

生体を伝送路とした通信に関する研究

鈴木真ノ介*¹, 海老澤真士*²

Fundamental Study of the Digital Information Transmission System through a Living Body

Shin-nosuke SUZUKI, Masashi EBISAWA

Recently, "Telecommunication" is common wireless communication by the electromagnetic radiation. However, the electromagnetic radiation has a problem on the information leakage and the service space might be limited. Then, our research team has studied digital information transmission system using modulated ultrasonic waves and electric field hybridly, which are generated by one piezoelectric ceramic oscillator. The system can prevent leakage of information, because the electric field is very small amplitude and the ultrasonic wave has a large attenuation at high frequency in air. This study deals with each problem on the electric field and the ultrasonic wave communication, and performed to realize the hybrid communication using both energies.

KEYWORDS : living body, electric field, ultrasonic wave, hybrid communication, digital information transmission

1. まえがき

現在, “情報通信” といえは電磁波による無線通信が一般的であるが, 電磁波はその伝搬特性の優位性から, スキミングによる情報漏洩への懸念や, 医療機関や航空機等での使用が制限される局面が存在する. そこで, 当研究室では, 電磁波が不適とされる場合の代替的な通信システムとして, 入力信号を変化させることで1つのデバイスから出力される電界と超音波を利用し, 生体を伝送路と

して活用するハイブリッド通信方式について研究している. 本システムは, 生体を伝搬する2種類の異なるエネルギーを併用することで, 高速通信を必要とする場合やセキュリティを重視する場合など, 用途によって通信方式を使い分けることが可能である.

本研究では電界, 超音波通信における各々の課題と, 両エネルギーを併用した通信の実現について取り組んだ. 電界通信については, 通信容量の大容量化について取り組み, その一手法として伝送情報を多重化することを検討した. 多重化の方

*1 電気情報工学科(Dept. of Electric and Computer Engineering), E-mail: shin-s@oyama-ct.ac.jp

*2 専攻科電子システム工学専攻 (Advanced Course of Electronic System Engineering) ※2008年度修了

式には周波数分割多重を用い、模擬システムを構築し実験を行った。超音波通信については、通信の実現には入力波形や伝送経路に特定の条件が存在するため、その特性把握のための検証実験を行った。さらに、両エネルギーを併用したハイブリッド通信では、多重化した電界信号と振幅偏移変調した超音波信号を合成することにより、1つの振動子から両エネルギーによる変調波を同時に送信し、それぞれを分離して受信することに成功した。

2. 生体を伝送路とした通信

現在、我々の暮らしの中には携帯電話に代表される小型で高性能な機器が普及し、もはや生活必需品といっても過言ではない。このような機器は、近い将来に腕時計やヘッドセットのように、身に付けても違和感のないサイズ・形状となることが予想される。そこで、そのような機器を当研究室では“ウェアラブルデバイス”と定義し、本システムの使用形態として提案している。

図1に本システムの概要を示す。本システムにおける信号の送受信には圧電セラミックス系の超音波振動子を用い、1対の振動子間を半二重通信にて情報を伝送する。なお、同振動子は信号波形の種類により、電界と超音波を個々に、もしくは同時に扱うことが可能である。電界通信では、生体表面での静電誘導により、生体の任意の2点間での通信が可能である。超音波通信では、MHz帯域を利用するため指向性が鋭く、生体の一部を直線的にのみ伝搬することから、セキュリティ性の高い通信を実現する。また、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、“触れる”というアクションによって情報のやり取りを意識的に行うため、情報漏洩対策を施したシステムを構築可能である。さらに、接触しなくては通信不

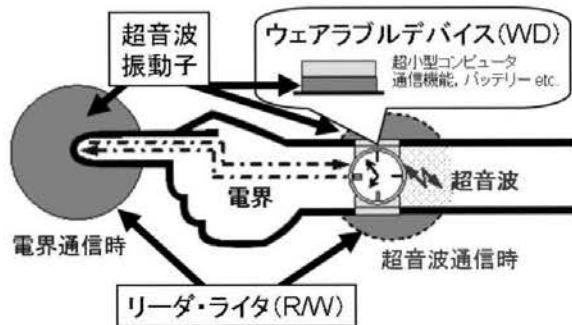


図1 生体を伝送路とした通信

可能なことから、ユーザーが必要な情報のみを選択して取得することができる。なお、電界は生体表面を、超音波は生体中を伝搬し、信号が空中に飛散することはない。

したがって、電界と超音波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の通信を実現する。

3. 電界による多重通信¹⁾

これまでに生体を伝送路とした電界通信の研究²⁾では、図1のように手首に取り付けたウェアラブルデバイス(WD)とリーダー・ライター(R/W)間を想定した通信実験において通信速度250kbpsでの通信に成功しており、通信範囲としては一人の人間であれば、手の指先からつま先まで通信可能である。しかし、昨今扱われることの多くなった音楽や動画などの大容量ファイルの場合、上記の速度では通信に多大な時間を要する。そこで、通信の大容量化のために、送信情報の多重化を検討した。電界通信に利用する多重化方式は、通信経路を増設する必要がなく、ノイズの影響を受けにくい周波数分割多重を採用した。

図2に周波数分割多重による多重電界通信の模擬実験システムを示す。伝送の手順は以下の通りである。まず、送信側PCでデータの各ビットに対応した正弦波を合成し、送信する波形データを作成する。次に、その波形データを GPIB により接続された発振器 (Tabor Electronics, 8023) に送信し、周波数分割多重信号を生成する。生成された信号は、送信側の振動子に印加され、多重化情報の重畳された電界が送信される。その電界は生体中を伝搬し、受信側振動子によって電気信

