

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 7 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560452

研究課題名(和文)人体通信と400MHz帯無線を併用するデュアルモードボディエリア通信方式

研究課題名(英文) Dual-Mode Body Area Communication with both Human Body Communication Technology and 400 MHz Wireless Technology

研究代表者

王 建青 (Wang, Jianqing)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70250694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：高齢化社会における人体無線網(BAN)の日常的健康管理やリモート診察・投薬等へのヘルスケア・医療応用が期待され、ウェアラブル心電図のような数kbpsからカプセル内視鏡のような数十Mbpsまでの幅広い伝送速度が要求される。本研究では、体表及び体内生体信号の特徴に応じて、ウェアラブルBANには人体通信技術、インプラントBANには400MHz無線技術を併用するデュアルモード通信方式の開発を目的とした。通信特性と人体安全性の2側面から通信機的设计を行い、試作実験を通じて、提案方式が従来方式に対して高信頼性と高秘匿性という優位性を示すことができ、高品質なヘルスケア・医療BANの確立に大きく寄与した。

研究成果の概要(英文)：Wireless body area network (BAN) has attracted much attention for health care and medical applications in the aging society. A wearable ECG requires a data rate of several kbps at most, while an implant capsule endoscope requires more than 10 Mbps data rate. In this study, in view of this feature for vital signal transmission in the human body, we developed a dual-mode communication system in which the human body communication (HBC) technology was used for low-speed wearable communication, and the 400 MHz wireless technology was used for high-speed implant communication. The dual-mode transceiver structure was designed based on both the communication performance and the human body safety, and the experimental results demonstrated the effectiveness of the dual-mode system from the view-point of highly reliable and highly security transmission. The outputs of this study contribute largely to the establishment of health care and medical BANs.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：ボディエリアネットワーク 医療情報通信技術 人体通信 ウェアラブル通信 インプラント通信 電磁適合性

1. 研究開始当初の背景

人体無線網の医療・ヘルスケアへの適用には、主に3つの用途が考えられる。日常の健康状況や運動量などを知ることで健康管理に生ずる。患者の生体情報を常時無線でモニタリングすることにより、医師・看護師の負担を増やすことなくきめ細かい医療を提供する。また、収集したデータを基に診察し、或いは体内センサーを無線制御して薬を投与するといった医療行為を行う。在宅高齢者の生体情報を測定収集し、高齢者が在宅にいながら医師の見守り・診断が受けられるようにすることである。

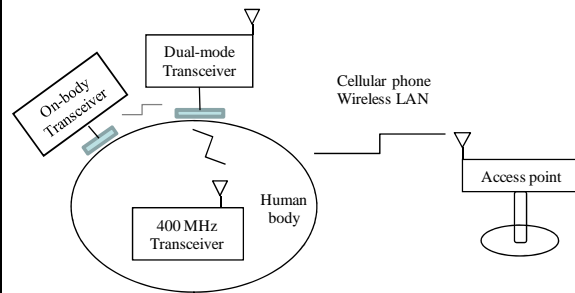
このような人体無線網の構築における技術課題の一つは利用周波数と通信方式の問題である。現有の適用可能な通信方式としては Bluetooth と Zigbee がある。先行するヘルスケア分野への人体無線網の適用は主に Bluetooth を利用している。しかし、Bluetooth は一つのピコネットに最大7つのセンサーしか使えない拡張性の問題がある。また、医療用を想定すると、血糖計センサーの 0.1kbps からカプセル型内視鏡の数十 Mbps までの幅広い伝送速度が要求され、Bluetooth や Zigbee での対応が難しい。このために、医療・ヘルスケアに特化した人体無線網の構築と標準化が必要であり、IEEE(米国電気電子学会)は 2007 年 11 月にタスクグループ IEEE802.15.6 を立ち上げ、医療・福祉用を主対象としたワイヤレスボディエリアネットワーク(BAN)の標準化活動をスタートさせた。この中で、人体表面に装着される通信デバイスでワイヤレスネットワークを構成する場合にはウェアラブル BAN、体内埋め込み型デバイスと体外コーディネータで構成するワイヤレスネットワークはインプラント BAN と分類され、400MHz, 900MHz, 2.45GHz, UWB (Ultra Wide Band) 及び人体通信技術(10~50MHz)の適用が検討されている。研究代表者はこれまでに、400MHz と UWB を対象に、インプラント BAN の伝送路モデルを開発し、通信方式の最適化評価を行ってきた。その結果、人体組織内での減衰量及び伝送速度の両面から総合的にみれば、400MHz 帯のインプラント BAN への適用は適切であることがわかった。

