

学位被授与者氏名	本田 純一 (Junichi Honda)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 27 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 20 日
論文題目	Analysis of Propagation Characteristics and Estimation of Radio Communication Distance along Random Rough Surface
論文題目 (英訳または和訳)	ランダム粗面に沿う伝搬特性の解析と無線通信距離の推定
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 バロレオルト 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 (和文)	<p>近年、無線通信技術の一つであるセンサネットワークが注目されている。センサネットワークは、無線機能を備えたセンサ機器同士が通信を行い、自動的にネットワークを構築し、情報伝達を可能としている。センサ機器の設置される環境は室内などの閉空間や市街地に限らず、砂漠や海面といった複雑な伝搬環境も考えられる。後者に示されるランダムとみなせる粗面に設置されたセンサ機器からの無線通信は、粗面からの乱反射により大きな影響を受ける。従って、まずそのような物理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重要となっている。</p> <p>この論文では、複雑な電波伝搬環境、特に砂漠や海面などランダム粗面とみなせる地表海面伝搬における電波伝搬特性を解明することを目的としている。まず、FVTD 法と実験値との比較により電磁界の統計量について議論を進める。次に離散型レイ・トレース法に基づいた電磁界の数値シミュレーションを行い、ランダム粗面に沿う無線機の通信距離の推定式を提案する。</p> <p>この論文は第 1 章から第 7 章で構成されている。第 1 章では、近年の無線通信技術の動向と問題点について触れ、本研究の目的について記述している。</p> <p>第 2 章では、ランダム粗面の生成アルゴリズムについて議論を進めている。ランダム粗面生成法として直接 DFT 法と畳み込み法を紹介する。また、通常ランダム粗面は均質でない場合が多いので、本研究では畳み込み法を応用した不均質ランダム粗面の生成アルゴリズムを提案する。</p> <p>第 3 章では、FVTD 法の定式化について記述し、FVTD 法によるランダム粗面に沿う電波伝搬特性の数値解析結果を示す。本論文では、計算時間の短縮のため、通常よく用いられる PML よりも大量の計算機メモリ縮小が可能な外挿吸収条件を採用している。第 4 章では、ランダム粗面上の電磁界統計量について FVTD 法による数値シミュレーションとコンクリートモデルを使った実験による測定値との比較を行っている。ランダム粗面上の電磁界統計量が市街地伝搬で良く知られている仲上・ライス分布で表現出来ることを計算と実験から明らかにする。</p> <p>第 5 章では、離散型レイ・トレース法(DRTM)を用いてランダム粗面に沿う電磁界の数値計算を行う。ランダム粗面に関するパラメータ、すなわち相関長と高さの標準偏差によってランダム粗面に沿う電磁界にどのような影響を及ぼすのかを考察する。第 6 章では、ランダム粗面に設置された無線機間の通信距離の推定式を提案している。送信機の出力電力と受信機の感度を設定すると容易に無線機間の通信距離を推定することが出来ることを明らかにしている。</p> <p>第 7 章はこの論文のまとめである。この研究の優位点と今後の方向性について記述している。</p>
論文内容の要旨 (英文)	Recently, the sensor network technologies among many wireless communication systems have attracted many researchers' interest. Sensor devices collect physical information and construct networks by communicating with each other. They are usually distributed not only on the wall or floor in closed space but also in open space such as complicated propagation environments like a dessert, hilly terrain, forest, sea

surface and so on. Since the latter terrestrial surfaces are considered to be statistically random, the radio waves from the sensors located on the surfaces are much influenced by diffused reflection from random rough surfaces (RRSs). As a result, it is important to investigate the propagation characteristics along RRSs in order to construct an efficient and reliable sensor network system.

