

平成21年5月25日現在

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19560376  
研究課題名（和文） On-Body Area 超広帯域電波伝搬モデルと伝送方式に関する研究  
研究課題名（英文） Study on On-Body Area Ultra Wideband Channel Model and Transmission Method  
研究代表者  
王 建青（WANG JIANQING）  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：70250694

## 研究成果の概要：

ユビキタス社会の実現に向けて、人体上で医療・ヘルスケアの応用を想定した無線ボディエリアネットワークの構築が期待されている。本研究では、人体表面における超広帯域通信の伝送路モデルを数値解析と実験的検証により開発し、それを用いて人体表面における超広帯域通信に適する変復調方式を検討・提案した。これにより、人体表面における超広帯域通信の特性が明らかにでき、医療・ヘルスケア分野に十分適用できることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信方式

キーワード：人体通信, BAN (Body Area Network), UWB (Ultra Wide Band), 伝送路, 変復調方式

## 1. 研究開始当初の背景

ユビキタス社会の実現に向けて、ウェアラブル情報機器とネットワークの統合が図られている。即ち、様々な情報を個人専用にカスタマイズした複数のウェアラブル情報機器を人体上に分散配置し、個人認証、自動決済など人体上で構成するBAN (Body Area Network) の構想が現実のものになるようとしている。また、高齢化社会の到来で、通信機能を有する人体埋込み型医療装置による医

療や生体情報の管理、遠隔治療など、いわゆる医療支援情報通信技術（医療ICT）の確立も期待されている。一例としては、リハビリ患者の心電図、血圧、運動機能などの生体情報をリアルタイムでモニタリングするシステムが挙げられる。これらを実現させるためには、身体や衣服に取り付けた小型通信機の間や人体周辺の通信機器との間で情報のやり取りが必要であり、ウェアラブル端末間の無線通信技術、体内埋め込み型センサ端末

と外部装置間の無線通信技術の確立が不可欠である。

一方、超広帯域 (UWB) 通信は、その名の通り、数 GHz にわたる帯域をもつ電力スペクトル密度の低い信号を用いて伝送を行う通信方式である。UWB システムは、米国連邦通信委員会 (FCC) の定義によれば、送信機の部分的帯域幅として 500 MHz 以上か、または中心周波数に対する占有帯域幅の比が 20% 以上を満たす無線システムの総称である。UWB は既存の通信方式と周波数帯域を共用して使用されるため、既存のシステムに影響を与えないように規制されている。その結果、スペクトルマスクの形状は矩形ではなく複雑な形をとっているため、UWB の周波数帯域と言えれば最大限に利用できる 3.1 ~ 10.6 GHz を指す場合が多い。UWB は本来、その超広帯域の特徴から、人体での散乱や反射などによるマルチパスの対策に有効であるが、その反面、GHz の周波数が利用されるため人体組織での減衰が大きい。しかし、人体周りでの伝送に限定すれば、周囲への不要放射が小さく、電磁環境、秘匿性の面で優位性を有する。UWB のこのような広帯域・小電力の特徴が BAN の要求する人体周辺数 m 範囲での高速・短距離通信の要件に合致し、その適用が有力と思われる。

しかしながら、人体周辺での UWB 電波伝搬特性は未解明の部分が多く、特にシステム設計に際して必要とされる広帯域の On-Body Area 電波伝搬モデルが確立されておらず、それ故に伝送方式の最適化には困難である。

## 2. 研究の目的

IEEE は最近ワーキンググループ 802.16 を立ち上げ、医療を主対象とした BAN の標準化を開始した。その標準化には On-Body Area における伝送路モデルの確立が不可欠であり、それを基に通信方式の標準化を議論しなければならない。

研究代表者は、従来から人体周辺の電波利用の研究を行ってきた。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、大規模な On-Body Area 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。

本研究では、On-Body Area における超広帯域電波伝搬モデルの確立及び通信方式の最適化を目的とする。具体的には、大規模計算機シミュレーション及び実験的検証により、(1) On-Body Area における超広帯域基本伝送損特性の解明、(2) On-Body Area における超広帯域伝送路モデルの確立、及び

(3) On-Body Area 超広帯域通信に適した変復調方式、伝送方式の最適化の検討を行う。

## 3. 研究の方法

本研究は、大規模計算機シミュレーション及び実験的検証により、On-Body Area UWB 伝送路モデルの開発及び通信方式の最適化を目指し、以下のように実施した。

### (1) On-Body Area における超広帯域伝送路モデルの開発

本研究グループで開発した任意人体姿勢が生成可能な計算機ツールを用い、FDTD シミュレーション用人体数値モデルを計 35 個生成した。図 1 にそれらのモデル例を示す。多様な利用形態を模擬している。また、人体表面での送信位置、受信位置を多数組み合わせ、並列 FDTD 法により人体表面における電磁界計算を行った。このとき、人体表面及び内部組織の超広帯域電気定数を Debye の分散式で近似し、超広帯域パルス励振に対応可能な Frequency-Dependent FDTD 法を用いた。各送信点においては点波源で励振し、受信点では無指向性アンテナの受信を仮定することにより、各々のアンテナ指向性を含まない人体表面での超広帯域距離減衰特性及び時間領域でのインパルス応答特性を求めた。これらのデータを元に、まず距離減衰特性の統計処理により、人体表面での伝送損の定式化を行った。次に、インパルス応答の統計処理により、電力遅延プロファイルを導出し、それを元にマルチパス振幅及び到着時間の統計分布を抽出した。最後に、これらの結果を総合的に表現する伝送路モデルを提案し、インパルス応答の生成法を開発した。

