

インプラントデバイスにおける高速・高信頼化を実現する 超広帯域無線通信方式の研究開発 (145106002)

Study on Reliable and High-Speed UWB Communications for Implantable Devices

研究代表者

安在 大祐 名古屋工業大学

Daisuke Anzai, Nagoya Institute of Technology

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

概要

本研究は高信頼・高速伝送を可能とするインプラント無線通信の確立を目指し、UWB (Ultra WideBand) low-band (3.4-4.8GHz) 帯インプラント通信方式の開発を実施した。まず、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)技術に着目し、インプラントデバイスにも設置可能なダイバーシティアンテナを開発し、計算機シミュレーションや実験評価から、開発アンテナは UWB 帯でダイバーシティ効果が期待できる特性が得られることが示された。そして、開発アンテナを用いた MIMO 伝送方式として、固有モード伝送法とダイバーシティコーディング法を検討し、それぞれのスループット特性を明らかにした。加えて、インプラントデバイスの送信電力の最適化も検討し、人体影響量や体外放射電力を抑えながら所要の通信特性が得られる送信電力レベルの定量的関係も導出した。これらの結果を総括し、UWB 帯 MIMO 伝送を行う試作機開発を開発し、実環境における開発方式の特性評価を実施した。その結果、カプセル内視鏡での高精細な画像伝送もサポート可能なパルスレート 100MHz 超の UWB-Impulse Radio (IR)方式の実現を達成した。

1. まえがき

本研究は医療 ICT の 1 つの応用であるインプラント医療デバイスの無線通信に焦点を当て、高信頼・高速伝送を可能とするインプラント無線通信の確立を目指し、既存技術である 400MHz 帯という低周波数にとどまっていた周波数帯を GHz 帯まで高周波数化し、インプラント無線通信の周波数利用帯域の拡大を目的とする。そこで、UWB low-band (3.4-4.8GHz) 帯に焦点を当て、UWB 帯の利点であるアンテナの小型化を活かした MIMO 技術、および、送信電力と変復調方式の最適化を行う。インプラント無線通信の高信頼・高速伝送方式の開発、そして、実環境において試作機による本研究開発方式の特性評価を実施する。

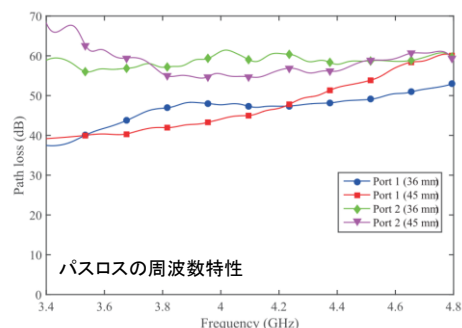
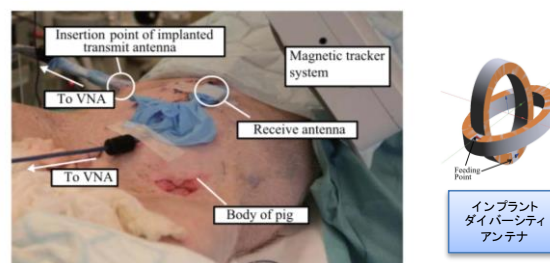
2. 研究開発内容及び成果

2.1 インプラント通信における送受信ダイバーシティアンテナの開発

高周波数帯を利用する 1 つのメリットにアンテナの小型化があり、本研究開発で利用する UWB low-band においてアンテナ形状を工夫することでインプラント機器(カプセル内視鏡)内に複数設置可能なダイバーシティアンテナの開発を実施した。さらには、本研究により開発した 2 ブランチの偏波ダイバーシティアンテナの基礎特性を電磁界解析手法の 1 つである Finite Difference Time Domain (FDTD)法により求めた。評価環境として人体を模擬した数値モデル中に開発アンテナを配置し、アンテナの反射係数特性と互いのアンテナがどの程度結合し、互いに影響を及ぼすかを示す S_{21} 特性を評価した。その結果として、アンテナ反射係数特性の観点では、 S_{11} (給電点 1 側)での-10dB 帯域幅は 3.6-4.5GHz、 S_{22} (給電点 2 側)の-10dB 帯域幅が 3.2-5.4GHz とそれぞれなっている。さらに、アンテナ間の結合特性を示す S_{21} および S_{12} 特性を見ると、UWB low-band の範囲において-30dB 以下を達成でき、双方のアンテナ間の影響は極めて小さいことが示された。以上の結果より、本開発ダイバーシティアンテナはインプラント通信において十分適用可能であると言える。また、受信側のダイバーシティアンテナは体表に設置できる点を利用し、小型の平板不平衡ダイポール型の UWB アンテナを複数配置することで実現される。

