

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 18 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560395

研究課題名（和文） 医療支援インプラントBAN通信方式

研究課題名（英文） Communication Method of Implant BAN for Medical Application

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

研究成果の概要（和文）：

本研究では、人体内部と人体外部間の医療支援のためのインプラントボディエリアネットワーク（BAN）に適する通信方式の解明を目的として、400MHz帯とUWB帯を対象に、解剖学的人体数値モデルに対して伝送路モデルを構築し、それに適する通信方式の検討及び送受信機の試作を行った。また、通信性能（BER）と人体安全性（SAR）の二つの視点から総合的考察を行い、インプラントBANに適する400MHz帯FSKやUWB-IR方式における最大伝送速度、最大送信電力を解明し、ダイバーシチ受信によるBERとSARの同時向上策も提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, aiming at implant BAN realization, we developed in-body to on-body channel models for an anatomical human body model in 400 MHz band and UWB low band, respectively. With these channel models we investigated the modulation/demodulation schemes suitable to the in-body to on-body transmission, and developed an in-body to on-body transceiver for experimental validation. Based on a comprehensive consideration on both the communication performance such as BER and the human safety evaluation by SAR, we clarified the maximum data rate and permissible transmit power in the two frequency bands. Moreover, we also proposed the adoption and demonstrated the usefulness of diversity reception on improving the BER and SAR at the same time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式，生体医療通信，ボディエリアネットワーク（BAN）

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会の到来に伴い、通信機能を有す

る人体装着或いは埋込み型デバイス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 (MICT) の確立に対する期待がますます高まっている。例えば、人体埋め込み型バイオセンサの計測データや内視鏡の画像データを無線で人体外部に送り出したり、人体埋め込み型医療デバイスの動作を人体外部から制御したりすることが医療支援 ICT の典型的応用例である。生体情報・医療情報のワイヤレスネットワーク化により、医療の質の向上、医療の安全性・信頼性の向上、及び病院業務の負担軽減と効率化に有効である。

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サーバーで構成するワイヤレスネットワークはインプラント BAN と分類される。ウェアラブル BAN には、高速・低電力の超広帯域 (UWB) 通信方式の適用が有力とされ、研究代表者も平成 19~20 年度に学術振興会科学研究費補助金の援助により、On-Body Area の UWB 伝送路モデルを開発し、伝送方式の最適化評価を行い、その高い有効性を明らかにした。しかし、UWB 帯域の周波数が非常に高いため、これまでの研究で明らかにされたように人体組織内での減衰が大きく、インプラント BAN への適用は必ずしも最適な選択とは言えない。このために、IEEE802.15.6 ではウェアラブル BAN については UWB, インプラント BAN については医療用周波数の 400MHz 帯あるいは 900MHz 帯や 2.45GHz 帯の使用を検討している。

インプラント BAN の通信方式の標準化においては、無線伝送路モデルの確立が最優先課題であり、それを基にして各種通信方式の提案及び比較がはじめて可能となる。したがって、インプラント BAN の無線通信技術を確立させるためには、人体内外間の無線伝送路モデルの開発が緊急課題となる。また、通信機が人体内に埋め込まれるため、人体に対する安全性を考慮することが不可欠であり、安全指針の指標となる比吸収率 (SAR) がガイドラインを下回るレベルで人体内外間の通信を実現することが必須である。なお、医療支援用 BAN の研究は、北欧、米国、日本が先駆けて推進し、その将来性が大いに注目されたが、現状としてインプラント BAN は未だに伝送路モデルが未確立である。したがって、インプラント BAN のための通信方式の確立には、①伝送路モデルの開発、②通信方式の最適化、及び③人体安全性のための SAR 評価を包括的に行う必要がある。

