

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study of Mirror Kirchhoff Approximation for Predicting Shadowing Gain
著者(和文)	トキン
Author(English)	Xin Du
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11812号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高田 潤一,高橋 邦夫,山下 幸彦,秋田 大輔,青柳 貴洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11812号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Xin DU	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	高田 潤一	教授	青柳 貴洋	准教授
	審査員	高橋 邦夫	教授		
		山下 幸彦	准教授		
		秋田 大輔	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Study of Mirror Kirchhoff Approximation for Predicting Shadowing Gain”と題し、英文6章からなる。

第1章“Introduction”では、遮蔽物に対する電磁界の前方散乱問題の重要性を述べている。現在、第5世代移動通信システムにおいては通信の大容量化を目指してミリ波帯が使用されているが、人体等の比較的小さな物体による見通し線の遮蔽でも大きな減衰が発生し、通信品質の大幅な劣化を引き起こす問題を指摘している。この劣化を定量的に扱うために、様々な遮蔽物の形状に対する前方散乱の正確な予測技術が必要不可欠であるが、従来、厚さのある物体による遮蔽を正確かつ高速にシミュレーションする手法が未確立であったとしている。そこで、本研究では、波長に比べて非常に大きく、厚さのある2次元導体に対して高速かつ正確に前方散乱特性をシミュレーション可能な鏡面キルヒホフ近似 (mirror Kirchhoff approximation, MKA) を提案し、その有効性を検証するものとしている。

第2章“Current Predicting Method”では、前方散乱に対する既存のシミュレーション手法について概観し、その得失について述べている。モーメント法 (method of moment, MoM) などの全波動解析手法は正確に前方散乱の計算ができるが、散乱体が波長に比べて非常に大きい場合には膨大な計算時間とメモリが必要となる一方、漸近的な特性を用いた高周波近似解法を用いると、計算量を劇的に減少させることができると述べている。幾何光学に基づく一様回折理論 (uniform theory of diffraction, UTD) は閉形式が存在して前方散乱の解析に広く用いられているが適用できる形状に限りがあるとしている。他方、物理光学に基づくキルヒホフ近似 (KA) は数値計算により前方散乱の計算を行うもので、計算精度と計算量のバランスがよい一方、既存のKAを厚さのある物体へ適用すると誤差が大きくなる問題が指摘されており、KAを拡張して厚さのある物体へ適用可能とする必要があると述べている。

第3章“Concept of Mirror Kirchhoff Approximation (MKA)”ではMKAを提案して、その有効性を四角柱へ適用により検証している。幾何光学に基づく手法では2回回折を考慮する必要があり、これに対応してKAの等価波源面も回折エッジを含む2面を設定し、その間の伝搬を高速フーリエ変換 (fast Fourier transformation, FFT) を用いた角度スペクトル法 (angular spectrum method, ASM) と鏡面近似によるイメージ法を用いて計算する方法を提案している。提案法による計算結果をMoMによる数値解と比較し、提案法が非常に正確に前方散乱をシミュレーションできることを明らかにしている。

第4章“Design of Simulation Parameters for MKA”では、計算量を抑えるためのFFTパラメータの選択方法について議論している。空間標本点の間隔と窓関数の範囲、スペクトル標本点の間隔と窓関数の範囲という4つのパラメータについて、伝搬方向のエバネセント波、離散化誤差、スペクトル極などの影響を解析的に検討し、計算精度を担保しながら計算量を削減する条件設定法を提案している。

第5章“Application of MKA for An Arbitrarily Shaped Object”では、任意の凸形状散乱体に対するMKAの適用方法として、任意形状の散乱体を送受信点間の見通し線に垂直な長方形領域に分割し、各領域の境界平面において繰り返しMKAを適用する方法を提案している。ミリ波帯における人体を模した楕円柱に対して、観測位置、向き、周波数などを変数としてシミュレーションを行い、その結果をMoMによる結果と比較した結果、提案法による計算誤差は0.5 dB以下となる一方、UTDと比較しても計算が有意に高速であることを明らかにし、提案方法の優位性を主張している。

第6章“Conclusion”では、本論文の成果と主要な貢献をまとめている。

以上を要するに、本論文は波長に比べて非常に大きく厚さのある2次元導体に対し前方散乱特性をシミュレーション可能な鏡面キルヒホフ近似を提案し、計算精度を保って計算時間を大きく短縮することに成功したもので、工学上並びに工業上寄与するところが大きい。よって本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。