一方、数十 MHz 以下の周波数を利用し、人体自身を伝送路とする人体通信技術は、これまでに自動認証・決済などの分野での応用を中心に開発されてきた。高い伝送速度が期待できないものの、表面波伝送に近い性質を示し、信号が人体に沿って伝送され、外部への放射が極めて弱い特徴を有する。これらの特徴は 400MHz 帯に比べ低伝送損失と高秘匿性の面で有利である。しかし、最近の人体無線網の研究をみると、欧州、米国、日本で盛んに行われ、その将来性が大いに注目されているが、ウェアラブル BAN に利用されるのは殆ど UWB ハイバンドか 2.45GHz 帯である。医療・ヘルスケアのための無線網で要

求される高信頼性、高秘匿性、及び体表での低速伝送と体内での高速伝送の特徴を考えると、人体通信と 400MHz 無線通信を併用したデュアルモード通信方式が考えられる。つまり、体表面に配置される生体センサー間の通信には数 kbps の低速通信が十分であるため人体通信技術、体内埋め込みセンサー間との画像伝送のための高速通信には 400MHz 帯無線技術を利用する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ウェアラブル BAN には人体通信技術、インプラント BAN には 400MHz 帯無線技術を併用するデュアルモード人体無線網通信方式の開発である。その概念図は下図に示す。ウェアラブルデータとインプラントデータの両方を収集するコーディネータにデュアルモードの受信機能を持たせ、携帯電話やワイヤレス LAN を通して、それらのデータを病院や医療センタに送るものである。



研究代表者は、これまでに、ウェアラブル BAN のための UWB 伝送路モデルを開発し、代表的 UWB 変復調方式の人体表面での通信特性を明らかにした。また、400MHz 帯と UWB を利用したインプラント BAN 伝送路モデルの開発と通信方式の最適化を行ってきた。これらの研究においては、人体の計算機数値モデルの作成技術を開発し、様々な人体姿勢に対応可能となった。また、並列 FDTD (Finite Difference Time Domain) 法による電磁界シミュレーションツールを開発し、ボディエリアにおける大規模な電波伝搬特性の計算機シミュレーション技術を備えることができた。さらに、共同研究で、人体通信の伝送メカニズムを明らかにでき、人体通信機の最適設計を取り組んできた。

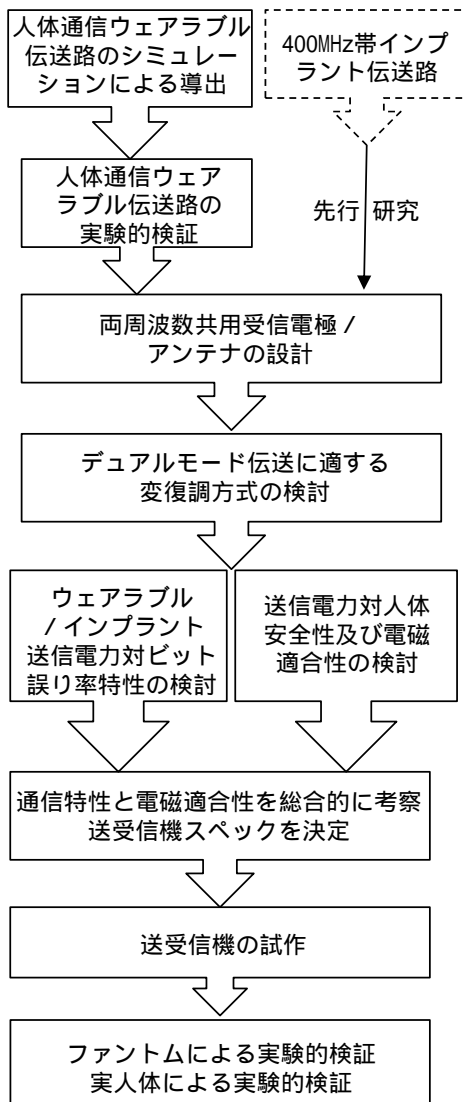
本研究は、研究代表者のこれまでの研究の延長線上に位置するものであり、人体通信技術と 400MHz 帯無線技術の併用による高信頼性・高秘匿性を旨としたデュアルモードボディエリア通信方式の開発を目的とする。具体的には、人体通信の伝送路特性の解明と伝送路モデルの構築、人体通信によるウェアラブル通信と 400MHz 無線によるインプラント通信の両方に対応可能なデュアルモード通信方式及び通信機の開発、及び人体及び医療デバイス(例えば心臓ペースメーカーやウェアラブル心電計)への電磁適合性(EMC)の確保が挙げられる。