2. 研究の目的

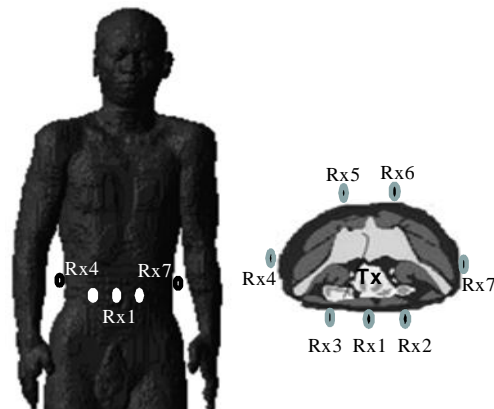
上述背景に踏まえ、本研究では、人体内部と人体外部間の医療支援のためのインプラント BAN に適する通信方式の解明及び最適化を目的とする。本研究におけるキーファクタとしては、(1) インプラント BAN における生体医療情報の伝送には 10Mbps 程度の伝送速度があればほぼ対応できるが、高い信頼性及び簡単な送受信機構造が要求されること、(2) 人体組織の電気特性が周波数に依存し、最適な周波数帯の検討が必要であること、及び (3) 埋め込みに適する低 SAR, 低消費電力の通信デバイスが実現できること、などが挙げられる。

3. 研究の方法

上述目的に向けて、本研究では、IEEE 802.15.6 で候補として挙げられた 400MHz 帯及び UWB 帯を対象に

- ①まず、解剖学的人体数値モデルを用いた大規模計算機シミュレーション及び検証実験により、各周波数帯における人体内外間の伝送損距離特性、送受信点変動による時間分散・遅延プロファイルなどのフェージング特性を解明し、各周波数帯での伝送路モデルを構築する。
- ②次に、これらの伝送路モデルを用いて、400MHz 帯については、代表的な周波数変調 (FSK) また位相変調方式 (PSK) を用いたときの、UWB 帯についてはよく採用されるインパルスラジオ (IR) 方式を用いたときの BER (Bit Error Rate) 対受信機埋め込み位置、BER 対送信電力の通信特性をシミュレーションにより明らかにする。
- ③さらに、各周波数帯での人体埋め込み位置ごとの体内 SAR を、人体数値モデルを用いた計算機シミュレーションにより求め、伝搬損、BER、及び SAR 特性を総合的に判断し、インプラント BAN に適する周波数帯及び変復調方式を解明する。

4. 研究成果



初年度では、IEEE802.15.6 の標準化グループで検討されている 400MHz 帯と UWB 帯を中心に、解剖学的人体数値モデルを用いた大規模計算機シミュレーションにより人体内外伝送路モデルの構築を行った。インプラント BAN の応用を想定し、前図に示すように送信機を心臓（ペースメーカー想定）また消化器官（カプセル内視鏡想定）に位置させ、体表・体外受信機との伝搬損が距離の n 乗に逆比例する伝搬損モデルを導出した。即ち、

$$PL_{dB} = PL_{0,dB} + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + S_{dB}$$

ここで、PL は伝搬損、n はべき指数、d は送受信間距離、PL₀ は参考距離 d₀ での伝搬損、S は対数正規分布を満たすシャドイング変動である。下表にカプセル内視鏡を想定した時の伝搬損モデルの諸パラメータを示す。表からわかるように、UWB に比べ、400MHz 帯における人体伝搬損及びシャドイングは遥かに小さいことがわかり、Mbps を超える高速伝送を必要としなければ、400MHz 帯がインプラント BAN に適しているといえる。

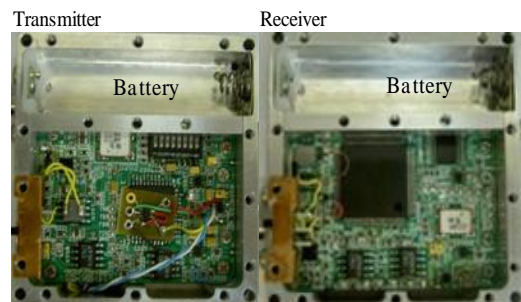
	n	PL ₀ [dB]	σ [dB]
400MHz	5.5- 6.6	40 - 50	2.0-2.2
UWB	6.2-12.8	44 - 52	7.1-8.5

