

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 11 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560487

研究課題名(和文)不均質ランダム粗面上電波伝搬のモデル化とその応用

研究課題名(英文) Modeling of Propagation along Random Rough Surface and Its Application

研究代表者

内田 一徳 (Uchida, Kazunori)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：50099024

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：この研究では、ランダム粗面に沿う電波伝搬特性を振幅補正值と距離特性のオーダーを用いた1波モデルで近似できることを離散型レイ・トレース法による数値解析によって明らかにした。また市街地伝搬については、奥村・秦モデルの実験式から二つのパラメータを容易に決定できることを明らかにした。1波モデルの応用として、伝搬特性が場所ごとに变化する環境での通信距離の推定を行い、その結果に基づいて基地局の最適配置の問題を解くことが可能となった。さらに計算時間の短縮を図るため、ダイクストラ法の波動解析への応用について考察した。その応用として津波伝搬の問題を取扱い、この手法が電磁界解析にも有効であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have found that the 1-ray model proposed in this study enables us to estimate propagation characteristics along random rough surface by choosing the amplitude modification factor α and the order of propagation distance β appropriately. In case of urban propagation, these two parameters can be obtained from the Okumura-Hata model easily. The 1-ray model also provides communication distance function, and thus we can deal with the optimal allocation of base stations in complicated environments. Based on the Dijkstra algorithm, we have proposed a new method to simulate wave propagation in complicated environments, and we have tentatively applied it to tsunami wave simulation in oceans. It has been demonstrated that it is an effective numerical method for simulating wave propagation as well as for tracing optical rays. Thus we have also considered how to apply it to electromagnetic field computation in complicated environments such as urban areas and random rough surfaces.

研究分野：電波工学

キーワード：電波伝搬 センサネットワーク ランダム粗面 市街地 レイ・トレース法 ダイクストラ法 津波

1. 研究開始当初の背景

市街地や丘陵地、田畑、森林、海面等は個々の形状は複雑であるが、ランダム粗面として統計的に取り扱うことができる。このようなランダム粗面に沿う電波伝搬問題とランダム粗面からの後方散乱問題は、一般に複雑でその理論的な解析は容易ではない。

後方散乱問題に対しては、主として米国でリモートセンシング技術と関連して後方散乱断面積の議論が活発に行われている。しかしながら、伝搬問題に関する理論解析的な研究例はこれまでに余りなかったと言える。そこで我々は、電磁界の近似解法である離散型レイ・トレース法を提案し、その数値解析結果に統計的処理を行うことによって得られた知見に基づき、実際問題への適用について考察した。

2. 研究の目的

携帯電話と無線 LAN に代表される公衆情報通信が急速に普及し、またセンサーネットワークやレーダに代表されるように、電波を使ったセンシング技術の応用は、自然環境の保持と生活者の安心・安全を確保する上でますます重要となった。

そこでこの研究では、市街地及び丘陵地や海面等のランダム粗面の統計量が場所ごとに異なる複雑な環境下での電波伝搬問題やランダム粗面からの後方散乱問題を数値解析することによって、基地局の最適配置やレーダに及ぼす不要反射波を定量的に抽出のためのアルゴリズムの開発を目的とした。

3. 研究の方法

この研究では、まず粗面の統計量が場所ごとに異なる不均質なランダム粗面に対して、伝搬特性を算出する電磁界解析法を開発し、次に基地局の最適配置問題や後方散乱問題等への応用に資するアルゴリズムを開発することを目指している。その実現に向けて次のような研究方法を採用した。

この研究の目的を達成するために、まず不均質ランダム粗面を効率的に発生するアルゴリズムを開発することが重要となる。そのためにこの研究では、解析的なランダム粗面生成のアルゴリズムを開発し、空間的に任意の平均高と相関長を持つランダム粗面を生成するアルゴリズムを開発した。

次に、電磁界計算法として使用している離散型レイ・トレース法の計算時間の短縮を図ることが重要となった。そのために粗面離散化の基準を定め、離散点の数を減らす方法について考察した。また、従来の方法とは全く異なったレイ探索法についても考察した。

また、伝搬特性解析に必要な統計的な電磁界分布推定のモデル化が通信距離の算出にとって重要となった。そこで本研究では、市街地伝搬の実験式である奥村・秦モデルを参考にして、振幅補正值 α と距離特性のオーダー β の 2 個のパラメータを導入した伝搬解析