3. 研究の方法

本研究は、人体通信技術によるウェアラブル BAN と 400MHz 帯無線技術によるインプラント BAN のデュアルモードボディエリア通信方式の開発を目的として、次のように実施する。

- (1) 実使用形態に則した人体数値モデルに対し、計算機シミュレーション及び検証実験により、人体通信の伝送路モデルを構築する。
- (2) 伝送路モデルを用いて、人体通信及び 400MHz 帯無線通信の両方に対応可能なデュアルモード通信機の構成を検討し、デュアルモード伝送に適する変復調方式を明らかにする。また、人体 SAR 特性と心臓ペースメーカーへの電磁干渉特性を定量化し、人体安全性が確保できる送受信機の構成を明らかにする。
- (3) 送受信機を開発し、本提案方式の有用性をファントム実験及び人体での実測により検証する。

以下に全体のフローチャートを示す。

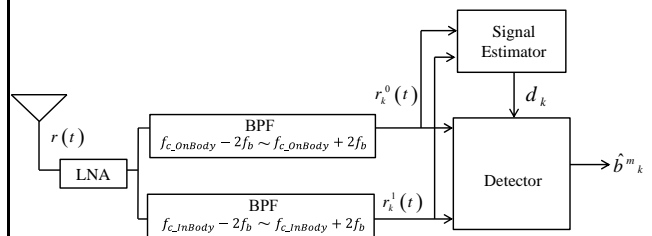


4. 研究成果

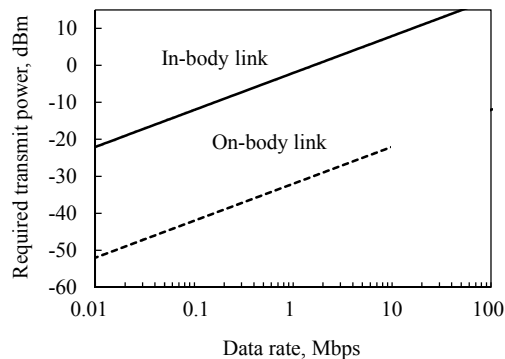
平成 24 年度では、人体通信伝送路モデルの構築とデュアルモード通信機構成の検討を中心として、次のように研究を遂行した。

まず、医療・ヘルスケア用を想定した代表的な姿勢の人体数値モデルを作成し、各種生体センサーの配置位置に対して、電磁界シミュレーションにより、人体通信伝送路のモデリングを行った。その結果、人体伝送路のパスロスモデルが導出でき、シャドウイング効果も標準偏差 2dB 程度の対数正規分布で表現できることを明らかにした。また、人体通信用小型電極を試作し、複数の人体に対して伝送路特性の実測を行い、伝送路モデルの妥当性を検証できた。

次に、人体通信の伝送路モデルと研究代表者の先行研究で導いた 400MHz 帯体内伝送路モデルを用いて、デュアルモード機能を備える受信機の構成を検討した。400MHz 帯アンテナとして平板型ミアンダグダイポールを提案し、その人体通信電極との共用可能性も計算機シミュレーションにより確認した。また、ウェアラブル BAN として 1Mbps、インプラント BAN として 10Mbps の伝送速度を目指し、デュアルモードの構成及び両周波数帯信号の分離が容易な変復調方式を検討した。平均ビット誤り率を評価指標とした計算機シミュレーションの結果、受信フロントエンド部に帯域フィルタを設けて両モード信号を分離する方式と OOK また PPM を用いたインパルスラジオ変調方式の併用が、受信機構成の簡易化及び十分な通信性能の確保に有利であり、それを基本としたデュアルモード送受信機の構成を下図のように決定した。

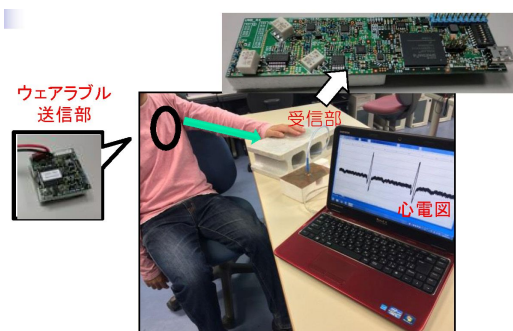


平成 25 年度では、まず人体通信によるウェアラブル BAN と 400MHz 帯無線によるインプラント BAN に伝送速度が 2 のべき乗関係を持たせた PPM 方式を採用し、デュアルモード受信機側では、まず人体通信周波数帯と 400MHz 帯の 2 個の帯域フィルタを用いてウェアラブル BAN 信号とインプラント BAN 信号を分離した。その後それぞれ検出されたエネルギーの大小と閾値との比較から信号の有無を判断し、信号ありと判断された場合にはエネルギー検波でデータの復調を行った。ウェアラブル及びインプラント伝送路における計算機シミュレーションの結果、ウェアラブル BAN では -20dBm の送信電力で 10Mbps の伝送ができ、インプラント BAN では 13dBm の送信電力では 30Mbps のデータ伝送が 15cm まで可能であることを明らかにした。



