

# 生体を伝送路とした超音波通信の 通信方式に関する研究

鈴木 真ノ介\*1, 小川 拓也\*2

## Fundamental Study on the Modulation Method of the Ultrasonic Waves Communication through a Human Body

Shin-nosuke SUZUKI, Takuya OGAWA

Recently, the wireless communication is generally using the electromagnetic waves. However, the communication has the possibility of the information leakage and the service area might be limited. In order to improve the situation, our research team has studied digital information transmission system using modulated ultrasonic waves and electric field hybridly through the human body. The energies are generated by one piezoelectric ceramic oscillator. The system can prevent leakage of information, because the electric field is very small amplitude and taken on the body, the ultrasonic wave has a large attenuation at high frequency in the air. In this time, I have particularly worked on the improvement of the error rate on the ultrasonic waves communication, and applied the phase shift keying modulation to the system.

KEYWORDS : ultrasonic wave, electric field, human body, phase shift keying, hybrid communication

### 1. はじめに

21世紀となつてから、無線通信機能を有した携帯型電子機器は飛躍的に開発が進み、情報社会の様々な場面で用いられている。その一部は、発展して更なる小型化が進み、生体に装着する形態の機器になると予想される。このような電子機器をウェアラブルデバイス(以下、WD)と定義する。前述の無線通信には、主に電磁波が用いられている。その電磁波通信は、伝搬特性の優位性から便

利である反面、情報漏洩の危険性や、各種機器への誤動作誘発の懸念から航空機内や医療機関等において使用が制限されるという問題を抱えている。

そこで、当研究室では電磁波が不適となる場合の代替的な通信システムとして、生体を伝送路とした通信を提案している。本通信には電界と超音波を併用するハイブリッド通信<sup>1)</sup>を適用する。ハイブリッド通信は、2種のエネルギーの特徴を利用して、超音波にて高セキュリティ通信を、電界にて生体の任意部位間の大容量通信を行い、用途に応じた使い分けを可能にしている。

\*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: shin-s@oyama-ct.ac.jp

\*2 専攻科複合工学専攻 (Advanced Course) ※2012年度修了

本研究では主にハイブリッド通信における超音波通信について取り組んだ。これまでの研究において、超音波通信では試作機を作製し、115.2kbpsでの通信に成功していた。しかし、実機による超音波通信実験において生体を介した場合、エラー率が高いことが問題となっていた。そこで、エラー率の低減を目的とし、通信方式の検討を行った。これまでの研究において、回路構成が容易なことから採用していた振幅偏移変調方式 (Amplitude Shift Keying: 以下, ASK) から、ノイズ耐性が高い位相偏移変調方式 (Phase Shift Keying: 以下, PSK) への変更を試みた。その結果、従来よりもエラー率を改善することに成功した。

## 2. 生体を伝送路とした通信

現在の情報通信は、無線通信では空中を、有線通信ではケーブルを伝送路としたものが一般的である。無線による通信は、電磁波を用いているため伝搬特性が良好であるが、スキマーによる非接触 IC カードの情報搾取等の問題がある。有線通信では、スキミングなどの情報漏洩を軽減できる代わりに伝送路となるケーブルやコネクタが必要となり、不自由である。

そこで、接続の煩わしさがなく、情報漏洩にくい通信として、生体を伝送路とした通信の研究が行われている<sup>2)</sup>。生体通信にはいくつかの手法があり、主に微弱電流、超音波、電界を利用した通信がある。微弱電流の場合、生体に直接電流を流して通信を行う。直接印加するため、ノイズによるエラーが少ない。しかし、生体に影響がないよう電流値を小さく制御することや、通信速度が数 kbps 程度と遅いことが問題である。超音波を利用したものは、生体を介して弾性波による振動によって通信する。医療にも利用される微弱な振動のため、生体に無害である。通信速度は 115.2kbps 程度となる。超音波は、指向性が鋭く直線間でしか通信することができない。つまり、非常に限られた通信経路となり、高セキュリティな通信の構築が可能となる。電界の場合、生体を導体とみなし、静電誘導によって通信する。生体通信の中で最も研究が進んでいる手法である。他の2つの手法と比べて比較的速い 10Mbps 程度という伝送速度で通信することができる。しかし、グラウンドの容量性結合など受信機的设计が難しいという問題を持つ。