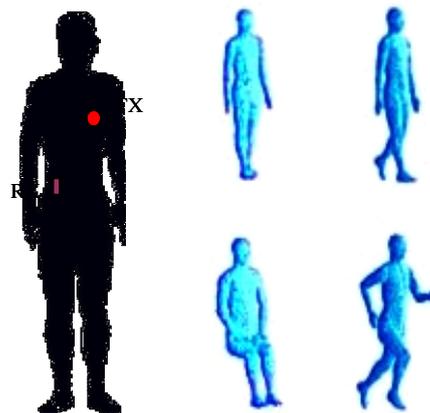


図 1 BAN の多様な利用形態における人体数値モデル

### (2) On-Body Area 通信に適した超広帯域変復調方式、伝送方式の最適化の検討

UWB 変復調方式に焦点を絞り、本研究で導出した UWB 伝送路モデルを適用したとき

の誤り率特性を計算機シミュレーションにより検討した。特に、パルス位置変調—タイムホッピング (PPM—TH) 変調方式に注目し、ビット誤り率が  $E_b/N_0$ 、伝送速度及び伝送距離との関係を検討した。そして、マルチパスによる特性劣化を軽減するために RAKE 受信機を適用し、その適用効果を明らかにした。さらに、人体安全性を担保するために、各変調方式を採用したときの人体組織における電磁エネルギーの吸収量、即ち SAR、単位質量当たり吸収される電力を FDTD 法により計算し、人体の電波防護指針との照合を確認した。上述二つの視点から総合的に判断し、On-Body Area における最適な超広帯域伝送方式の提案を試みた。

#### 4. 研究成果

本研究では、まず、多様な人体利用形態を考慮した On-Body Area 超広帯域伝送路モデルを開発した。35種類のシミュレーション用人体数値モデルを計算機上で生成し、人体姿勢、人体表面での送信位置、受信位置を多数組み合わせ、送受信間のインパルス応答を Frequency-Dependent FDTD 法により求めた。これらの統計平均により得られた平均電力遅延プロファイル  $p(t)$  の一例を図2に示す。図より、平均電力遅延プロファイルは、人体表面での反射や回折により複数のマルチパスが発生するが、それは1つのクラスターで表現でき、マルチパスの到着時間とともに指数的に減衰することがわかった。例えば、左胸から右腰の伝送路では指数減衰の時定数が 0.5ns であり、最初のマルチパスの平均電力利得が -70dB である。また、その他の代表的な通信路、特にヘルスケア・エンタテインメントを想定した5種類の代表的利用形態についても平均電力遅延プロファイルの定式化を行った。

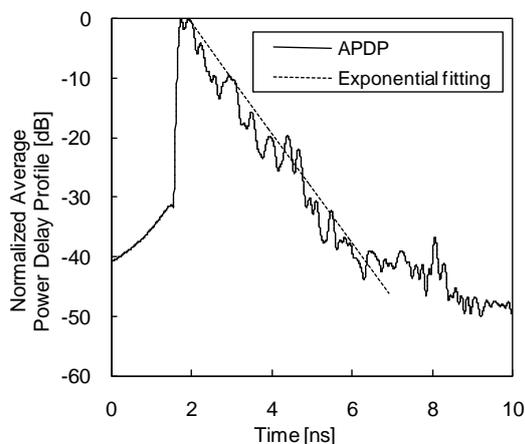


図2 平均電力プロファイル (左胸—右腰)

さらに、各マルチパスの振幅の変動及び到着時間間隔の変動を統計的に検証した結果、マルチパスの振幅は対数正規分布、到着時間間隔は逆正規分布に従うことがわかった。左胸から右腰の伝送路を例として示すと、対数正規分布に従う振幅変動の標準偏差は 7.8dB、逆正規分布に従う到着時間間隔の平均値は 0.33ns である。

これらの統計結果から Saleh-Valenzuela モデルに基づく On-Body Area 伝送路のインパルス応答モデルを提案した。インパルス応答  $h(t)$  は複数の離散的デルタ関数の組合せとして表し、即ち

$$h(t) = \sum_{k=0}^K \alpha_k \delta(t - \tau_k)$$

である。ここで、 $\alpha_k$  は対数正規分布、 $\tau_k$  は逆正規分布に従う。この伝送路モデルを元に On-Body Area 伝送路のインパルス応答の生成コードを MATLAB で開発した。図3にそれを用いて生成したインパルス応答の例である。50個のインパルス応答を重ねて示している。On-Body Area 伝送では、マルチパス数が5~6個程度であり、最初の4つのマルチパスに90%以上の伝送エネルギーは含まれている。なお、本伝送モデルの妥当性は、電波暗室においてネットワークアナライザを用いた被験者10名に対する測定結果との比較により確認した。

