



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

High-Speed Image Data Transmission for Implant Medical Communication

安在 大祐
Daisuke Anzai

名古屋工業大学 大学院工学研究科
〒466-8555 名古屋市御器所町昭和区昭和区御器所町
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi, 466-8555, Japan

1. 序論

近年、無線通信技術の発展に伴い、人体周辺に情報機器を配置して構成する人体無線網 (BAN: Body Area Network)の研究が盛んに行われている。BAN は情報機器に生体センサを組み込むことで患者の生体情報をリアルタイムで取得することが可能となるため、医療・ヘルスケア分野への応用が期待されている。BANは大きくウェアラブルBANとインプラントBANの2つに分類される。ウェアラブルBANは情報機器を人体表面に配置して人体表面同士で通信を行うものであり、応用例として心電計や血圧計が挙げられる。一方でインプラントBANは人体内外もしくは人体内同士で通信を行うものであり、応用例としてカプセル内視鏡が挙げられる。カプセル内視鏡は従来のワイヤー型の内視鏡と異なり、患者がカメラや通信機器を搭載したカプセルを飲み込むことで消化管内部の動画を外部へ無線で伝送する医療機器である。これにより従来では困難であった小腸内部の検査を行うことができる。さらにカプセル内視鏡は患者がケーブルを飲み込む必要が無いため、患者の身体的負担が軽減され、より小さい身体的負担で消化

器官内の検査を行うことが可能となるという利点がある。

現在のカプセル内視鏡で主流な周波数帯は 400 MHz MICS (Medical Implant Communication Service) 帯であるが、狭帯域周波数帯の制限を受けるため、データレートは数百 kbps 程度に制限される。一方でカプセル内視鏡はリアルタイムで画像伝送を行うため、数Mbps以上の高いデータレートが求められる。そこで本研究は、高速伝送が実現できる周波数帯域である UWB (Ultra WideBand)帯に注目した。UWB 帯のもう1つのメリットとしては、高い周波数帯域幅により距離の分解能が飛躍的に向上し、UWB 帯による高精度なインプラント機器位置推定も実現可能となる。しかしUWB帯は400 MHz MICS帯に比べて人体内での信号減衰が大きくなるため、通信の信頼性が低下してしまう懸念がある。無線通信の信頼性の向上の手法として送受信機に複数のアンテナを用いる MIMO (Multiple Input Multiple Output)伝送方式が挙げられる。本研究では、インプラント伝送にも適用可能な MIMO 伝送方式及び UWB パルスに基づいた位置推定法の構築を実施する。位置推定方式においては送信パルスのスペクトル波形により距離分解能の向上の検

討を行った。UWB MIMO 伝送方式の開発においては IR (Impulse Radio)方式を用いた MIMO 伝送によるインプラント通信の伝送実験を行い、その特性評価を行う。

2. UWB 通信方式と MIMO 伝送

UWB-IR 方式では、送信機側でパルスジェネレータによって UWB 帯パルスが生成される。このパルスは時間的に非常に短いため、高速伝送性を維持しながら省電力化が可能となる。また、搬送波再生回路が不要となり送信機の回路構成を単純にすることができるため、回路規模を小さくすることができる。この方式では送信データをパルス変調方式にもとづいて変調し、UWB-IR 送信信号を得る。パルス変調方式として、オンオフキーイング(OOK: On-Off Keying)方式、パルス位置変調(PPM: Pulse Position Modulation)方式、マルチパルス位置変調(MPPM: Multi Pulse Position Modulation)方式が挙げられる。復調方式としては、送信信号のレプリカと受信信号の相関値から復調する相関検波方式や受信信号のエネルギー値から復調するエネルギー検波方式が挙げられる。

通信の伝送速度や信頼性を向上させる手段として送信側、受信側の双方において複数のアンテナを用いる MIMO 伝送が挙げられる。MIMO 伝送を行う際には、多重化による伝送速度向上を目的とした固有モード伝送と信頼性向上を目的としたダイバーシチコーディング法に大別されるが、本研究はダイバーシチコーディング法による MIMO 伝送に着目する。ダイバーシチコーディング法では、複数のダイバーシチブランチ信号を合成するが、このときのダイバーシチ合成手法として選択合成法、等利得合成法などが挙げられる。本研究では等利得合成法を採用する。

UWB 帯パルスを用いた位置推定方式においては、パルスの到来時間を推定することによって送受信間距離を推定する方式に着目した。UWB 帯パルスは人体内を伝搬するため、信号の伝搬速度は人体