また、送信機の移動に伴うフェージング特性も計算機シミュレーションにより抽出し、インパルス応答を用いた動的伝送路モデルを構築した。特に高速伝送を可能とする UWB ローバンドについては、基本的に 2パスモデルで伝送路特性が表せることを示し、その妥当性もシミュレーション結果との比較を通して検証できた。即ち、最初のマルチパス成分は体内から体外への直接波であり、生体組織による散乱・反射で生じたその他のマルチパス成分は 2 番目のマルチパス成分としてまとめて表せることを見出した。なお、カプセル内視鏡を想定した時の 2パス伝送路モデルの諸パラメータを下表に示す。また、このように構築した伝送路モデルを発生させるための数値コードは Matlab で作成しており、一般に公開している。

	項目	統計分布	パラメータ
第 1 パス	利得	対数正規	平均: -89dB 標準偏差: 16.8dB
	到着時間	逆ガウス	平均: 1.3ns 形成係数: 7.5ns

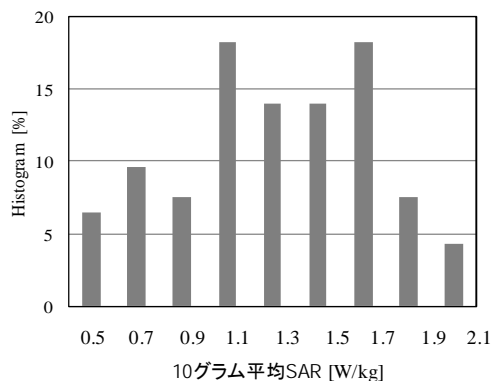
第 2 パス	利得	対数正規	平均: -102dB 標準偏差: 16.8dB
	到着時間	逆ガウス	平均: 2.7ns 形成係数: 7.5ns

このようなインプラント BAN 伝送路モデルの構築結果に踏まえて、2年度目では通信方式の検討及び送受信機の試作を行った。まず、400MHz 帯においては、代表的な狭帯域変調方式に対する BER 特性をシャドイングフェージング環境下で求め、受信ダイバーシチ構成による BER 特性の向上法を示した。次に、カプセル内視鏡への適用を想定した 10 Mbps の高速伝送を目指し、UWB ローバンドにおいて 1 ビットを 7 チップで情報ビットを拡散し、チップの "1" と "0" を UWB パルスの有無に対応させる OOK (On-Off Keying) 変調方式と、包絡線検波を基本とした復調方式の組み合わせを、回路構成の容易さと通信特性の確保の観点から、計算機シミュレーションにより見出した。また、本インパルスラジオ UWB (UWB-IR) 方式を用いたときの BER 特性を前年度で構築したフェージング伝送路モデル下で求め、受信ダイバーシチによる BER の改善効果も明らかにした。これらの検討を基に、高速、低消費電力、簡単構成を軸に、UWB-IR 方式を採用した UWB ローバンドで動作するインプラント BAN 用送受信機を試作した (写真参照)。評価実験の結果、10Mbps の伝送速度、70 dB の人体内外間の伝搬損に対応できる性能が得られた。さらに、人体胴体部を筋肉の電気特性を有する液体ファントムで模擬し、本試作送受信機を用いて、体内から体表への伝送実験を行った。その結果、体内 8cm の深さまで内外部間通信ができることが確認できた。



最終年度では、人体安全性を担保するために、400MHz 帯と UWB ローバンドにおける体内想定送信機位置における電磁エネルギーの吸収量、即ち局所 SAR を計算した。特に、狭帯域の 400MHz 帯については、解剖学的人体数値モデルにカプセル内視鏡用小型

アンテナを埋め込み，FDTD (Finite Difference Time Domain)法を用いて，計90ヶ所の消化器内のカプセル想定位置における局所 SAR を求めた．また，カプセル内視鏡の移動を考慮したフェージングチャンネルモデルにおける通信特性の解析結果を基に，一定の通信品質，例えば 10^{-3} の BER を確保するために必要な送信電力を算出した．この送信電力下における体内90ヶ所の10グラム平均局所ピーク SAR の統計分布を求め，局所ピーク SAR の平均値・中央値・最頻値，及び人体の電波防護指針と照合した場合の安全指針値を超える場所的確率を明らかにした．例えば，下図に示すように， 10^{-3} のビット誤り率，20Mbps の高速伝送を実現しようとするとき，25mW の送信電力が必要であり，そのときにカプセル内視鏡が体内で移動しながら 2W/kg の局所 SAR 指針値を超える確率が 4%に達することを明らかにした．