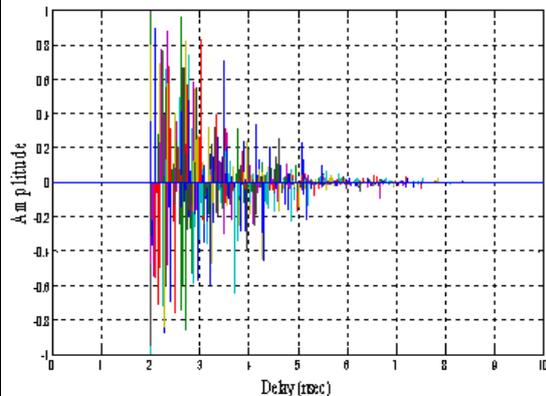


図3 インパルス応答例

次に、本 On-Body Area 伝送路モデルを用いて、超広帯域通信に有力とされる PPM—TH 方式及び Bi-Phase 方式のビット誤り率特性を計算機シミュレーションにより検討した。その結果、マルチパスフェージングにより、従来の同期検波では高速伝送が困難であることがわかった。これを対処するために、RAKE 受信の導入を試みた。その結果、2フィンガーの RAKE 受信機でも受信特性を大きく改善し、90Mbps の高速伝送が可能で

あることがわかった。図4に90Mbps伝送時のビット誤り率特性を示す。これらの検討を元に、受信特性の向上と受信機構造の簡易化のトレードオフとして、On-Body Area通信に適するPPM-TH変調、2フィンガーRAKE受信の送受信方式の構成を提案した。また、人体SARについて検討した結果、現在のUWB最大放射電力では人体安全性に対して30dBの安全マージンを有することがわかった。

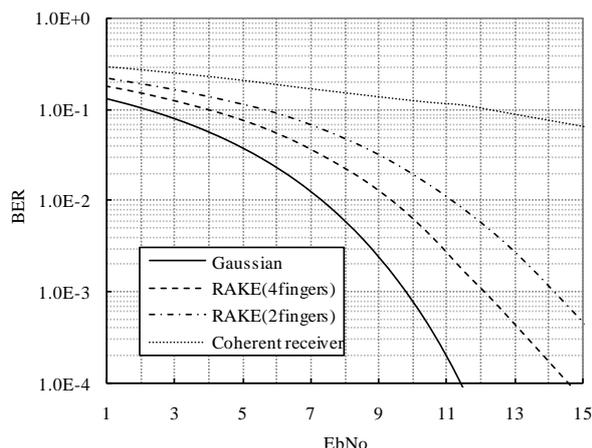


図4 平均ビット誤り率特性

以上のように、本研究により、多様な人体姿勢を考慮したOn-Body Area超広帯域伝送路モデルが確立された。インパルス応答の生成コードを公開することにより、各種の変復調方式の比較検討が可能となり、最適なOn-Body Area伝送方式が明らかになった。本研究の成果は、医療BANの標準化、実用化およびユビキタスネットワーク社会の実現に大きく貢献できると考える。

## 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 2 件)

①Q. Wang, T. Tayamachi, I. Kimura and J. Wang, “An on-body channel model for UWB body area communications for various postures,” IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. 57, no. 4, pp. 991-998, April 2009. (査読有)

②Q. Wang and J. Wang, “Performance of on-body chest-to-waist UWB communication link,” IEEE Microwave & Wireless

Components Lett., vol. 19, no. 2, pp. 119-121, Feb. 2009. (査読有)

[学会発表] (計 7 件)

①Q. Wang and J. Wang, “FDTD-derived on-body area UWB channel model,” 11th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications, Lapland, Finland, Sept. 8-11, 2008.

②Q. Wang and J. Wang, “On-body UWB channel modeling for two representative applications under various postures,” European Electromagnetics Conference, Lausanne, Switzerland, July 21-25, 2008.

③Q. Wang and J. Wang, “Bit error rate evaluation under SAR consideration for on-body UWB communication,” 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, 東京, July 17, 2008.

④Q. Wang and J. Wang, “SA/SAR analysis for multiple UWB pulse exposure,” 2008 Asia-Pacific Symp. on Electromagn. Compat., Singapore, May 19-22, 2008.

⑤Q. Wang, T. Tayamachi, and J. Wang, “On-body area UWB channel modeling for chest-to-waist link,” 電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会, 横須賀, March 7, 2008.

⑥Q. Wang, T. Tayamachi, and J. Wang, “An on-body area UWB channel model derived from a variety of human body postures,” 電子情報通信学会医療情報通信技術研究会, 東京, Jan. 11, 2008.

⑦T. Tayamachi, Q. Wang and J. Wang, “Transmission characteristics analysis for UWB body area communication,” 4th International Symposium on Electromagn. Compat., Qingdao, China, Oct. 23-25, 2007.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

王 建青 (Wang Jianqing)  
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

(3) 連携研究者