次に、ウェアラブルBAN及びインプラントBAN通信機の送信電力と人体SARとの定量関係を電磁界シミュレーションにより解析し、人体安全性の指標となる局所SARが10g当たり2W/kgを超えない送信電力20mW(13dBm)に対し、ウェアラブルBANでは100cm以上、インプラントBANでは17cmまで通信できることを明らかにでき、所要送信電力によるSAR値は人体安全指針値を下回ることを確認した。さらに、ウェアラブルBAN及びインプラントBAN通信機の送信電力と埋め込み型心臓ペースメーカーやウェアラブル心電計への電磁干渉電圧の定量関係を電磁的・回路的統合解析を行い、所要送信電力による心臓ペースメーカーへの干渉電圧が誤動作閾値に対し25dB以上の安全マージンを有することを示した。上述の検討結果を基に、通信特性と電磁適合性評価の2つの視点から総合的に考察し、デュアルモード通信機のスペックを決定した。

平成26年度では、これまでに検討し決定した通信機のスペックに従い、PPM方式デュアルモード通信機を試作し、その特性評価と検証実験を行った。まず、人体通信に基づく30MHzウェアラブルBANと400MHzインプラントBANの両方に用いられる平板型ミランダダイポールアンテナを試作し、ウェアラブル送信部とデュアルモード受信部はFPGA(Field Programmable Gate Array)、インプラント送信部は埋め込み型アンテナと信号発生器によって実現し、通信特性の定量評価を可能とした。次に、30MHzウェアラブル通信のビット誤り率(BER)特性及び心電図を例とした伝送を下図に示すように実人体にて行い、人体上半身(最大83dBの減衰量)までに 10^{-4} の物理層BERの実現が確認できた。また、ウ



ェアラブルで取得・伝送された心電波形は、医療関係者の協力を得て医用心電計で同時に測った結果と比較し、両者が0.95以上の高い相関係数を有することが確認できた。

一方、400MHz帯インプラント通信については、人体の平均的電気特性を模擬した液体ファントムに送信アンテナを挿入し、体内から体表への信号伝送を行い、その特性を測定した。その結果、十分な電磁適合性を確保可能な20mW(13dBm)の送信電力で体内20cmまで 10^{-3} 以下の物理層BERが実現できることを明らかにした。

よって、人体通信と400MHz帯無線を併用したデュアルモードBAN通信方式が提案・設計通り動作することが検証でき、従来方式に対して高信頼性と高秘匿性という優位性を示すことができた。今後、本方式の高品質な医療・ヘルスケアBANの確立と実用化への寄与が大きく期待できる。

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5件)

- (1) D. Anzai, S. Aoyama, M. Yamanaka, J. Wang, "Impact of spatial diversity reception on SAR reduction in implant body area networks", IEICE Transactions on Communications, vol.E95-B, no.12, pp.3822-3829, Dec. 2012.(審査有)
- (2) R. Chavez-Santiago, K. Sayrafian-Pour, A. Khaleghi, K. Takizawa, J. Wang, I. Balasingham and H.-B. Li, "Propagation models for IEEE 802.15.6 standardization of implant communication in body area networks", IEEE Communications Magazine, pp.80-87, Aug. 2013. (審査有)
- (3) J. Shi, Y. Takagi, D. Anzai and J. Wang, "Performance evaluation and link budget analysis on dual-mode communication system in body area networks," IEICE Transactions on Communications, vol.E97-B, no.6, pp. 1175-1183, June 2014. (審査有)
- (4) D. Anzai, S. Aoyama and J. Wang, "Specific absorption rate reduction based on outage probability analysis for wireless capsule endoscope with spatial receive diversity", IET Microwave Antennas & Propagation vol.8, no.10, pp.695-700, July 2014. (審査有)
- (5) W. Liao, J. Shi and J. Wang, "An approach to evaluate electromagnetic interference with a wearable ECG at frequencies below 1 MHz", IEICE Transactions on Communications, vol.E98-B, 2015 採択決定. (審査有)