The purpose of this thesis is to investigate propagation characteristics along RRSs. At first, a statistical property of electromagnetic field distribution above RRS is discussed not only theoretically but also experimentally. Finite Volume Time Domain (FVTD) method is used for numerical simulation. Next, Discrete Ray Tracing Method (DRTM) is introduced for analyzing electromagnetic field distributions with long distance, and an estimation formula for radio communication distance is proposed. The formula enables us to easily estimate the communication distance when the input power and receiver sensitivity are selected.

This thesis consists of 7 Chapters. In Chapter 1, introduction of this study is discussed.

In Chapter 2, two types of generation methods for homogeneous RRSs are introduced: one is direct DFT method, and the other is convolution method. Based on the convolution method, we also propose a generation method for inhomogeneous RRSs.

In Chapter 3, the formulation of FVTD (Finite Volume Time Domain) method is described. In this study, an Extrapolated Absorbing Boundary Condition (EABC) is used as an absorbing boundary condition to save computer memory. In Chapter 4, statistical properties of electromagnetic field distributions above RRSs are discussed from view points of theory and experiment. It is shown that the statistics of electromagnetic fields above RRSs can be expressed in terms of Nakagami-Rice distribution which is well known as multi path model in urban area.

In Chapter 5, the principle of DRTM is described. In Chapter 6, estimation algorithm for radio communication distance is discussed. We can easily estimate radio communication distance along RRSs when the input power and receiver sensitivity are selected.

In Chapter 7, conclusion of this thesis and some future problems are described.

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「本田純一」君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“Analysis of Propagation Characteristics and Estimation of Radio Communication Distance along Random Rough Surface”である。論文目録は学術論文 4 編 (第 1 著者 3 編), 学術著書 1 編 (第 2 著者), 国際会議論文 1 8 編 (第 1 著者 6 編), 研究会技術報告 2 2 編 (第 1 著者 7 編) となっている。本論文の主要な内容は、センサネットワークの普及と関連して、電磁波が砂漠、丘陵地や海面等のランダム粗面とみなせる地表面に沿って進行するときの伝搬特性の解明である。計算機シミュレーションに基づいた議論を行っており、電磁界の数値解析法として、狭い空間領域では FVTD (Finite Volume Time Domain) 法を適用し、広い空間では DRTM (Discrete Ray Tracing Method) を用いている。

本論文は、第 1 章から第 7 章から成る。第 1 章では、本論文の研究背景および研究目的について述べている。第 2 章では、ランダム粗面の生成法について述べている。第 3 章では、FVTD 法について述べている。第 4 章では、ランダム粗面上の電磁界分布の統計量について、計算及び実験の両面から議論している。第 5 章では、DRTM について述べている。第 6 章では、ランダム粗面に沿う無線通信距離の推定式の提案を行っている。第 7 章は本論文のまとめ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 はランダム粗面に沿って伝搬する電磁界分布が、統計的に仲上・ライス確率分布に従うことを計算と実験の両面から明らかにしたこと、第 2 はランダム粗面に沿う電磁波の伝搬特性が振幅補正