のための 1 波モデルを提案し、任意のランダム粗面に対して、適切なパラメータの設定法について考察した。

最後に、以上に述べたアルゴリズムの実際的な問題への応用について考察し、さらに今後の進展が期待できる新しい計算手法についても考究した。

4. 研究成果

ランダム粗面に沿う伝搬特性を理論的に解明しようとする本研究では、モンテカルロ法に基づく数値シミュレーションが主な解析法であるので、効率よく任意のランダム粗面を生成するアルゴリズムが重要である。このため我々は不均質ランダム粗面生成に有効な畳み込み法を提案した。しかし従来の方法はすべて数値処理に基づき、計算時間を要するものであった。そこで本研究では、ランダム粗面のスペクトルの種類に制限はあるが、解析的手法に基づく新たな粗面生成法を提案した。中心部で平均高と相関長が大きい不均質ランダム粗面の例を図 1 に示す。

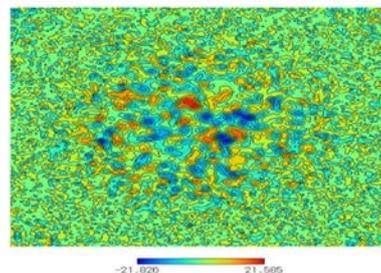


図 1 不均質ランダム粗面の例

平均高と相関長が正弦的に変化する不均質ランダム粗面に沿う電磁界の計算は離散型レイ・トレース法で計算できる。またその場合の電界強度分布は多数の粗面に関するアンサンブル平均として求められる。この結果は、パラメータ振幅補正值 α と距離特性のオーダー β を用いて、1 波モデルで近似的に表わされる。図 2 に 1D ランダム粗面の一例を示し、図 3 にアンサンブル数が 100 個の場合の電界強度分布の数値例を示す。この 1 波モデルが複雑系伝搬環境内の電界強度分布の表現に有効であることが判明した。

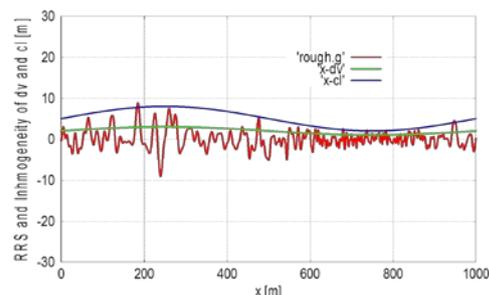


図 2 不均質ランダム粗面 (赤線) 及び相関長 (青線) と平均高 (緑線)

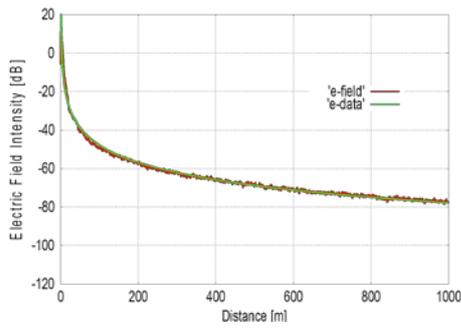


図3 アンサンブル平均値（赤線）と一波モデル（緑線）の電界強度分布比較

1波モデルはランダム粗面に沿う伝搬解析に有効である。従って、複雑系の伝搬環境の一つである市街地伝搬にも適用可能である。本研究では、奥村・秦モデルを参考にした内挿法によって、図4に示すように市街地の容積率を振幅補正值 α に関連付けた。

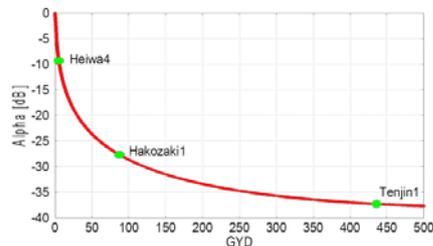


図4 福岡市の容積率と振幅補正值 α

振幅補正值 α と距離特性のオーダー β を用いた1波モデルに従えば、送信電力と受信感度によって通信可能距離が解析的に求められる。 β の値は奥村・秦モデルの結果を用い、 α の値は図4の結果を採用すれば、福岡市の都市部の容積率を使って、通信距離(Km)を計算できる。図5がその分布図である。ただし送信電力は1[W], 受信機の最小受信電界強度は1[mV/m]としている。この図から通信距離が海上部で長く、市街地で短いことが示されている。この結果を用いれば、すでに開発しているPSO法に基づく解法を基地局の最適配置の問題に応用できる。