2.2 人体中における UWB 信号の無線伝搬特性の解析

本開発ダイバーシティアンテナを用いて、人体中における UWB 信号の無線伝搬特性を導出した。まずはパスロス特性について導出を行い、3.4-4.8GHz の周波数帯において周波数依存性を考慮した伝搬特性パラメータを導出した。本解析により、インプラント通信路は距離のべき乗で減衰するパスロスモデルと対数正規分布によって変動する瞬時変動モデルにより表現できることを確認した。加えて、人体内に UWB 通信機が配置されたときの送信電力と生体影響量 (SAR: Specific Absorption Rate) の関係なども定量的に評価を実施した。



ダイバーシティアンテナ間の相関係数

	3.4-4.8 GHz	3.4-3.6 GHz	3.4-4.1 GHz
FDTD simulation	0.30	0.08	0.18
Phantom experiment	0.47	0.04	0.31
Living animal experiment	0.84	0.51	0.76

図 1. ダイバーシティアンテナの実験評価

2.3 MIMO による高速伝送方式の開発及び評価

本研究で開発した送受信ダイバーシティアンテナの評

価及び MIMO 伝送の伝送特性の評価を行った。開発した送信ダイバーシティアンテナの評価では、実生体（ブタ）を用いた実験環境において実施した。図 1 はブタを用いたダイバーシティアンテナ評価の実験環境、及びその結果を示す。本動物実験において、ベクトルネットワークアナライザを用いて測定を行い、送信アンテナの各ポートを Port1, 2 にそれぞれ接続し、受信アンテナを Port3 に接続した。送信アンテナはブタの体内に配置し、受信アンテナは体表上に設置した。図 1 は本実験によって得られた各ダイバーシティアンテナにおけるパスロス (S_{31} 特性, S_{32} 特性) の周波数特性を示す。また、相関係数においても、計算機シミュレーションやファントム実験においてだけでなく、動物実験においてもダイバーシティ効果が期待できる低い相関係数が得られた。そして、図 2 は本研究開発により製作したダイバーシティアンテナをインプラント送信機に搭載した場合の通信特性評価の 1 例として瞬断率特性を示す。この結果より送信ダイバーシティアンテナを用いることにより通信可能距離が大きく向上していることがわかる。