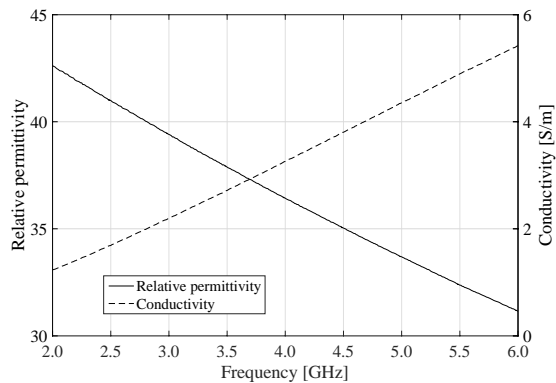


図1 ファントムの電気定数

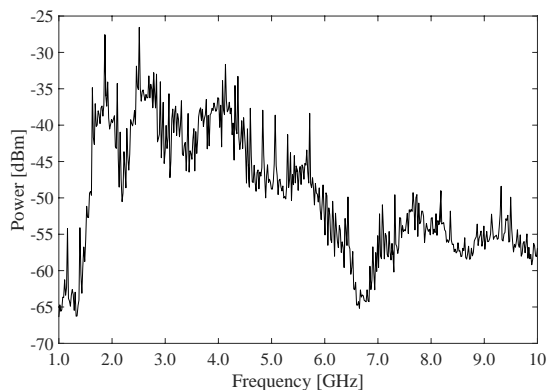


図2 UWBパルスの周波数スペクトル

により影響を受けるため、信号到来時間の推定には信号伝搬速度推定を行う必要がある。そこで、本研究はパルスの伝搬速度と送受信間距離を同時に推定可能なパーティクルフィルタによる方式を採用する。本方式により、伝搬速度推定とインプラント機器位置の同時推定が実現される。

3. 実験評価環境

本研究では UWB low-band 帯におけるインプラント通信環境下での MIMO 伝送の有効性を評価するために、インプラント通信環境下での BER (Bit

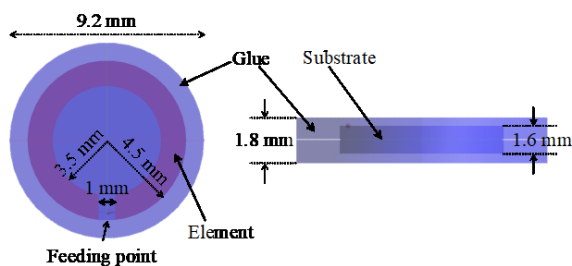


図3 UWB帯送信アンテナの構造

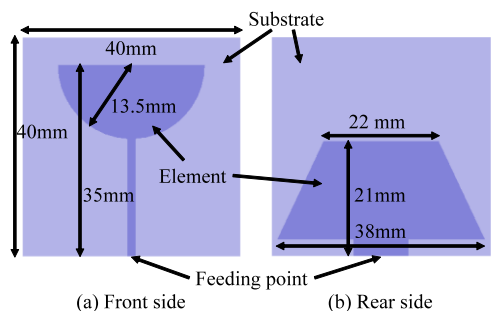


図4 UWB帯受信アンテナの構造

Error Rate)測定実験を行った。実験ではインプラント通信環境下を模擬するために生体等価液体ファントムを用いた。図1に液体ファントムの電気定数を示す。また本研究では実験機器としてUWB送受信機、及びアンテナを用いた。以下に使用した実験機器、及び実験環境について述べる。

パルス変調方式としてOOK方式の場合と拡散系列による直接拡散方式(DSSS: Direct Sequence Spectrum Spreading)を用いた。送信機にはポートが2つ存在し、最大で2つの送信アンテナを接続することが可能な機構となっている。図2に送信信号の周波数スペクトルを示す。2ダイバーシチアンテナを用いる場合にはダイバーシチ合成手法として0.5 secごとに切り替える選択合成法を用いた。また、受信機にはポートが4つ存在し、最大で4つの受信アンテナを接続することが可能である。受信を有効にするポートは任意に選択することができ、受信ダイバーシチ合成手法には等利得合成法を用いた。また、図2の周波数スペクトル特性から信号伝送帯域幅を5 GHz程度確保できており