	<p>値 α と伝搬距離のオーダー β によって精度良く記述できることを明らかにし、その結果として簡潔な形で無線通信距離の推定式を導出したことである。これらの研究の発表に対して、映像情報メディア学会から 4 回、電子情報通信学会から 1 回の表彰を受けたことは高く評価できる。</p> <p>以上の理由により、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>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「本田純一」君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 45編1冊</p> <p>(学術論文)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “Estimation of Radio Communication Distance along Random Rough Surface”, IEICE Trans. Electron., Vol. E93-C, No. 1, pp. 39-45, January 2010. Authors: <u>J. Honda</u>, K. Uchida and K.Y. Yoon 2. “ランダム粗面上電磁界の統計量について”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-B, No. 12, pp. 1626-1635, December 2010. 著者: <u>本田純一</u>, 内田一徳, 横田真吾, 松永利明, 尹光烈 3. “An Algorithm for Rough Surface Generation with Inhomogeneous Parameters”, Journal of Algorithms & Computational Technology, Vol. 5, No. 1, March 2011. (to appear) Authors: K. Uchida, <u>J. Honda</u> and K.Y. Yoon <p>(学術著書)</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. “Estimation of Propagation Characteristics along Random Rough Surface for Sensor Networks”, in Book “Wireless Sensor Networks”, ISBN 978-953-7619-X-X published by INTECH, December 2010. Authors: K. Uchida and <u>J. Honda</u> <p>(国際会議: 第一著者6編)</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. ”FVTD Analysis of Propagation Characteristics in Relation to Random Rough Surface Spectrum”, Proceedings of ISAP 2008, pp. 1346-1349, October 2008. Authors: <u>J. Honda</u>, K. Uchida 6. ”Discrete Ray-Tracing Method (DRTM) Analysis of Propagation Characteristics along Random Rough Surface in Relation to Development of Wireless Sensor Network”, Proceedings of RWS 2009 (2009 IEEE Radio and Wireless Symposium), pp. 248-251, TU2P-4, January 2009. Authors: <u>J. Honda</u> and K. Uchida 7. ”Statistics Analysis of Electromagnetic Fields above Random Rough Surface”, Proceeding of KJJC-AP/EMC/EMT 2009, pp. 315-318, May 2009. Authors: <u>J. Honda</u>, K. Uchida and K.Y. Yoon 8. ”DRTM Analysis of Propagation Characteristics along Inhomogeneous Random Rough Surface”, Proceedings of ISAP 2009, pp. 393-396, October 2009. Authors: <u>J. Honda</u>, K. Uchida and K.Y. Yoon 9. “Modified Estimation Algorithm for Radio Communication Distance along

Random Rough Surface”, Proceedings of BWCCA 2010, pp. 167-174, November 2010.

Authors: J. Honda, K. Uchida and K.Y. Yoon

10. “Theoretical and Experimental Study on Statistics of Electromagnetic Fields above Concrete Random Rough Surface Model”, Proceedings of ISAP 2010, pp. 260-263, November 2010.

Authors: J. Honda, K. Uchida, Shingo Yokota, Toshiaki Matsunaga and K.Y. Yoon

(研究会技術報告：第一著者7編)

11. “ランダム粗面スペクトルの伝搬特性に及ぼす影響”, 電気学会研究会資料, EMT-06-128, pp. 65-70, October 2006.
筆者：本田純一, 森川立麻, 鄭飛, 中川真弓, 藤井泰憲, 内田一徳
12. “完全導体とみなせるランダム粗面上の電波伝搬解析”, 映像情報メディア学会技術報告, BCT2007-16, Vol. 31, No. 1, pp. 61-64, January 2007. (優秀賞)
筆者：本田純一, 内田一徳
13. “ランダム粗面に沿う電磁界の統計量について I”, 電気学会研究会資料, EMT-07-139, pp. 7-12, October 2007.
筆者：本田純一, 森川立麻, 鄭飛, 中川真弓, 藤井泰憲, 内田一徳
14. “FVTD 法を用いた海面上の電波伝搬解析”, 映像情報メディア学会技術報告, BCT2008-7, Vol. 32, No. 1, pp. 25-28, January 2008. (優秀賞、優秀研究発表賞)
筆者：本田純一, 森川立麻, 内田一徳
15. “ランダム粗面パラメータと伝搬特性の関係について”, 電気学会研究会資料, EMT-08-123, pp. 55-59, November 2008.
筆者：本田純一, 内田一徳, 藤井泰憲, 中川真弓
16. “DRTM による任意形状地表面に沿う電波伝搬シミュレーション”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 3, pp. 17-20, BCT2009-5, January 2009.
筆者：本田純一, 玉木太郎, 内田一徳
17. “ランダム粗面に沿う電界強度分布の近似表現に関して”, 電気学会研究会資料, EMT-09-127, pp. 21-24, November 2009. (学生優秀発表賞)
筆者：本田純一, 内田一徳

その他

(国際会議：共著13編)

(研究会技術報告：共著15編)