

氏名	ほんだ かずひろ 本田 和博
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	富理工博乙第29号
学位授与年月日	平成28年3月23日
専攻名	理工学教育部(数理・ヒューマンシステム科学専攻)
学位授与の要件	富山大学学位規則第3条第4項該当
学位論文題目	適応信号処理ウェアラブルアンテナと Over-The-Air 評価方法に関する研究
論文審査委員 (主査)	中島 一樹 廣林 茂樹 前澤 宏一 小川 晃一

## 学位論文の要旨

学位論文題目 適応信号処理ウェアラブルアンテナと Over-The-Air 評価方法に関する研究

数理・ヒューマンシステム科学専攻

氏名 本田和博

厚生労働省の資料によると国民医療費は 2025 年に約 50 兆円になる見通しであると推計されており、この要因の 1 つとして高齢者医療費の増加が指摘されている。その解決策として情報通信技術を活用した取り組みや研究が進んでおり、その 1 つに BAN(Body Area Network)が挙げられる。さまざまなセンサーモジュールで計測した大容量の生体情報は、アクセスポイントであるユニバーサル移動端末を経由して病院等に送信されることでヘルスケアや診療等に役立たせ、高騰する医療費削減につながることを期待できる。

このような社会的・技術的状況を踏まえ、より大きなフレームワークとして、BAN と超高速移動通信 MIMO(Multiple-Input Multiple Output)を融合したユニバーサル移動端末を実現するためのウェアラブルアンテナシステム技術が必要である。

本論文は、人体に装着したウェアラブルアンテナが人体のシャドウイングや歩行動作など人体の動的変化による性能劣化を改善するアンテナを開発することを目的としている。

第 1 章「序論」では研究の背景としてウェアラブル端末の普及と高信頼・高性能アンテナを実現するための課題について述べ、本研究の位置づけと目的、本研究の全体の構成を示した。

第 2 章「地上デジタル放送タブレット端末の特性解析」では、地上デジタル放送タブレット端末に 4 素子最大比合成ダイバーシチアンテナを搭載したときの不等電力を考慮したダイバーシチ利得の低下を推定する簡便な手法を提案した。次に、可搬型地上デジタルテレビ端末モデルを用いて手の位置を変化させたときの影響解析を行い、推定手法の妥当性について検討した。

第 3 章「BAN ダイバーシチアンテナの特性解析」では、腰装着 BAN モジュールに選択ダイバーシチアンテナを適用したときの伝送信号誤り率解析を行った。まず、人の歩行動作を撮影して統計解析を行い、腕の振り角や腕振りモデルについて明らかにした。次に、統計データに基づいた腕振り動作を考慮した BAN ダイバーシチアンテナの人体シャドウイング影響解析を行った。その際、ダイバーシチアンテナのアンテナ間隔を変化させたときの瞬時腕振り角度おける受信レベルへの影響を解析し、必要なアンテナ間隔について検討した。

第4章「偏波制御ウェアラブル MIMO アンテナ」では、腕時計型ウェアラブル端末において腕振り歩行動作による偏波ミスマッチを解消するため、到来波の平均交差偏波電力比とアンテナ傾き角に応じて最適な受信信号を得る偏波制御ウェアラブル MIMO アンテナを提案した。腕時計型ウェアラブル端末のユースシーンとして考えられる歩行動作やブラウジング姿勢時における  $2 \times 2$  MIMO 伝送容量解析を行った。半波長ダイポールアンテナを用いて提案アンテナを製作し、ユースシーンに応じて平均交差偏波電力比とアンテナ傾き角を変化させて MIMO-OTA(Over-The-Air)評価を行い、安定した伝送容量が得られることを実証した。

第5章「多素子アンテナの逐次的自動整合方法」では、多素子アレーアンテナの素子間隔を狭くした場合に生ずる電磁結合や、アンテナが人体に近接したときに生ずる人体の電磁的影響によるアンテナ性能が劣化する現象を解消するため、同時共役整合を実現するための逐次的自動整合アルゴリズムを提案した。さらに、実用端末に搭載する際に提案アルゴリズムを実現するための整合回路の設計を行った。半波長ダイポールアンテナを用い、アンテナ間隔を狭くしたときの不整合状態に対して数値解析を行い、シミュレーション結果が理論値と一致することを示し、提案アルゴリズムの有効性を実証した。

第6章「上り／下り回線評価のための MIMO-OTA 評価装置」では上り回線と下り回線における端末アンテナの性能総合評価を行える MIMO-OTA 評価装置を開発した。まず、異なる上り回線と下り回線の周波数において性能評価を行えるバイラテラル空間フェージングエミュレータを開発し、評価装置の有効性を実験により検証した。次に、上り回線において基地局アンテナの受信信号の相関値が高い現象を再現するため、Jakes モデルに基づいた基地局相関制御方法を提案し、バイラテラル空間フェージングエミュレータに実装した。上り回線における  $2 \times 2$  MIMO 伝送容量解析実験を行い、提案手法により基地局相関が制御可能であることを実証した。

第7章「結論」では本研究のまとめ、第8章「今後の研究」では今後の技術的な展望と研究の方向性を述べた。

これらの研究によって人体装着ウェアラブルアンテナに関して、人体の動的影響を含めたシャドウイングー多重波による相互影響を解明することで BAN アンテナの性能劣化メカニズムが明らかになり、高信頼・高性能 BAN モジュール実現への道筋ができる。これにより、高速通信に対応できる BAN ウェアラブルアンテナの研究開発に大きく貢献できるものと考えられる。

