〈一般研究課題〉 インプラント医療機器の高信頼性通信と 高精度位置推定の融合
助成研究者 名古屋工業大学 安在 大祐



インプラント医療機器の高信頼性通信と 高精度位置推定の融合 安在 大祐 (名古屋工業大学)

# Integration of Reliable Communication and Accurate Localization for Implantable Medical Device

Daisuke Anzai (Nagoya Institute of Technology)

# Abstract :

With the rapid growth of wireless communication technology, body area network (BAN) is expected as one of promising applications in medical and healthcare fields. In implant BANs, highspeed and reliable communication between the inside and outside of a human body is required. Ultra wideband (UWB) low-band is a candidate of the frequency bands that satisfies the requirement of high speed implant communications in aid of its broad bandwidth. However, since the UWB lowband suffers from large attenuation through the human body, it is difficult to realize reliable communications. To solve this problem, in this paper, we applied a multiple input multiple output (MIMO) scheme to implant UWB communications. Then we conducted a bit error rate (BER) measurement experiment of the MIMO transmission system using UWB low-band with a human equivalent liquid phantom. The results demonstrated the efficiency of the MIMO transmission and highly accurate localization under the implant UWB communication environment.

## 1. はじめに

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 内部の動画像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伝送システム

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. 実験結果

## 3.1 実験環境

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 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で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離し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.



#### 3.2 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



図8 BER特性測定実験環境

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BER=10<sup>-2</sup>を基準値とし、 BER≤10<sup>-2</sup>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.



## 4. むすび

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.

## 参考文献

- [1] J. Wang, and Q. Wang, Body Area Communications, Willey-IEEE, 2012.
- [2] M. R. Yuce, and T. Dissanayake, "Easy-to-swallow wireless telemetry," IEEE Microwave Magazene., 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.