.H. Lee and J. Honda: "A particle swarm optimization algorithm to generate inhomogeneous triangular cells for allocating base stations in urban and suburban areas", Int. J. Space-Based and Situated Computing, Vol. 3, No. 4, pp.207-214, (2013-12).</li> <li>4. J. Honda, K. Uchida and M. Takematsu: "Analysis of Field Intensity Distribution in Inhomogeneous Propagation Environment Based on Two-Ray Model", Journal of Mobile Multimedia, Vol. 8, No. 2, pp.88-104, 2012.</li> <li>5. J. Honda, K. Uchida and M. Takematsu: "Field estimation for terrestrial digital broadcasting in Western part of Fukuoka", Int. J. Space-Based and Situated Computing, Vol. 1, Nos. 2/3, pp.189-196, (May 2011)</li> </ol> <p>(国際会議7編：第一著者4編)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. K. Uchida, S. Nogami, M. Takematsu and J. Honda: "Tsunami Simulation Based on Dijkstra Algorithm", 2014 International Conference on Network-Based Information Systems, Salerno, Italy, pp.114-119, (2014-09).</li> <li>2. .K. Uchida , M. Takematsu and Junichi Honda: "A Discretization Criterion for Generating Random Rough Surface Based on Convolution Method", 2014 Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, Birmingham, UK, pp.307-312, (2014-07).</li> <li>3. M. Takematsu, K. Uchida and J. Honda: "Investigation of Scattered H-wave Based on DRTM", The 16th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS 2013), Gwangju, Korea, pp.513-517, (2013-09).</li> <li>4. M. Takematsu, K. Uchida and J. Honda:" Relation between Discrete Points of</li> </ol>

DRTM and Diffraction Points", 2012 Seventh International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, Victoria, pp.482-487 (2012-11)

5. K. Uchida, M. Takematsu and J. Honda: "An Algorithm to Estimate Propagation Parameters Based on 2-Ray Model", The 15th International Conference on Network-Based Information Systems (Proceedings of NBiS-2012), Melbourne, pp.556-561 (2012-09)
6. M. Takematsu, J. Honda and K. Uchida: "On Accuracy of Discrete Ray Tracing Method in Comparison with Rigorous Solutions", Proc. of IEEE AINA-2012, Fukuoka, Japan, pp.633-638, (2012-03).
7. M. Takematsu, J. Honda and K. Uchida: "Electric Field Intensity Computed by DRTM in Relation to the Number of Plate Observation Points and Frequency", Proceedings of the 2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, pp.412-417, (2011-11).