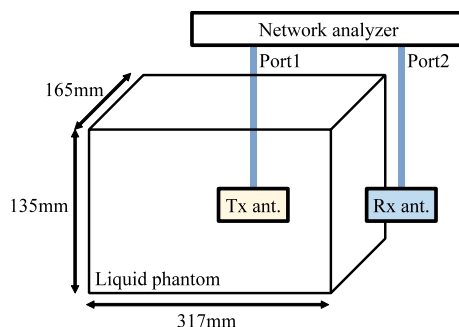


図5 アンテナ特性測定環境

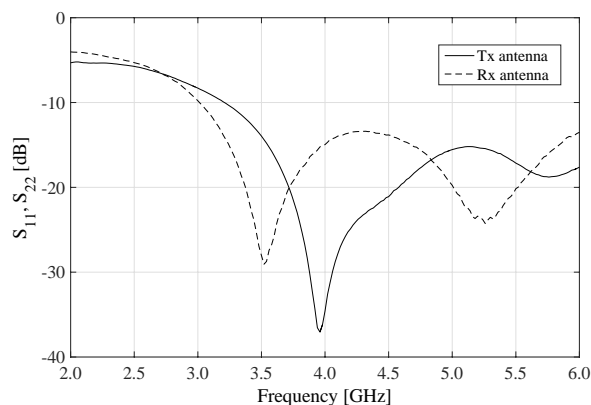


図6 アンテナ反射係数特性

1mmの距離分解能を達成できる見込みが大きい結果を得た。

インプラント通信環境下で無線通信実験を行うためにはインプラント通信に適したアンテナの製作が必要である。送信アンテナは人体内部で使用することを想定しているため、本研究では液体ファントム内での使用に適したアンテナを製作した。図3に製作した送信アンテナの構造を示す。比誘電率4、厚さ1.6 mmの誘電体基板上に幅1 mmのアンテナエレメントをループ構造で設計した。エレメントの外径は4.5 mm、内径は3.5 mmである。給電方法は、アンテナの給電点にセミリジッドケーブルを直接はんだ付けすることで実装した。またこのアンテナは生体等価液体ファントム内で使用して実験するが、ファントムとアンテナエレメントが直接接触しないようにアンテナの周囲を比誘電率2.2、厚さ0.1 mmのポリエチレンを主成

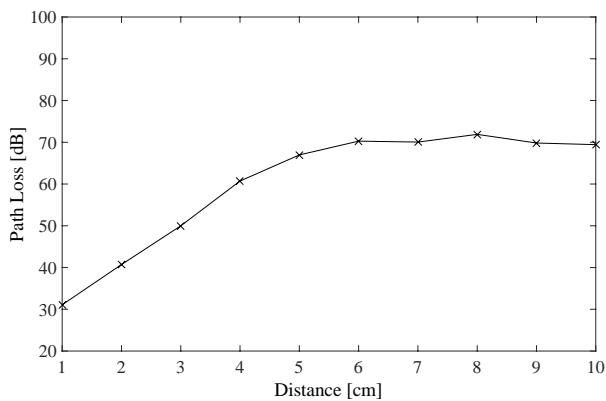


図7 ファントム環境のパスロス特性

分とするグルーで覆った。また、受信アンテナは人体表面で使用することを想定し、液体ファントム表面での使用に適したアンテナを製作した。図4に製作した受信アンテナの構造を示す。送信アンテナに用いた基板と同様の電気的特性を持った誘電体基板を用いた。受信アンテナは液体ファントム表面から 10 mm 離れた位置での使用に適するものとし、構造は平板不平衡ダイポールである。製作した送受信アンテナの反射係数と透過係数を測定するためにベクトルネットワークアナライザの Port1 に送信アンテナ，Port2 に受信アンテナをそれぞれ接続した。測定環境を図5に示す。図6に製作した送信アンテナと受信アンテナの反射係数特性を示す。製作した送受信アンテナの反射係数特性は 3.4 - 4.8 GHz で-9.5 dB 以下を満たしているため、製作したアンテナはUWB low-band帯で利用可能である。次に製作した送受信アンテナのパスロス特性について述べる。受信アンテナをファントム表面に固定し、アンテナ間距離が 1 cm から 10 cm まで 1 cm 間隔で測定した。しかし、パスロス特性には送信アンテナの反射係数特性の影響が含まれているため、送受信チャンネル間の純粋なパスロス特性を表現することができない。そのため、本測定では測定されたパスロス特性から送信アン

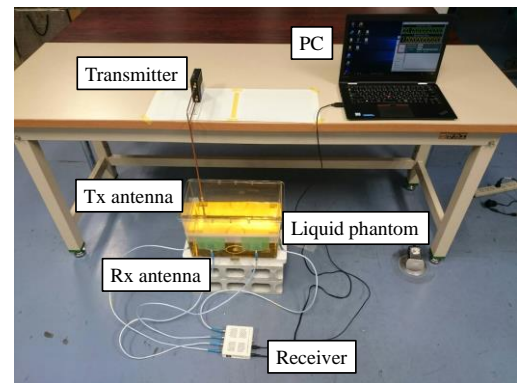


図8 BER特性測定実験環境

テナの反射係数特性を取り除き、パスロス (PL) を算出した。図7は本実験によって得られたパスロス特性を示す。図7から、本実験で用いる送受信アンテナ間のパスロスは10cmまでの距離において60dB程度となっており、一般的な受信機で求められる受信電界強度を達成できる可能性が大きい結果が得られた。