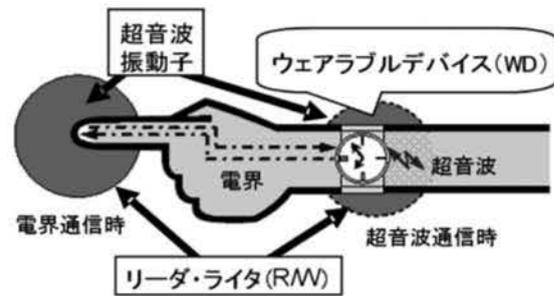


図1 ハイブリッド通信システムの概要

以上のうちの超音波と電界を状況に応じて使い分けて通信手段とするハイブリッド通信を提案する。図1にハイブリッド通信システムの概要を示す。本システムは、信号の送受信に超音波振動子であるジルコン酸チタン酸鉛系磁器 ( $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ , 以下, PZT) を用いる。通信は、1対のPZTで生体を介して行われる。振動子は入力信号の周波数が共振周波数の場合には超音波を、その他の場合は電界を出力することが可能である。

超音波通信では、PZTの共振周波数の信号を用い、指先や手首の上下間といった約5cm程度の直線間での通信が可能である。本システムで用いる超音波は1MHz程度であるため、空中での減衰率が非常に大きく生体外部への飛散がない。そのため、超音波は一般的な通信には不適と思われるが、限られた通信経路により情報漏洩の危険がなく、高セキュリティな通信が実現できる。

電界通信では非共振の周波数を用い、電界が生体表面を覆うように伝搬する。その通信経路は、左手から右手といった1個体内や握手等で接触した複数人間における任意の2点間の通信が可能である。また、周波数分割多重方式を用いて情報を多重化することにより、大容量通信が可能である。

このような生体を伝送路とした通信は、“触れる”という意志的なアクションによって、無線通信でのスキミングなどの無意識時における情報搾取とは異なり、情報のやり取りを意識的に行うことができ、より情報漏洩にくいシステムとなる。さらに、接触しなくては通信不可能なことから、ユーザが必要な情報のみを選択して取得することができる。

したがって、超音波と電界を利用した生体通信を行う本システムは、ケーブルを必要とせず、情報漏洩対策を施した高ユーザビリティかつ高セキュリティな通信を実現する。

### 3. 通信方式の検討

図2に通信方式の比較について示す。当初、超音波通信の通信方式は、回路構成や復調の容易さから振幅偏移変調方式 (ASK) 方式を採用していた。図2(a)のように ASK 方式は振幅の有無によって信号値を決定する。ASK 通信は変調波が不連続波形のため残響の影響を受けやすい。実際に ASK 通信を試作機で行った結果、エラーレートは 10~25% であり、実用的とは言えない<sup>3)</sup>。

このような欠点を解消するため、本研究では位相の変化で変調を行う位相偏移変調方式 (PSK) への変更を検討した。図2(b)のように PSK 方式では波形の位相によって信号値を決定する。PSK 通信は連続波形で通信を行うためノイズ耐性が優れており、残響の影響を受けやすい本方式に有効である可能性が高い。一般に PSK 通信システムは回路での構成が複雑になるため、本研究では PC ベースの模擬実験システムとした。図3に模擬実験システムを示す。本システムでは、PC で発振器・計測器制御が容易にできる GUI プログラミング言語 LabVIEW (National Instruments) を用いた。LabVIEW では実回路を組まずとも PC 上で PSK 通信システムが構築可能である。ただし、本ソフトは各機器の制御による遅延が生じるため、本来のリアルタイム処理は不可能である。

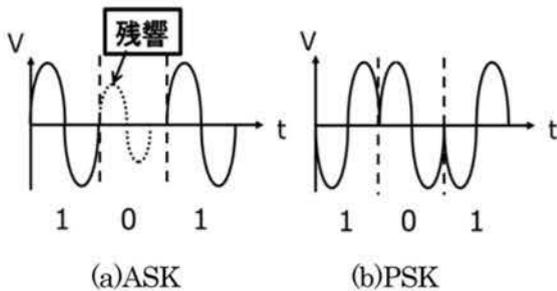


図2 通信方式の比較

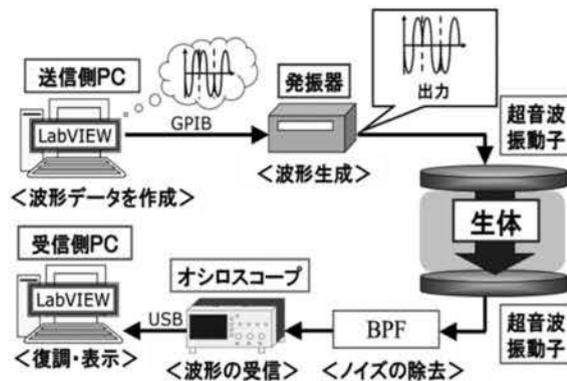


図3 模擬実験システム

模擬実験システムでは、変調波形データが送信側 PC により作成され、命令を受けた発振器により信号が出力される。その信号が送信側の超音波振動子に印加されることで超音波が送信され、生体を介して受信側の超音波振動子に伝わる。受信側の超音波振動子で受信された信号は、ノイズ除去用のバンドパスフィルタ (BPF) を介しオシロスコープに入力され、USB 接続された受信側 PC で復調され画面に表示される。復調の仕方は ASK と PSK でそれぞれ異なる。

