

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	EHF帯における人体遮蔽に影響される電波伝搬チャネルの測定と予測技術の開発
Title(English)	Measurement and Simulation Techniques of Dynamic Radio Channel Property under Human Body Shadowing at EHF Band
著者(和文)	康哲嘉
Author(English)	Che Chia Kang
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12889号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高田 潤一,山下 幸彦,笠井 康子,秋田 大輔,青柳 貴洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12889号, Conferred date:2024/9/20, 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

(博士課程)

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	KANG CheChia		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	高田 潤一	教授	審査員	青柳 貴洋	准教授
	審査員	山下 幸彦	教授			
		笠井 康子	教授			
秋田 大輔		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Measurement and Simulation Techniques of Dynamic Radio Channel Property under Human Body Shadowing at EHF Band” (EHF 帯における人体遮蔽に影響される電波伝搬チャネルの測定と予測技術の開発) と題し、英文 6 章からなる。

第 1 章 “Introduction” では、研究の背景として、第 5 世代以降の移動通信システムにおいて、伝送容量拡大のために従来よりもはるかに波長の短いミリ波 (EHF) 帯の電波の利用が活発に議論される一方で、第 1 フレネルゾーンが小さくなることで、人体のような比較的小さな障害物によっても見通し成分が容易に遮蔽され、電波伝搬チャネルの損失が増大して通信が途絶する状況が発生することが懸念されており、チャネル変動から予防的に無線リンクを切り替えるといった手法が検討されていると述べている。他方で、EHF 帯における人体遮蔽については、波長オーダーでの人体の動きの再現性を確保することが困難なため、実測によるシミュレーションモデルの検証が不十分であることを指摘し、本研究の目的を、動いている人体の 3 次元形状と電波伝搬チャネル特性の同時測定結果により検証された、人体遮蔽の正確な予測シミュレーションモデルを構築することにあるとしている。

第 2 章 “Literature review of Measurement and Simulation Technology for Human Body Shadowing Channel” では、本研究に関連する電波の回折理論を概観した上で、既存研究についてレビューしている。従来の人体遮蔽測定は測定中に人体を固定して行われているものが多くドブラ変動がモデル化出来ていない一方、動的な人体遮蔽測定の事例では、人体形状を測定するモーションキャプチャと伝搬特性を測定するチャネルサウンダが同期しておらず、一方の測定器からトリガを出して他方の測定器に同期を掛ける方法は、両計測器のクロックが非同期であるため、EHF 帯では十分な同期精度が確保できないとしている。また、予測シミュレーションに用いられる人体モデルは形状が単純化され、人体の複雑な動作に対する形状の変化に対応出来ていないとしている。このため、人体形状の瞬時変化を反映した人体遮蔽シミュレーションモデルの構築・検証が必要であると述べている。

第 3 章 “Measurement System for Synchronized Channel Response and Point Cloud of Human Motion” では、モーションキャプチャとチャネルサウンダの同期測定方法を提案している。両測定器のクロックが同期しておらずサンプリングレートも異なるため外部トリガのみを使用して初期タイミングと終期タイミングのみで同期を実現するとし、自作した同期系のハードウェア構成およびモーションキャプチャの校正方法を説明している。また、金属板を用いた動作検証実験を行い、タイミング誤差・位置誤差ともにほぼ無視できる測定を実現したとしている。

第 4 章 “Point Cloud-based Vertically long Models” では、3 次元点群を用いた人体モデルに対する遮蔽シミュレーションのための 2 次元モデルを提案している。人体による回折波の経路は幾何光学理論に基づき送受信点間の見通し線を含む水平面内に含まれるとし、点群で表現された人体の当該平面による断面をシミュレーションの対象とし、さらに回折理論を適用するために、既存モデルである固定スクリーンモデルに対して、本論文で断面スクリーンモデル、2 重回折の Bullington 近似モデル、楕円筒モデルの 3 通りの手法を提案している。次に 58 GHz 帯で歩行する人体が見通し線を動的に遮蔽する測定を実施し、人体の点群に 4 通りの手法を適用して予測したチャネル応答とチャネルサウンダで測定したチャネル応答と比較した結果、チャネル利得のピーク間隔により定義された遮蔽区間の予測には楕円筒モデルが、6 dB 減衰点の感覚により定義されたフェージング区間の予測には断面スクリーンモデルと Bullington 近似モデルが、それぞれ高い予測精度を実現し、提案した 2 次元モデルによるシミュレーションの有効性を検証している。

第 5 章 “Point Cloud-based Human body-shaped Model” では、より複雑な 3 次元形状を考慮した

人体点群モデルに対する遮蔽シミュレーション方法として、送信アンテナから見た人体の輪郭を垂直断面として表現し、幾何光学理論に基づく位相停留点を探索して、各位相停留点における回折波を合成する方法を提案している。300 GHz 帯で立位・座位を繰り返す人体により見通し線を動的に遮蔽する測定を実施し、さらに点群のフレームレートの低さを補うための3次元点群データの時間補間を行い、提案するシミュレーション手法を用いたチャンネル応答と実測したチャンネル応答を比較し、遮蔽区間・フェージング区間が高い精度で予測できること、多くの場合は第4章の提案法とほぼ一致する結果が得られる一方で、頭部から肩にかけての複雑な形状の影響は本提案法が優れていることを示している。

第6章 “Conclusion” では本論文で得られた成果を整理するとともに、提案手法の今後の応用・発展への方向性について述べている。

以上を要するに、本論文ではEHF帯における人体遮蔽に影響される電波伝搬チャンネルを人体の3次元形状と同時に高精度で測定する技術を開発し、その結果を用いて精度の高い遮蔽予測技術の開発・検証を行ったもので、工学上並びに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は本論文を博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。