4. 実験結果

図8に実験環境を示す。送信アンテナは2つ使用し、互いに垂直となるように配置することで偏波ダイバーシチアンテナを構成した。受信アンテナは MIMO 伝送の有効性の評価のために、1つ使用した場合と4つ使用した場合で実験を行った。受信アンテナを4つ使用する場合は、それぞれ異なる位置に配置して固定することで空間ダイバーシチとした。測定範囲は液体ファントムの長手方向の中央を0 cmとしたとき-15 cmから+15 cmまで、また短手方向へ1 cmから10 cmまでである。本研究ではカプセル内視鏡を想定した特性評価を行うため、測定範囲は小腸の存在範囲を模擬し、測定範囲内で送信アンテナを長手方向、短手方向へそれぞれ1 cm刻みで移動させ、受信アンテナを固定することで BER 測定を行った。本研究では

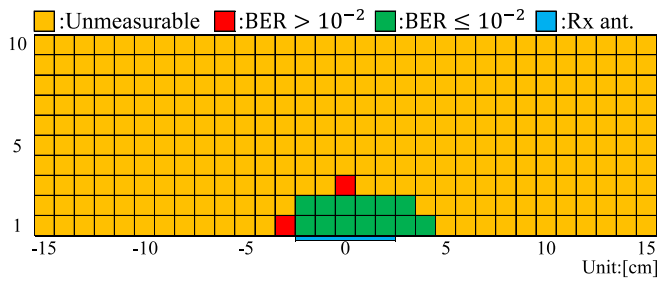


図9 BER特性解析結果例 (MIMO適用前)

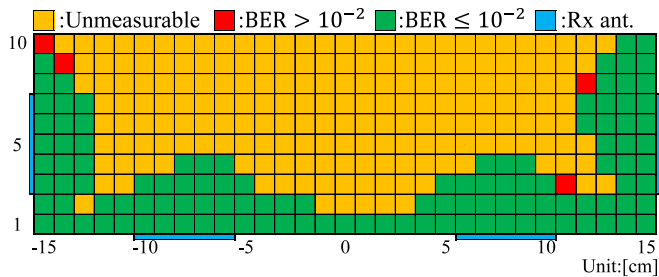


図10 BER特性解析結果例 (MIMO適用後)

BER=10⁻²を基準値とし、BER≤10⁻²を満たす送信地点を評価した。MIMO適用前後の測定結果を比較すると、MIMO適用前では基準値を満たす領域が13点であるがMIMOをインプラント通信に適用することで66点まで増加したことから、受信アンテナを適切に配置することでインプラント通信環境下でMIMO伝送を行うことで基準値を満たす領域を拡大することが可能である。以上より、UWB low-band帯におけるインプラント通信環境下でのMIMO伝送の有効性が示された。

5. 結論

本研究では、【1】高速・高信頼のインプラント通信、【2】高精度機器位置推定を実現し、これからの安全・安心な生活環境を支える次世代インプラント機器開発へ寄与することを目的とし、高い距離分解能特性を有するUWBパルス波を用いたUWB-MIMO伝送方式の実験的評価システムの構築及び評価を行った。通信方式としてUWB-IR方

式を用いた。MIMO伝送は送信側で偏波ダイバーシチ、受信側で空間ダイバーシチを採用した。インプラント通信特性評価に向けて、まず送受信アンテナを制作し、送受信アンテナはそれぞれIn-body及びOn-body環境下でUWB low-band帯で利用可能であることを確認した。加えて、実験系におけるパルスの周波数帯域幅は5GHzを達成し、UWBパルスによる高精度位置推定実現の可能性を示した。そして、これらの送受信アンテナを用いて、液体ファントムによるMIMO伝送特性評価実験を行った。MIMO方式の適用前後のBER特性評価実験より、MIMO伝送が基準値を満たす領域を約5倍に拡大したことから、インプラント通信環境下でのMIMO伝送の有効性を示すことができた。

謝辞

本研究は、公益財団法人高柳健次郎財団の助成を受け実施いたしました。

参考文献

- [1] J. Wang, and Q. Wang, Body Area Communications, Wiley-IEEE, 2012.
- [2] M. R. Yuce, and T. Dissanayake, "Easy-to-swallow wireless telemetry," IEEE Microwave Magazine., vol. 13, no. 6, pp. 90-101, Sept. 2012.
- [3] Y. Morimoto, D. Anzai and J. Wang, "Antenna development, link budget analysis and specific absorption rate evaluation in ultra-wideband implant communications," IET Microwaves, Antennas & Propagat., vol. 9, no. 14, pp. 1574-1580, Nov. 2015.
- [4] E. Biglieri, R. Calderband, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, and H.V. Poor, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2007.