図4, 5それぞれに ASK 方式での非同期検波方式、PSK 方式での同期検波方式を示す。ASK 方式での非同期検波方式では、搬送波は必要なく、整流回路を通して、その波形をローパスフィルタ (LPF) およびコンパレータにより波形整形し、デジタル波形とする。そして、波形から数値へと変換し復調が完了する。

それに対し PSK 方式での同期検波方式では、受信波形と変調で用いたキャリアを掛け合わせ、位相の一致・不一致により、波形を正・負に分ける。その波形をローパスフィルタ (LPF) およびコンパレータにより波形整形し、デジタル波形とする。そして、波形から数値へと変換し復調が完了する。

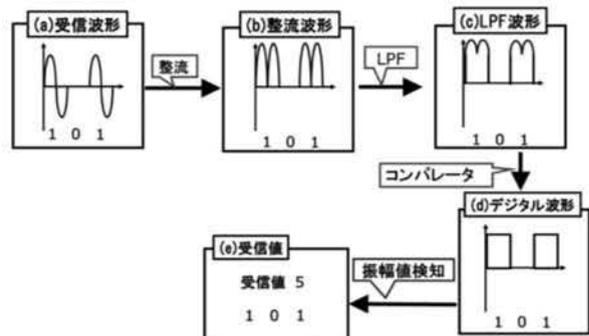


図4 ASK 方式での非同期検波方式

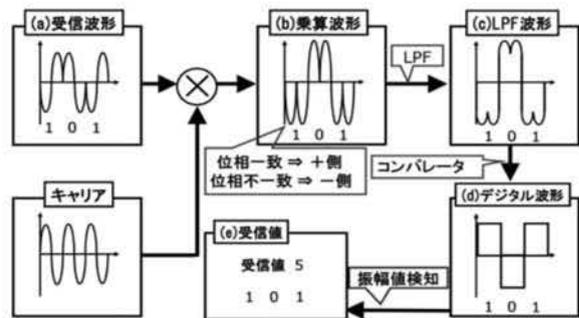


図5 PSK 方式での同期検波方式

#### 4. エラーレート測定実験および結果

上記の PC による模擬システムを用いて、PSK におけるエラーレート測定実験を行った。通信部位は生体なし、人差し指上下間（約 1cm）、手首上下間（約 3cm）、上腕上下間（約 6cm）の 4 つの箇所にて行った。その際、生体と PZT の間には、シリコンボンドを挿入した。これは、生体との密着性が高く安価で電界の遮断が可能であり、生体の音響インピーダンスとほぼ等しいため超音波が伝わりやすくなるためである。送信値には、信号の切り替えが多く復調が難しいと思われる「 $(170)_{10} = (10101010)_2$ 」を数値データとし、100 回連続で変復調を行った際の数値エラーレートを測定した。そして測定を 10 セット行い、それらを平均化したものをエラーレートとして算出する。

表 1 は今回のエラーレート測定実験の結果である。ASK に関しては超音波通信の実機による測定を行った文献<sup>3)</sup>の結果を引用している。また、実験結果の一例として、PSK 方式による数値データ「 $(170)_{10} = (10101010)_2$ 」の変調波形（送信波形）を図 6、手首上下間を介して波形を受信した際の復調波形を図 7、上腕上下間を介して波形を受信した際の復調波形を図 8 に示す。

実験の結果、通信方式によるエラー率は、ASK よりも PSK の方が低くなった。図 8 のように、受信信号が安定しない場合でも復調できる。これは、ASK の不連続波形から PSK の連続波形への変更により、信号の残響やノイズに対する耐性が強くなり、復調のエラー率を低減できたためだと考えられる。よって、PSK の有効性を確認できた。生体の通信部位を変化させた場合、伝送路が長い手首間、上腕間では通信エラーが生じる場合があった。これは、伝送路の長距離化により生体内での信号の減衰が生じ、受信側まで伝搬せず受信に失敗してしまった結果だと考えられる。実際、図 7、8 より振幅の最大値が手首を介した場合 0.6 程度、上腕を介した場合 0.1 程度である。そのため、増幅器による受信信号の増幅や送信信号の振幅値を大きくすることなど、受信信号の伝搬の安定化が必要だと考えられる。また、生体の伝送路が長距離になるにつれ、PZT の向かいあわせが困難にな