一方，UWB 方式を採用すると，SAR 値を極めて低く抑えることができる一方，通信品質の確保にはさらなる工夫を要する．そこで，体表に複数の受信機を設置するダイバーシチ受信方式の導入を提案し，2ブランチ受信ダイバーシチの適用で，体内から10Mbps以上の高速伝送を実現しつつ，10dB 前後の所要送信電力及び SAR の低減も実現できる送受信システムの最適化を行った．

これらの結果から，通信の BER と人体安全性の SAR の二つの視点から総合的考察を行うことが可能となり，インプラント BAN に適する 400MHz 帯 FSK や UWB-IR 方式及びそれらにおける最大伝送速度，最大送信電力が解明できた．

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 4 件)

① J. Wang, K. Masami and Q. Wang, "Transmission performance of an in-body to off-body UWB communication link,"

IEICE Trans. Commun, vol.E94-B, no.1, pp.150-157, Jan. 2011. (審査有)

② J. Shi and J. Wang, "Dual-mode impulse radio ultra-wideband transmission for body area networks," IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol.5, no.10, pp.1250-1255, April 2011. (審査有)

③ I. Kimura and J. Wang, "On-body area UWB channel modeling including reflection from surroundings", IEICE Trans. Commun., vol.E94-B, no.9, pp. 2492-2495, Sept. 2011. (審査有)

④ Q. Wang and J. Wang, "Performance of ultra wideband on-body communication based on statistical channel model," IEICE Trans. Commun, vol.E93-B, no.4, pp.833-841, April 2010. (審査有)

[学会発表] (計 15 件)
以下に国際会議のものだけ記す.

① S. Aoyama, D. Anzai and J. Wang, " SAR evaluation based on required BER performance for 400 MHz implant BANs," Proc. Asia-Pacific EMC Symp., May 21-24, 2012, Singapore. (審査有)

② J. Shi, D. Anzai, J. Wang, "Performance analysis of diversity effect for in-body to on-body wireless UWB link," Proc. 4th Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Commun. Tech., Oct. 26-29, 2011, Barcelona, Spain. (審査有)

③ D. Anzai, S. Aoyama, and J. Wang, " Performance analysis on equal gain combining diversity receiver for implant body area networks," Proc. 4th Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Commun. Tech., Oct. 26-29, 2011, Barcelona, Spain. (審査有)

④ J. Shi and J. Wang, " Channel characterization and diversity feasibility for in-body to on-body communication using low-band UWB signals," Proc. 3rd Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Commun. Tech., Nov. 7-10, 2010, Roma, Italy. (審査有)

⑤ Q. Wang, K. Masami and J. Wang, "Channel modeling and BER performance for wearable and implant UWB body area links on chest," Proc. 2009 IEEE Int. Conf.

on Ultra-Wideband, Sept. 9-11, 2009, Vancouver, Canada, pp.316-320. (審査有)

⑥ J. Wang and Q. Wang, "Channel modeling and BER performance of an implant UWB body area link," Proc. 2nd Int. Symp. on Applied Sciences in Biomedical and Communication Tech., Nov. 24-27, 2009, Bratislava, Slovak, pp.1-4. (審査有)

[図書] (計 1 件)

Q. Wang and J. Wang, Neonatal Monitoring Technologies: Design for Integrated Solutions, IGI Global, 2012, Chapter 6, pp.125-147.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：人体無線網用通信システム
発明者：王 建青
権利者：名古屋工業大学
種類：特許
番号：特願 2011-131173
出願年月日：2011 年 6 月 13 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：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

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

研究者番号：

(3)連携研究者

研究者番号：