HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多数人体を考慮した多重反射環境における伝搬特性評価に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	白船, 雅巳
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第12642号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65759
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masami_Shirahune_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　白船 雅巳

学 位 論 文 題 名

多数人体を考慮した多重反射環境における伝搬特性評価に関する研究
（A Study on Propagation Characteristic Estimations in Multiple Reflection Environment Considering Many Human-Bodies）

スマートフォンやタブレット PC などの移動無線通信機器の利用拡大に伴い, 高速鉄道車両や航空機などの旅客輸送サービスの客室内においても高速・高品質な無線接続サービス利用の需要が高まっている. 既に国内外の旅客鉄道会社および航空会社の一部で無線接続サービスの提供が開始されており, 今後益々の拡大が見込まれている. 伝搬特性を詳細に評価することにより, 無線サービスについて高速かつ高品質な通信を可能とする. さらに, 航空機内では航法機器に対して電磁干渉 (EMI) を生じさせないかといった安全性にかかる評価をする上で特に重要である. しかし, 鉄道車両や航空機の客室は周囲がほぼ金属で構成されるため, 無線通信機器から放射されるマイクロ波周波数帯の電波はこれら金属壁による反射を繰り返しながら伝搬する環境 (以降, 多重反射環境と呼称) となり, かつ内部の什器や乗客人体などによる遮蔽・散乱および吸収の影響を受けるため, 電磁界分布は自由空間伝搬とは全く異なる複雑なものになる.

こうした課題に対して, 数値シミュレーションによる伝搬特性を評価するアプローチが存在する. シミュレーションでは, アンテナ位置や周波数を容易に変更でき詳細な電磁界データが取得できるという利点がある. しかし, 従来, 伝搬特性評価に用いられてきたレイトレースなどに代表される解析手法では, 多数の乗客を含む鉄道車両や航空機内のように,3 次元的に複雑な形状を有し, 電波の反射や吸収特性が異なる複数の媒質が内部に存在する空間での伝搬特性を精度良く取得することは困難である. したがって, これら多数の乗客を含む多重反射環境における電波伝搬特性については, これまでに高精度かつ条件網羅的な評価がなされてはおらず, 伝搬モデル構築や無線回線設計方法の確立には至っていないという問題点があった.

本研究では, これら課題に対し,Finite-Difference Time-Domain 法 (以降,FDTD 法) に基づく電磁界シミュレーションと大規模並列演算技術を適用することで, 多数乗客を考慮した多重反射環境における電波伝搬特性について従来にない高精度な評価を実現する.FDTD 法は時間領域の電磁界解析手法であり, 多重反射環境内で生じる多数の反射・屈折波を精度良く評価でき,3 次元空間をセルとよばれる微細な空間要素に離散化し解析するため形状が複雑で電気定数が異なる複数の媒質から構成されているような評価対象であっても詳細に数値モデル化し評価することが可能である. 一方,FDTD 法は他の解析手法に比べ計算機負荷が大きく, 高速鉄道車両や航空機の客室内におけるマイクロ波周波数帯の電波伝搬のように評価周波数に対して解析対象空間の寸法が 1000 波長程度と大きい場合, 必要な計算機資源が膨大になるため通常の汎用 PC 等では計算を実行できない. そこで本研究では, 大型計算機による並列演算技術を用いてこの問題を解決し, 多重反射環境内における電波伝搬に関する諸特性について明らかにする. これらの内容につき, 以下の各章により詳細を述べる.

第 1 章は, 序論であり, 研究の背景と目的ならびに概要を述べる.

第 2 章では,FDTD 法について述べる.FDTD 法の基礎である微分系のセル寸法の決定や時間ステップの決定について述べ, シミュレーションで要求される主記憶容量のサイズについて明らかにする.

第 3 章では, 高速鉄道車両や航空機といった大規模空間について,FDTD 法を用いたシミュレーションで扱うために必要な並列演算技術を述べる. 第 2 章で述べた主記憶容量の問題を解決するために大型計算機中のノードを複数用いて, さらに FDTD ノード間で適切に電界・磁界データを送受信することで, 複数のノードを利用した 1 つの大規模空間シミュレーションが実行できることを示す.

第 4 章では, 第 2 章と第 3 章で述べた FDTD 法に基づく電磁界シミュレーションと並列演算技術を用いて高速鉄道車両および航空機における基礎伝搬特性について述べる. はじめに高速鉄道車両における無線 LAN の伝搬特性評価について検討する. 高速鉄道車両のシミュレーションにおける数値モデルについて示し, 鉄道車両内における基本的な伝搬特性として, 周波数特性, 偏波特性の解析結果について示す. さらに高速鉄道車両内に設置されている車両間ドアの開閉条件による車車間伝搬への影響について明らかにした上で, 測定データとの比較によってシミュレーションの妥当性について示す. 次に, 航空機は携帯電話周波数を対象とした伝搬特性評価について評価する. 航空機の数値モデルについて示したのち, 周波数特性について明らかにする. さらにシミュレーション結果を測定データと比較することでシミュレーションの妥当性検証を行う. そして航空機内で無線電波を放射した時に任意のポイントにおける交差偏波に対する主偏波の比率である XPR(Cross-polarization Ratio) に関する評価結果を示す.

第 5 章では, 電波吸収・電波遮蔽影響を生じさせる人体を模擬した数値モデルを多数用いて高速鉄道車両や航空機内の電磁界分布に与える影響について検討する. 高速鉄道車両では, 多数の人体モデルを用いて, 電波吸収・遮蔽影響について乗車率による減衰特性について述べる. 航空機では, 人体による機内全体の電磁界分布への影響について示す.

第 6 章は結論であり, 本論文の内容と得られた成果を概括している.

本論文は,FDTD 法に基づく電磁界シミュレーションと大規模並列演算技術を用いて高速鉄道車両と航空機の客室内におけるマイクロ波周波数帯の電波伝搬特性を評価したものである. 測定結果との比較を実施し数値シミュレーションの妥当性について検証した上で, 人体を模擬した数値モデルを用いて多重反射環境内における多数の人体の影響を含む電波伝搬特性について従来にない精度で明らかにした. 今後, 様々なアプリケーションが導入され, 益々発展が予想される高速鉄道車両内の無線通信環境, 航空機内における無線システムの導入のための無線回線設計に対する貢献が期待される.