[学会発表](計18件)

国際会議

- (1) D. Anzai, S. Aoyama, M. Yamanaka, J. Wang, "SAR reduction in implant body area networks

- with spatial diversity reception”, Proc. 7th International Conference on Body Area Networks, Oslo, Norway, Sept.24-26, 2012. (審査有)
- (2) K. Shikada, J. Wang, “Development of human body communication transceiver based on impulse radio scheme”, Proc. 2012 IEEE CPMT Symposium Japan, Kyoto, Japan, Dec. 10-12, 2012. (審査有)
- (3) Y. Takagi, D. Anzai, J. Wang, “Performance evaluation on dual-mode transceivers in wireless body area networks”, Proc. 7th International Symposium on Medical Information and Communication Technology, Kyoto, Japan, March 6-8, 2013. (審査有)
- (4) J. Wang, T. Fujiwara and D. Anzai, “Development of impulse radio HBC transceiver for vital signal monitoring of drivers”, Proc. 8th International Conference on Body Area Networks, Boston, USA, Sept 30 – Oct. 2013. (審査有)
- (5) J. Wang and R. Takenaka, “Analysis of EM interference voltage at cardiac pacemaker sensing circuit in human body communication”, Presented at 2013 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC), Taipei, Taiwan, EK-1, Sept. 3-7, 2013. (審査有)
- (6) D. Anzai and J. Wang, “EMI evaluation based on electromagnetic and circuit analysis for human body communication systems,” Proc. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.745-748, Tokyo, Japan, May 12-16, 2014. (審査有)
- (7) W. Liao, J. Shi and J. Wang, “Electromagnetic interference evaluation for a non-contact wearable ECG at low frequencies”, Proc. 8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology, Kyoto, Japan, March 24-26, 2015. (審査有)
国内会議
- (8) 鍵本圭吾, 藤原拓也, 安在大祐, 王 建青, “人体通信における送信電極構成の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2012-39, July 2012. (審査無)
- (9) 鍵本圭吾, 安在大祐, 王 建青, “人体通信における送信電極へのインダクタンス成分装荷による受信特性向上”, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-4-9, Sept. 2012. (審査無)
- (10) 藤原拓也, 安在大祐, 王 建青, “インパルスラジオ方式人体通信機の特性解析”, 電子情報通信学会医療情報通信技術研究会, Jan. 2013. (審査無)
- (11) J. Shi, D. Anzai and J. Wang, “Link budget analysis of a dual-mode transceiver system in body area networks”, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-4-30, Sept. 2013. (審査無)
- (12) 王 建青, 竹中隆哉, 安在大祐, “人体通信における生体信号センシング回路への電

- 磁干渉特性の電磁氣的・回路的解析”, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2013-56, Sept. 2013. (審査無)
- (13) 加藤 巧, 藤原拓也, 安在大祐, 王 建青, “On-Body BAN における人体通信機と 2.4GHz 無線機の伝送特性の比較実験”, 電子情報通信学会医療情報通信技術研究会, MICT2013-14, July 2013. (審査無)
- (14) 加藤 巧, 藤原拓也, 安在大祐, 王 建青, “人体通信による心電信号のリアルタイム伝送”, 第 28 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 6A-01, March 2014. (審査無)
- (15) 吉田瑤平, 高木祐貴, 光家隆司, 安在大祐, 王 建青, “人体伝送路におけるデュアルモード通信方式の特性評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, MICT2014-19, May 2014. (審査無)
- (16) 加藤 巧, 佐久間淳, 安在大祐, 王 建青, “IR 方式人体通信により伝送された心電信号の信頼性評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2014-20, July 2014. (審査無)
- (17) 加藤 巧, 佐久間淳, 安在大祐, 王 建青, “心電信号検出機能を有する人体通信機の信頼性評価”, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-20-6, Sept. 2014. (審査無)
- (18) 吉田瑤平, 安在大祐, 王 建青, “人体における 30MHz/400MHz デュアルモード通信の伝送路特性と BER 評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2014-77, Dec. 2014. (審査無)

〔図書〕(計 1 件)

J. Wang and Q. Wang, Body Area Communications, Wiley-IIEEE, 2013.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 生体通信装置, 生体通信システム
 発明者: 王 建青, 加藤 巧, 安在大祐
 権利者: 名古屋工業大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2014-243802
 出願年月日: 2014 年 12 月 2 日
 国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 取得年月日:
 国内外の別:

〔その他〕
 ホームページ等

<http://wlab.web.nitech.ac.jp/top.htm>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

王 建青 (Jianqing Wang)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70250694

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：