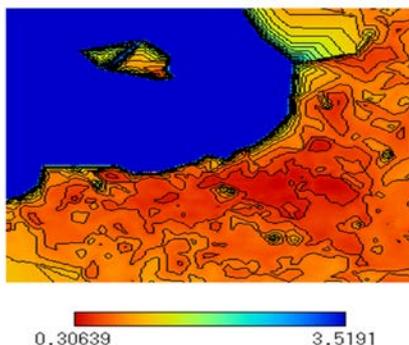


図5 福岡市での通信距離の推定値

以上述べた例からも分るように、振幅補正值 α と距離特性のオーダー β が決定できれば、複雑系の伝搬特性の推定が可能となる。また実際的な問題への応用も可能である。このパラメータの決定をレイ・トレース法によって数値的に実行しようとする場合、我々が開発した離散型レイ・トレース法を用いても、長距離伝搬になればレイの探索に計算時間を要する。パソコンでも伝搬特性の推定を可能とするには、新たなレイ探索法の開発が望まれる。そこで本研究ではダイクストラ法の波動問題への応用について考究した。

まず提案手法の有効性を実証するために、ノートパソコンによって津波の伝搬シミュレーションを行った。東海沖の北緯 32.6° , 東経 141.0° の震源から波高10[m]の津波が発生したと仮定したとき、図6は約20分、図7は約40分における津波波面の進行の様子を示す。400×400のメッシュで近似した数値例であるが、1分以内で計算できているのでダイクストラ法が波動解析に有効であることが判明した。この研究成果によって、国際会議NBIS-2014においてBest Paper Awardを受賞した。

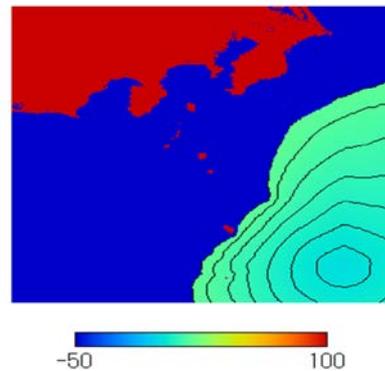


図6 東海沖津波伝搬（津波発生約20分後）

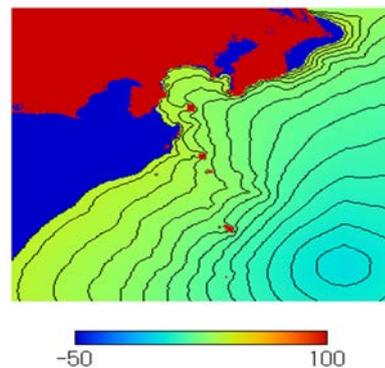


図7 東海沖津波伝搬（津波発生約40分後）

ダイクストラ法が波動解析に有効であることが判明したので、次にダイクストラ法のレイ探索への応用について考察した。最終目標は複雑な市街地環境におけるレイの探索であるが、この研究では問題の構成として図8に示すような3個の直方体からなる簡単な

構造に対して検討を行っている。解析は3次元問題に適用できるが、説明の簡単化のため2次元問題として図示している。

図8は、送信点を図の中心に、受信点を図の周辺部に置いたとき、ダイクストラ法で求めた送信点から全ての受信点への最短経路示(青線)す。ただし3個の矩形散乱体は赤線で示している。

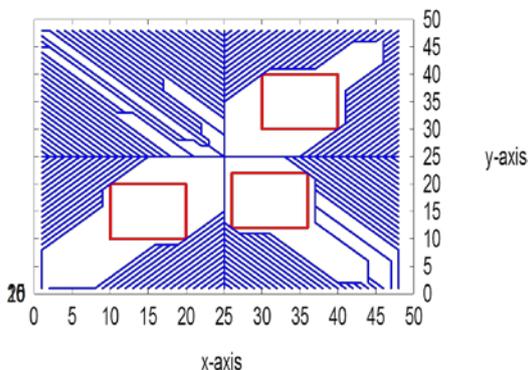


図8 ダイクストラ法による最短経路

図8の結果は最短経路であるが、自由空間中を直進するレイではない。その解決策として、ダイクストラ法の結果に一部の補正を加える必要がある。この研究では頂点に至る最短経路に対してのみ、波源または他の頂点からの直線距離の値をダイクストラ法における総コストに加えることによって、この問題の解決を図っている。最終的に得られたレイの様子を図9に示す。