表 1 通信方式によるエラーレートの比較

通信部位	エラーレート[%]	
	ASK方式	PSK方式
生体なし	0.23	0.0
人差し指上下間(約1cm)	10~25	0.0
手首上下間(約3cm)		1.2
上腕上下間(約6cm)		4.3

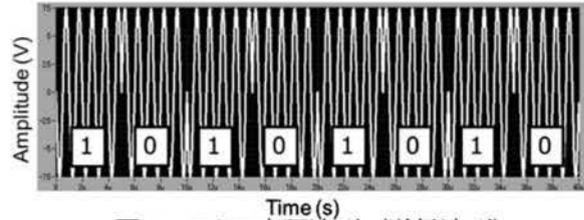
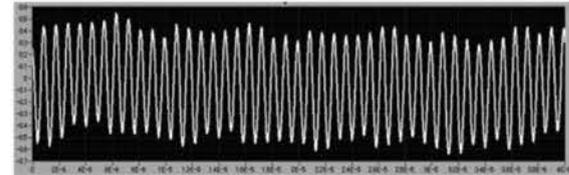
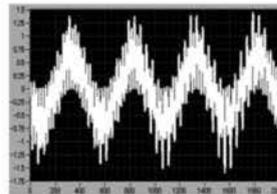


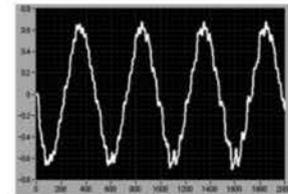
図 6 PSK 変調波形（送信波形）



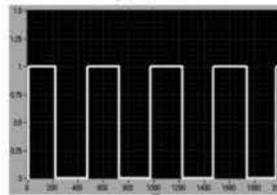
(a)受信波形



(b)乗算波形



(c)LPF 波形

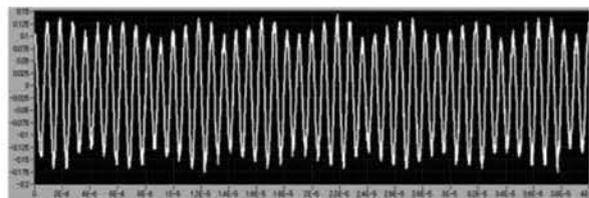


(d)デジタル波形

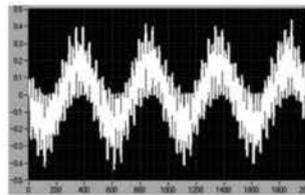


(e)受信値

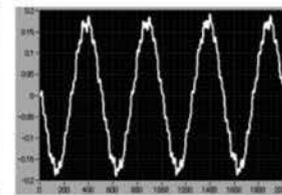
図 7 手首を介した PSK 復調波形および数値



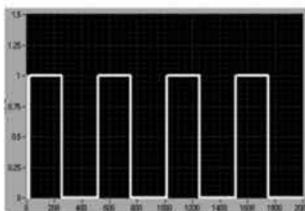
(a)受信波形



(b)乗算波形



(c)LPF 波形



(d)デジタル波形



(e)受信値

図 8 上腕を介した PSK 復調波形および数値

った。PZTの向かいあわせと生体との密着は、PZT間の超音波の伝搬に影響し受信信号の大きさに関わってくるため、非常に重要になることが分かった。これは、超音波の伝搬が直線的であることと、生体に影響しない程度の微弱な振動を用いているためである。そのため、伝送路が長い場合での生体へのPZTの固定方法の検討を行う必要がある。

## 5. まとめ

電磁波を用いた無線通信における情報漏洩や利用場所制限などの問題解決を期待できる代替通信方式として、生体を伝送路とし1つのデバイスから出力される電界と超音波を用いたハイブリッド通信の一つである超音波通信のエラー率の低減のために、通信方式の検討を行った。実験の結果、ハイブリッド通信における超音波通信の通信方式として、PSK方式の有効性を確認した。

今後の課題としては受信信号を大きくするため、PZTの向かい合わせや生体との密着を考慮した生体へのPZTの固定方法の検討や、より超音波通信の利便性を高めるために、伝送路が長い場合でのエラーレート改善などが挙げられる。最終的には、PSKを用いた超音波通信を適用したハイブリッド通信のエラーレート測定および算出を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) S. Suzuki, et al. : " Hybrid Communication System using Ultrasonic Waves and Electric Field thorough the Human Body" ,Proc. of USE2010, 1Pb-28, pp. 197-198(2010)
- 2) 前山 利幸 : 「人体通信の概要・最新技術の開発・応用動向及び今後の展望」, 日本技術情報センター, (2009)
- 3) S. Suzuki, et al. : " Reconsidering of the Communication Method for a Wearable Device using Ultrasonic Waves" , Proc. of USE2009, 1P2-3, pp. 21-22 (2009)

【受理年月日 2013年 9月 5日】