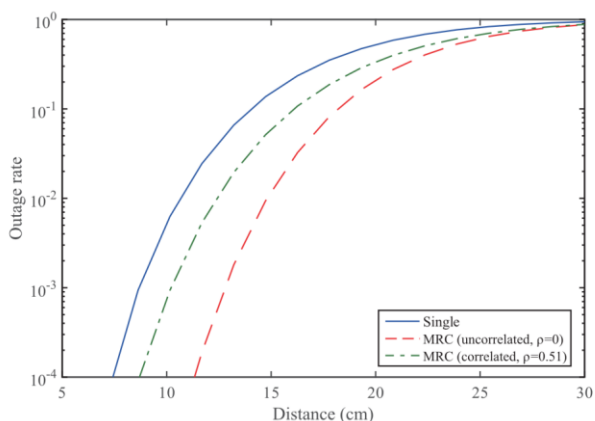


図 2. インプラント MIMO-UWB 伝送の解析例

2.4 インプラント UWB 通信機の試作機開発と評価

前述の送信ダイバーシティアンテナを用いた 2×4 MIMO 伝送によるインプラント UWB 通信機の試作機を開発した。送信側には 2 つの SMA コネクタがあり、それぞれのポートから個々のダイバーシティアンテナが接続される。一方、受信機は 4 ダイバーシティブランチが接続可能なシステムとなっており、各ブランチで受信した信号を最大比合成する FPGA 部を有する。なお、本システムでは UWB パルスのパルスレートは 133MHz となっており、高精細な画像伝送もサポート可能である。本試作システムの特性評価を生体等価液体ファントム実験により評価を実施した結果、パルスレート 133MHz を実現しながら MIMO 伝送により人体内の通信可能領域を十分に拡大できることを確認した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

インプラント通信技術は主に医療・ヘルスケア用途の無線通信ネットワーク技術 BAN (Body Area Network) 技術の研究領域の 1 つであるため、BAN 技術標準化において本研究開発成果に基づいた提案を行うことで本成果の波及効果創出が期待される。加えて、IoT (Internet of Things) を始めとする技術分野と関連させることで、インプラント通信の新しい利用形態の創出に向けて取り組みを行っている。

4. むすび

本研究開発は高信頼・高速伝送性が求められるインプラント通信において、高周波数帯の利点を活かした MIMO 伝送に基づく通信方式の研究開発を行った。本研究開発により検討した方式に対して、電磁界解析によるシミュレーション評価、生体等価液体ファントム及び実生体（ブタ）における実験評価を通して本研究開発方式の有効性を確認した。

【誌上発表リスト】

- [1] Y. Shimizu, D. Anzai, R. C-Santiago, P. A. Floor, I. Balasingham, and J. Wang, "Performance evaluation of an ultra-wideband transmit diversity in a living animal experiment", IEEE Trans. Microw. Theory Tech. (accepted for publication).
- [2] Daisuke Anzai, Masahiro Ohta, Yuto Shimizu, Ilangko Balasingham, and Jianqing Wang, "Development and Experimental Evaluation on Implant UWB-MIMO Transmission," in Proc. IEEE EMBC, Jeju, Korea, July 2017.
- [3] Y. Shimizu, T. Furukawa, D. Anzai, and J. Wang, "Performance improvement by transmit diversity technique for implant ultra-wideband communication" IET Microwaves, Antennas & Propagation, no. 10, vol. 10, pp. 1106-1112, Oct. 2016.

【申請特許リスト】

- [1] 清水悠斗、安在大祐、王建青、インプラント通信用送信アンテナおよびそれを用いた UWB 通信システム、日本、2014 年 11 月 19 日

【国際標準提案リスト】

- [1] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), TC SmartBAN, "Implant Communications in SmartBAN" May 2017

【参加国際標準会議リスト】

- [1] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), TC SmartBAN meeting#13, Nice, France, April. 2017.
- [2] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), TC SmartBAN meeting#12, Lisbon, Portugal, Feb. 2017.
- [3] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), TC SmartBAN meeting#11, Nice, France, Oct.

【受賞リスト】

- [1] 安在大祐、勝健太、Raul Chavez-Santiago、Qiong Wang、Dirk Plettemeier、王建青、Ilangko Balasingham、電気通信普及財団賞テレコムシステム技術賞奨励賞、2016 年 3 月 24 日
- [2] 安在大祐、高柳健次郎財団研究奨励賞、"インプラント医療通信における大容量画像伝送に関する研究"、2016 年 1 月 20 日
- [3] 安在大祐、2015 IEEE MTT-S Japan Young Engineer Award、"Experimental Evaluation of Implant UWB-IR Transmission with Living Animal for Body Area Networks"、2015 年 11 月 26 日

【報道掲載リスト】

- [1] "カプセル内視鏡性能アップ、画像鮮明胃検査にも"、中日新聞 1 面、2015 年 1 月 5 日
- [2] "インプラント医療通信普及へ高品質化"、中部経済新聞、2014 年 11 月 4 日
- [3] "飲む内視鏡で即時診断へ"、日刊工業新聞、2014 年 10 月 15 日