## 【審査の結果の要旨】

当学位論文審査委員会は申請論文「適応信号処理ウェアラブルアンテナと Over-The-Air 評価方法に関する研究」を詳細に査読し、また、平成 28 年 2 月 8 日に学位論文公聴会を開催し、その発表及び質疑応答を含めた審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

厚生労働省の資料によると国民医療費は 2025 年に約 50 兆円になる見通しであると推計されており、この要因の 1 つとして高齢者医療費の増加が指摘されている。その解決策として情報通信技術を活用した取り組みや研究が進んでおり、その 1 つに BAN(Body Area Network)が挙げられる。さまざまなセンサーモジュールで計測した大容量の生体情報は、アクセスポイントであるユニバーサル移動端末を経由して病院等に送信されることでヘルスケアや診療等に役立たせ、高騰する医療費削減につながることを期待できる。このような社会的・技術的状況を踏まえ、より大きなフレームワークとして、BAN と超高速移動通信 MIMO(Multiple-Input Multiple Output)を融合したユニバーサル移動端末を実現するためのウェアラブルアンテナシステム技術が必要であることに着目している。本論文は、人体に装着したウェアラブルアンテナが人体のシャドウイングや歩行動作など人体の動的変化による性能劣化を改善するアンテナの開発を行っている。

第 1 章「序論」では研究の背景としてウェアラブル端末の普及と高信頼・高性能アンテナを実現するための課題について述べ、本研究の位置づけと目的、本研究の全体の構成が記されている。

第 2 章「地上デジタル放送タブレット端末の特性解析」では、地上デジタル放送タブレット端末に 4 素子最大比合成ダイバーシチアンテナを搭載したときの不等電力を考慮したダイバーシチ利得の低下を推定する簡便な手法を提案している。次に、可搬型地上デジタルテレビ端末モデルを用いて手の位置を変化させたときの影響解析を行い、推定手法の妥当性について検討され、提案手法の有効性が示されている。

第 3 章「BAN ダイバーシチアンテナの特性解析」では、腰装着 BAN モジュールに選択ダイバーシチアンテナを適用したときの伝送信号誤り率解析を行っている。まず、人の歩行動作を撮影して統計解析を行い、腕の振り角や腕振りモデルについて明らかにしている。次に、統計データに基づいた腕振り動作を考慮した BAN ダイバーシチアンテナの人体シャドウイング影響解析を行い、ダイバーシチアンテナのアンテナ間隔を変化させたときの瞬時腕振り角度おける受信レベルへの影響を解析し、必要なアンテナ間隔について明らかにしている。

第 4 章「偏波制御ウェアラブル MIMO アンテナ」では、腕時計型ウェアラブル端末において腕振り歩行動作による偏波ミスマッチを解消するため、到来波の平均交差偏波電力比とアンテナ傾き角に応じて最適な受信信号を得る偏波制御ウェアラブル MIMO アンテナを提

案している。腕時計型ウェアラブル端末のユースシーンとして考えられる歩行動作やブラウジング姿勢時における  $2 \times 2$  MIMO 伝送容量解析を行い、提案アンテナの有効性が示されている。半波長ダイポールアンテナを用いて提案アンテナを製作し、ユースシーンに応じて平均交差偏波電力比とアンテナ傾き角を変化させて MIMO-OTA(Over-The-Air)評価を行い、安定した伝送容量が得られることを実証している。

第5章「多素子アンテナの逐次的自動整合方法」では、多素子アレーアンテナの素子間隔を狭くした場合に生ずる電磁結合や、アンテナが人体に近接したときに生ずる人体の電磁的影響によるアンテナ性能が劣化する現象を解消するため、同時共役整合を実現するための逐次的自動整合アルゴリズムが提案されている。さらに、実用端末に搭載する際に提案アルゴリズムを実現するための自動整合システム的设计を検討している。半波長ダイポールアンテナを用い、アンテナ間隔を狭くしたときの不整合状態に対して数値解析を行い、シミュレーション結果が理論値と一致することを示し、提案アルゴリズムの有効性が実証されている。

第6章「上り／下り回線評価のための MIMO-OTA 評価装置」では上り回線と下り回線における端末アンテナの性能総合評価を行える MIMO-OTA 評価装置を開発している。まず、異なる上り回線と下り回線の周波数において性能評価を行えるバイラテラル空間フェージングエミュレータを開発し、評価装置の有効性を実験により検証している。次に、上り回線において基地局アンテナの受信信号の相関値が高い現象を再現するため、Jakes モデルに基づいた基地局相関制御方法を提案し、バイラテラル空間フェージングエミュレータに実装している。上り回線における  $2 \times 2$  MIMO 伝送容量解析実験を行い、提案手法により基地局相関が制御可能であることが実証されている。

第7章「結論」では本研究のまとめ、第8章「今後の研究」では今後の技術的な展望と研究の方向性が述べられている。

以上、本論文は、人体装着ウェアラブルアンテナに関して、人体の動的影響を含めたシャドウイングー多重波による相互影響を解明することで BAN アンテナの性能劣化メカニズムを明らかにし、高信頼・高性能 BAN モジュール実現への道筋が記されている。これにより、高速通信に対応できる BAN ウェアラブルアンテナの研究開発に大きく貢献できるものと考えられる。これらの結果より、本審査委員会は、博士（工学）の学位を授与するに十分な内容をもつものと認めた。