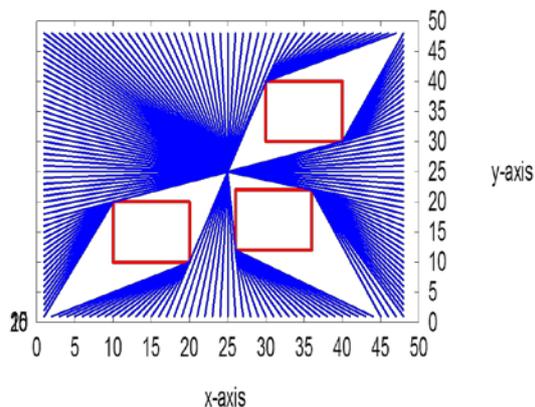


図9 直接レイと回折レイの様子

ただし、この例で示したレイは直接レイと回折レイのみである。電磁界計算には反射レイも必要となるが、この種のレイの探索には新たな議論が必要である。この反射レイに関する数値解析的な議論と実際的な問題への応用は今後の課題としている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

① K. Uchida: "A Discrete Ray Tracing

Method Based on Dijkstra Algorithm for 3D Propagation Environments", The 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA 2015), Korea, pp.360-365, (2015-03).

② K. Uchida: "Optical Ray Tracing Based on Dijkstra Algorithm in Inhomogeneous Medium", 2014 Ninth International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2014), China, pp.371-376, (2014-11).

③ K. Uchida, M. Takematsu, J.H. Lee and J. Honda: "Parameter estimation for propagation along random rough surface by using line of sight data", Mobile Information Systems, DOI 10.3233/MIS-130185, IOS Press, pp.307-319, (2014-10).

④ K. Uchida, S. Nogami, M. Takematsu and J. Honda: "Tsunami Simulation Based on Dijkstra Algorithm", 2014 International Conference on Network-Based Information Systems, Italy, pp.114-119, (2014-09).

⑤ 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).

⑥ K. Uchida, M. Takematsu, J.H. Lee and J. Honda: "A particle swarm optimisation 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).

⑦ 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).

⑧ K. Uchida, M. Takematsu and J. Honda: "Path Loss Estimation for Analytically Expressed Inhomogeneous Random Rough Surface", 2013 8th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013), France, pp.414-421, (2013-10).

⑨ K. Uchida, M. Takematsu, J.H. Lee, K. Shigetomi and J. Honda: "Interpolation of Communication Distance in Urban and Suburban Areas", 2013 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2013), China, pp.873-876,

(2013-10).

- ⑩ K. Uchida, M. Takematsu, J.H. Lee, K. Shigetomi and J. Honda: "An Analytic Procedure to Generate Inhomogeneous Random Rough Surface", The 16th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2013), Korea, pp.494-501, (2013-09).
- ⑪ J. Honda and K. Uchida: "Delay spread of electromagnetic waves along random rough surface", J Ambient Intell Human Comput., Vol. 4, No. 3, pp.339-346, (2013-06).
- ⑫ 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).

[学会発表] (計 9件)

- ① 内田一徳: "波動問題の数値解析アルゴリズム - Wiener-Hopf 法から Dijkstra 法まで -", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.4, BCT2015-15, pp.57-64, BCT, KYUSHU, IEEE-BT, IEEE-AP-S-FUKUOKA, 特別講演, (2015-01).
- ② 羽田野, 内田, 重富, 武末: "建蔽率と容積率分布を考慮した市街地伝搬の一推定法", 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 5, BCT2014-7, pp.25-28, (2014-01).
- ③ 橋本, 内田, 武末: "ランダム粗面に対する電波伝搬特性推定法", 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 5, BCT2014-10, pp.37-40, (2014-01).
- ④ 内田, 武末, 本田: "ランダム粗面生成における離散化設定の基準", 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 5, BCT2014-26, pp.101-104, (2014-01).
- ⑤ 内田, 橋本, 李, 武末: "不均質ランダム粗面に関する伝搬損失の推定", 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-13-155, pp.1-6, (2013-11).
- ⑥ 内田, 羽田野, 重富, 武末: "奥村・秦モデルを援用した1波モデルによる市街地伝搬の一推定法", 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-13-125, pp.37-42, (2013-11).
- ⑦ 重富圭亮, 内田一徳: "1波及び2波モデルを用いた市街地における電界分布推定", 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 37, No. 4, BCT2013-5, pp.17-20, (2013-01).
- ⑧ 内田, 李, 武末, 本田: "PSO アルゴリズムに基づく不均質伝搬環境下の基地局配置", 電気学会電磁界理論研究会資料,

EMT-12-139, pp.107-112, (2012-11).

- ⑨ 内田, 重富, 武末, 本田: "1波及び2波モデルによる複雑系伝搬環境下の電界分布推定", 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-12-140, pp.113-118, (2012-11).

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 一徳 (KAZUNORI Uchida)
福岡工業大学・情報工学部 教授
研究者番号: 50099024

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: