

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420363

研究課題名(和文) BANアンテナ評価のためのフェージングエミュレーターの高度化と応用に関する研究

研究課題名(英文) A study on the development of a fading emulator for BAN antenna assessment

研究代表者

小川 晃一 (Ogawa, Koichi)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：60601854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：医療ICT技術に適用する人体に近接した無線センサーデバイスのアンテナの無線性能評価について、人体の動的変化と室内多重波伝搬環境の影響を同時に考慮して行うことができる評価装置を開発した。次に、腰・頭・腕・足など人体の様々な部位に装着された場合、シャドウイングと多重波が偏波特性や伝搬損失等のアンテナ性能に与える影響の違いを実験的に解明した。最後に、腕に装着したアクセスポイントが腕振り動作中に安定して受信レベルが得られる偏波制御アンテナを提案した。その結果、安定して受信レベルが得られることを実験により実証した。本研究成果を論文および国際会議等で発表した。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the antenna performance used in wireless device in human vicinity, we developed an Over-The-Air apparatus, where the effects caused by the human dynamic characteristics and multipath propagation environment can be realized simultaneously. Moreover, based on different on-body antenna locations, such as waist, head, wrist and ankle, we clarified the antenna characteristics of the polarization behavior and the path loss, which are varied with regard to the combined shadowing and fading effects caused by human walking motion and multipath propagation environment. Furthermore, we proposed a weighted-polarization antenna applied to BAN on-body communication systems to achieve the radio link enhancement. The proposed antenna is confirmed that can obtain a high and stable received signal power regardless of the arm-swing motion and antenna placement. The results of this research have been published in journal papers and international conferences.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：BANアンテナ OTA評価装置 フェージングエミュレータ 歩行動作

1. 研究開始当初の背景

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 (ICT 技術) を活用した取り組みや研究が進んでおり、その1つにボディエリアネットワーク (BAN) が挙げられる。これは、身体に取り付けた小型無線センサーデバイスが得た生体情報を無線で収集して医療などに役立てるものである。

BANには2つの大きな技術的な課題がある。その1つは、無線デバイスが人体の腰や腕に装着して使用されるため人の歩行動作など動的変動特性によってアンテナ性能が大きく劣化することである。2つ目の課題は、無線デバイスが病室など室内で使用されるため、アンテナから放射された電波が壁や家具によって反射してフェージング波が生じ、無線伝送特性 (信号誤り率など) が劣化することである。

1つ目の課題の人体の動的変動特性に対しては、これまでアニメーションソフトウェアを用いてコンピューター内に人が歩いている状況を作り出し、人体の歩行動作を考慮したアンテナ特性の解析が報告されている。

2つ目の課題の電波伝搬を考慮した無線性能の評価に対しては、これまで携帯電話の無線性能評価に関して、無線信号に時間的・空間的な変動を与えながら評価する方法 (OTA: Over-The-Air 評価と呼ばれている) が精力的に研究され、国際的な標準化作業が進められている。しかし、BANは病室など屋内で使用されるためフェージング波の強度と分布が屋外と大きく異なり、新たな伝搬モデルに基づく評価装置が必要である。

上記のことからわかるように、BANに用いる実用無線デバイスを評価・測定するためには、人体の動的変化と室内多重波伝搬環境の影響を同時に考慮して行うことができる新たな評価装置 (BAN-OTA 測定装置) を開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、人が腕を振りながら歩いている状況をリアルに模擬することができる腕振り人体電磁ファントムと室内の壁や家具からの反射波によって発生する電波の時間的・空間的な変動特性 (フェージング) を忠実に再現することができるフェージングエミュレーターを組み合わせ、人体装着小型無線モジュールを病院の病室や自宅看護室内で使用した場合の無線性能を人体と電波伝搬特性の双方の影響を考慮して測定することが可能となる測定装置を開発する。このような測定装置はこれまでに前例がなく世界初の装置である。開発した装置を用い、BANモジュールを病室など実伝搬環境で使用したときの性能評価を実験室内でできることを実証するとともに提案装置を用いてBANアンテナの性能

改善を図る。

3. 研究の方法

前述した研究目的を達成するための研究計画・方法は大きく分けて、フェージングエミュレーター (BAN-OTA 評価装置) のハードウェア開発と開発したエミュレーター用いたBANアンテナ評価の2つに分類される。はじめに、シャドウイングと多重波伝搬の影響を同時に与えることができる信号生成方法のアルゴリズム開発および生成アルゴリズムのエミュレーターへの実装を行う。これにより、意図した信号時系列をエミュレーターが空間に放射していることを確認することが目標である。次に、腰・頭・腕・足など人体の様々な部位に装着されたアンテナに関して、人体の動的変化によるシャドウイングと多重波の相互影響を実験により明らかにし、性能劣化メカニズムを解明する。最後に、BANモジュールに実装された実用小型アンテナの性能評価を行い、性能改善に向けた設計指針の提言を行う。

4. 研究成果

病院の病室や自宅看護室内に居住している被験者の様々な部位に小型無線センサーモジュールを装着し、血圧・心電図などの生体情報を計測する。計測データはアクセスポイントを通して外部のネットワークに伝送される。アクセスポイントは腰に装着されることが多く、その場合、腕がアクセスポイントに近接すると電波が遮られる。さらにセンサーデバイスから放射された電波は壁に反射し、室内に多重波が発生して、電波の谷間では通信が途切れる。このようにBANモジュールの評価は、腕の動きと多重波の影響の双方の影響を同時に考慮する必要がある。そこで、振幅・位相制御回路を具備した装置の開発を実施した。図1に本研究で開発するBAN評価用のフェージングエミュレーター (BAN-OTA 評価装置) の構成を示す。

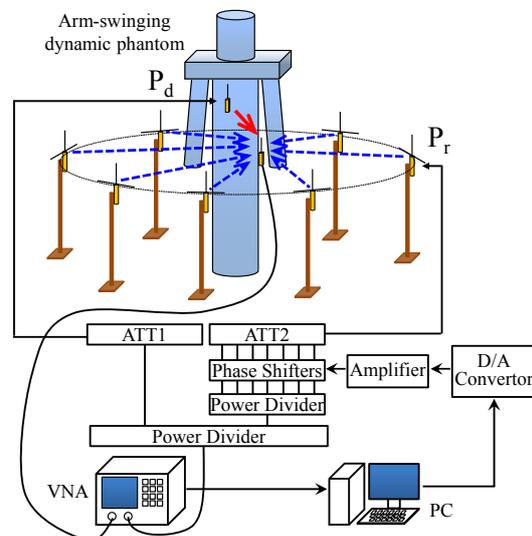


図1 BAN-OTA 評価装置

ファントムの周囲に配置した複数のアンテナから放射する電波の強度と位相をパソコンによって制御し、壁からの反射波をエミュレータ内に模擬することによって室内の伝搬環境を実現する。エミュレータの中心に配置した腕振り電磁ファントムは人の歩行動作と極めて近い動きをさせることが可能である。そのファントムに評価アンテナを装着して歩行時の腕の動きによる影響を考慮したアンテナ性能を評価する。

人体に BAN モジュールを装着したときの室内電波伝搬環境をフェージングエミュレータによって模擬するためには、送信側のセンサーモジュールと受信側のアクセスポイント間の直接波と間接波の割合 (K ファクター) を知る必要がある。その実験セットアップを図 2 に示す。等身大ファントムを用いて身体の様々な場所に送信アンテナを装着して室内を移動させた。その際に、腰に装着したアンテナで受信した信号を解析して K ファクターを求めた。その 1 例を図 3 に示す。受信信号の CDF 特性より K ファクターが 5dB であることがわかる。

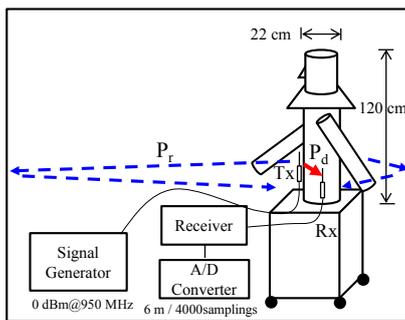


図 2 K ファクター測定セットアップ

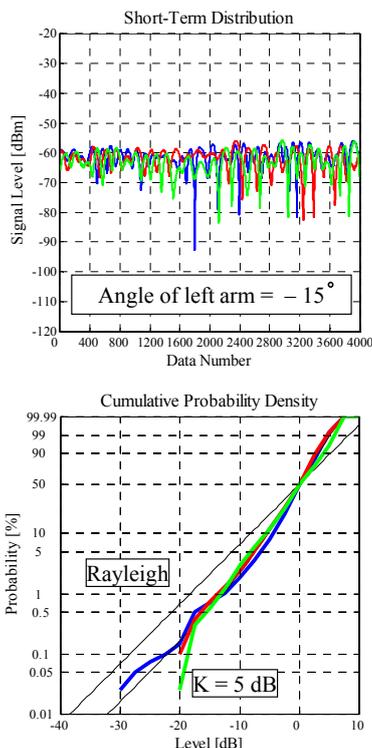


図 3 室内電波伝搬実験結果

測定した K ファクターを基に、人が BAN モジュールを装着して室内を歩いている状況をフェージングエミュレータで模擬し、室内伝搬実験結果と一致するか確認した。図 4 に測定風景を、フェージングエミュレータによる実験結果の 1 例を図 5 に示す。図より、フェージングエミュレータの実験結果が室内電波伝搬実験により得られた K ファクターと一致することを確認した。

以上の研究結果より、BAN に用いる実用無線デバイスについて人体の動的変化と室内多重波伝搬環境の影響を同時に考慮して評価を行うことができる BAN-OTA 測定装置の開発に成功した。

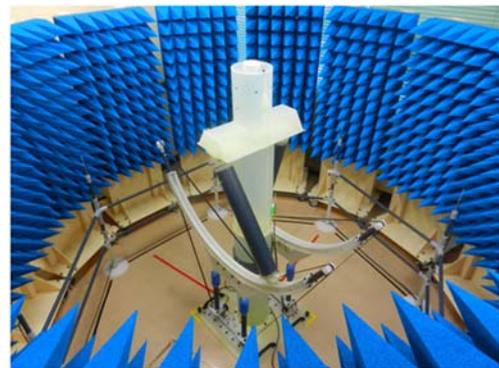


図 4 測定風景

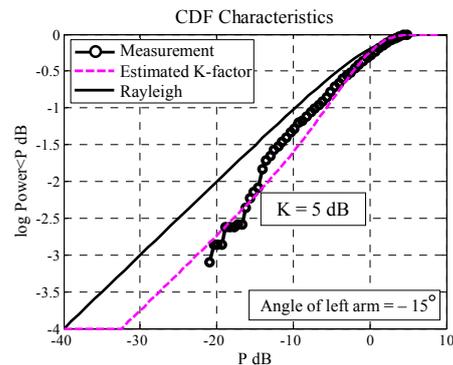


図 5 BAN-OTA 装置を用いた実験結果

次に、BAN アンテナの性能劣化メカニズムを明らかにするため、腰・頭・腕・足など人体の様々な部位に装着したアンテナに関して、アンテナの装着位置が異なった場合にシャドウイングと多重波が偏波特性や伝搬損失等を与える影響の違いを実験的に求めた。

頭と腕に BAN アンテナを装着して On-body 通信を行う際、歩行動作中に生じるアンテナ性能の変化について考察した。測定セットアップを図 6 に、実験結果を図 7 に示す。図 7 より、腕に装着したアンテナは腕振り動作によって偏波特性が変化して受信レベルが大きく変動することが判明した。そこで、腕振り動作中に安定して受信レベルが得られる偏波制御アンテナを腕に装着した。その結果、安定して受信レベルが得られた。また、実験結果と解析結果が一致し、偏波制御アンテナの有効性が実証された。

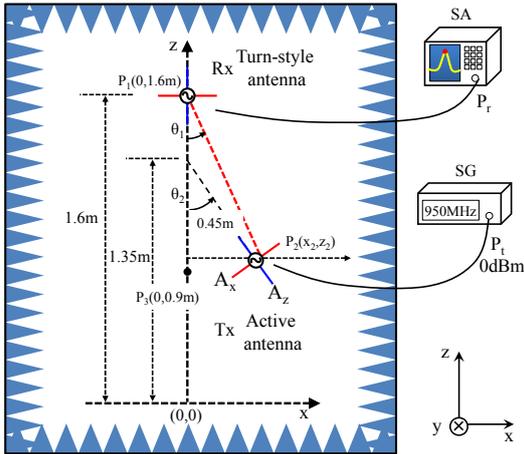


図6 測定セットアップ

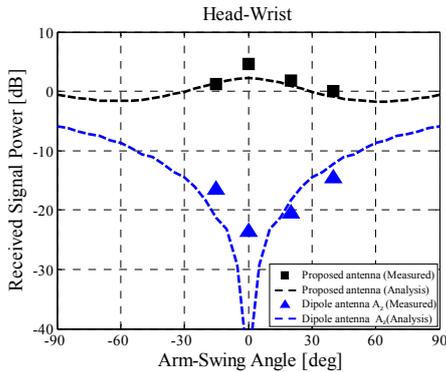


図7 腕振り時の受信レベルの変化

偏波制御アンテナは移動通信用アンテナとして開発されており、到来波の伝搬特性 XPR とアンテナの傾き角度に応じて信号を積み付けし、最適な受信信号を得ることができる。従って、偏波制御アンテナを BAN アンテナとして動作させるためには、センサーモジュールから到来する電波の偏波特性を知る必要がある。そこで、人体近傍交差偏波電力比 BP-XPR (Body Proximity Cross-Polarization Power Ratio) を定義し、On-Body アンテナ間の位置関係と人体歩行動作を考慮して定量化を行った。その際、図8に示すように、手首に装着したアクセスポイントと人体の様々な位置に取り付けられたセンサーモジュールの位置関係を表す動的チャネルモデルを用いた。

交差偏波特性に対するアンテナ指向性の影響を除去するため、頭のセンサーモジュールにはターンスタイルアンテナを用いた。腕のアクセスポイントには床に対して垂直と水平なダイポールアンテナを用い、腕の角度を変化させたときの BP-XPR を測定した。その結果を図9に示す。図より、放射指向性から推定した値と測定値が一致していることがわかる。

最後に偏波制御アンテナの重み関数に提案する BP-XPR を適用したときの結果を図10に示す。図より、動的人体チャネルにおいて BAN On-Body リンクが向上できることを明らかにした。

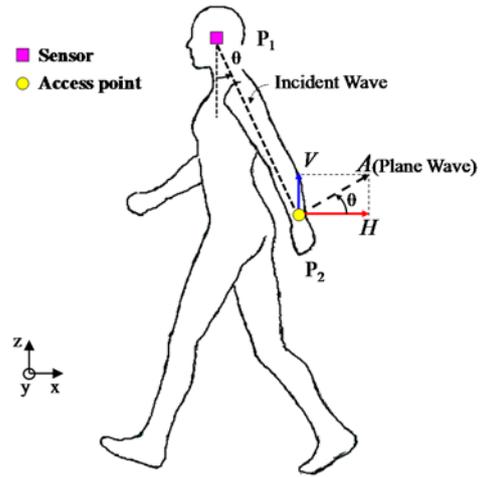


図8 歩行時の BP-XPR

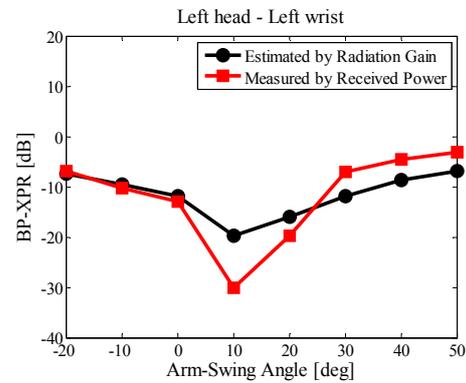


図9 BP-XPR の解析結果

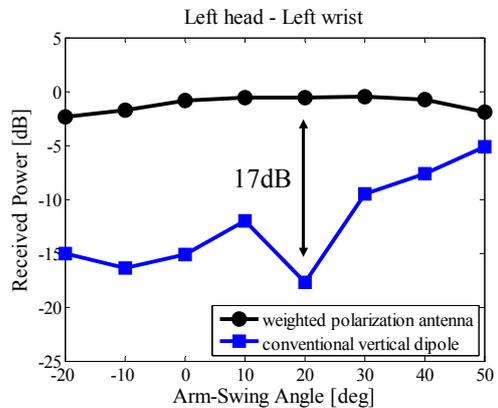


図10 On-body 通信時の受信レベル

以上の研究結果より、腰・頭・腕・足など人体の様々な部位に装着されたセンサーモジュールから送信された信号を安定して受信できる BAN アンテナの開発に成功した。

今後は、BAN On-body 通信における伝送信号誤り率 (BER) 特性について、多重波と人体の動的変化を同時に考慮して測定できる OTA 評価を開発する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “Rice Channel Realization for BAN Over-The-Air Testing Using a Fading Emulator with an Arm-Swinging Dynamic Phantom,” *IEICE Trans. Commun.*, 査読有, Vol. E98-B, No. 4, 2015, pp. 543-553, DOI:10.1587/transcom.E98.543

[学会発表] (計 14 件)

- ① K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “Analysis of the Body Proximity Cross-Polarization Power Ratio in a Human Walking Motion,” *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2015)*, 2015.12.8, Nanjing (China)
- ② K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “Analysis of the Body Proximity Cross-Polarization Power Ratio in a Human Walking Motion,” *IEEE International Workshop on Electromagnetics (iWEM2015)*, 2015.11.16, Hsinchu (Taiwan)
- ③ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “Analysis of the Body Proximity Cross-Polarization Power Ratio in a Human Walking Motion,” *電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会*, 2015.9.9, 東北大学川内北キャンパス (宮城県仙台市)
- ④ 李鯤, 本田和博, 小川晃一, “歩行動作を考慮した人体近傍交差偏波電力比の解析,” *電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会*, 2015.8.28, 茨城大学水戸キャンパス (茨城県水戸市)
- ⑤ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “On-body Polarization-controlled Active Antenna to Enhance Signal Power in Human Dynamic Channel,” *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2014)*, 2014.12.3, Kaohsiung (Taiwan)
- ⑥ 李鯤, 本田和博, 小川晃一, “人体動的特性を考慮した BAN On-body リンク向上のための偏波制御アンテナ測定実験,” *電子情報通信学会 ヘルスケア・医療情報通信技術研究会*, 2014.10.23, 富山大学五福キャンパス (富山県富山市)
- ⑦ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “On-body Polarization-controlled Active Antenna to Enhance Signal Power in Human Dynamic Channels,” *電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会*, 2015.9.23, 徳島大学常三島キャンパス (徳島県徳島市)
- ⑧ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “A Method of Calibration for BAN Over-The-Air Testing Using a Fading Emulator with a Dynamic Phantom,” *電子情報通信学会 2014 年総合大会*,

2015.3.18, 新潟大学五十嵐キャンパス (新潟県新潟市)

- ⑨ K. Ogawa, K. Li, and K. Honda, “BAN Over-The-Air Testing Using an Arm-Swinging Dynamic Phantom,” *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio 2013)*, 2013.12.10, Singapore (Singapore) (招待講演)
- ⑩ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “K-factor Dependent Multipath Characterization for BAN-OTA Testing Using a Fading Emulator,” *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2013)*, Nanjing (China)
- ⑪ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “BAN-OTA Testing Using a Fading Emulator Considering the Variation of K-factor Due to the Dynamic Characteristics of Human Motion,” *電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会*, 2015.10.3, 金沢大学サテライトプラザ (石川県金沢市)
- ⑫ 本田和博, 李鯤, 小川晃一, “手首に装着した BAN アンテナの BER 特性解析,” *電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会*, 2015.9.19, 福岡工業大学 (福岡県福岡市)
- ⑬ 本田和博, 李鯤, 小川晃一, “床が BAN アンテナの放射指向特性に与える影響解析,” *電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会*, 2015.9.19, 福岡工業大学 (福岡県福岡市)
- ⑭ K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, “K-factor Dependent Multipath Characterization for BAN-OTA Testing Using a Fading Emulator,” *電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会*, 2015.9.18, 福岡工業大学 (福岡県福岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 晃一 (OGAWA, Koichi)
富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・教授
研究者番号 : 60601854

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

本田 和博 (HONDA, Kazuhiro)