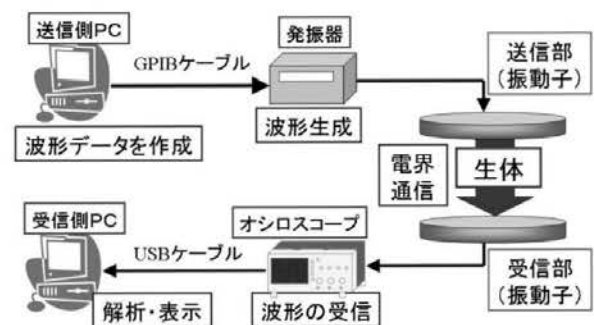


図2 多重伝送による電界通信模擬システム

号に変換される。その後、オシロスコープ (Tektronix, TDS2022B) によりデジタル化され、USB 接続された受信側 PC に取り込まれる。受信側 PC では、受信した信号を高速フーリエ変換 (以下、FFT) し、各周波数成分に分解する。その結果をあらかじめ設定された閾値により、周波数成分の有無で “1”, “0” の判定を行う。ここで文字情報の場合は、ASCII コードに対応した文字としてモニタ上に表示される。本システムにおける振動子には、ジルコン酸チタン酸鉛 ($\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$, 以下、PZT, 直径 20mm, 厚さ 2mm, 共振周波数 1MHz) を用い、送信信号には、1.5MHz (最下位 bit) から 5MHz (最上位 bit) までを 500kHz 刻みにした 8 つの周波数を用いた。なお、本研究は現段階において電界による多重化信号の送受信を主目的としているため、これら一連の処理は利便性を優先して、制御ソフトウェア “LabVIEW” (National Instruments) を用いて行った。LabVIEW は、パソコン上での GUI によるプログラミングにより、汎用ポートを介して発振器や計測器の制御が容易に可能である。ただし、各種機器の制御による遅延が生じ、リアルタイム処理は不可能である。

上記のシステムを構成し、通信実験を行った。送信情報としては主に文字情報を用い、一人の人間の人差し指—手首間をはじめとする任意の 2 点間 (最長距離: 指先—足首, 約 2m) や二人の人間の握手をした手首間などを伝送経路として実験したところ、半角英数字・記号などの 8bit 情報と、ひらがなや漢字などの 16bit 情報、およびテキストファイルの伝送に成功した。図 3 に、その一例として半角文字 “e” (“1100101”) を送信した際の受信波形とその FFT 結果を示す。また、図 4 は、これら一連の処理をしている受信側 PC 上の LabVIEW 画面である。

送受信時の入出力電圧は、送信側振動子への印加電圧(入力)が 3.3V_{p-p} に対し、受信側出力電圧は、0.09V_{p-p} となった。図 3 (b) の FFT 結果より、“1” を示す 4 つのスペクトルがはっきり立ち上がり、外来ノイズの影響を受にくく、復調が容易であることが分かる。ここで周波数成分の有無を判別する閾値は -50dB に設定した。また、送信情報の容量を大きくし、連続したデータの場合でも伝送可能であるかを確認するため、1KB (約 500 文字) のテキストファイルを伝送したところ、受信側 PC で正確なファイルの復調に成功した。

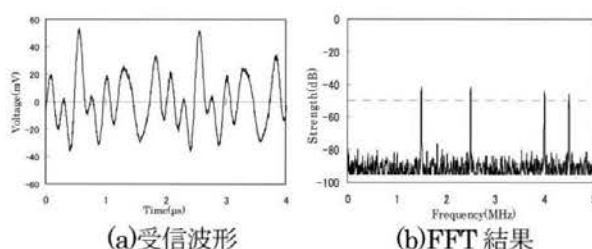


図 3 多重化信号による情報伝送実験 (文字 “e”, “1100101”, 4.5/4.0/2.5/1.5MHz)

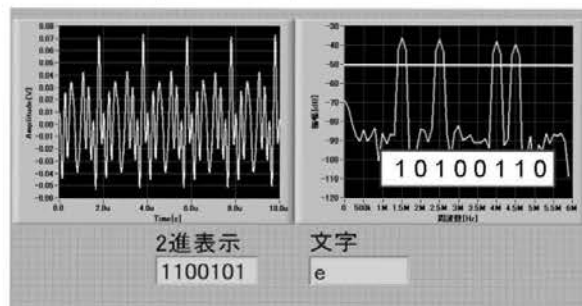
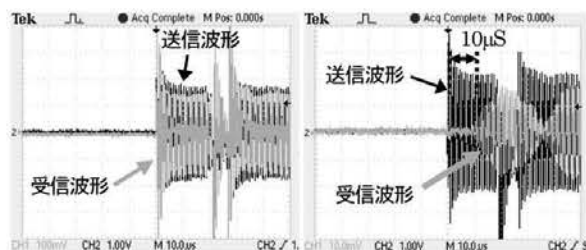


図 4 LabVIEW 画面 (受信側 PC)

なお、本システムでは合成波形の周波数が 500kHz (周期 2 μs) で、復調には 3 周期分の信号が必要なので、リアルタイム処理が可能なシステムを構築すれば、最大約 1.3Mbps (8[bit]÷(3×2[μs]) $\approx$ 1.3[Mbps]) での通信が見込まれる。

4. 超音波通信実現の条件

超音波による通信では、超音波発生原理、振動子の装着位置や指向性などの観点から、その実現には振動子への入力波形や伝送経路に特定の条件が存在すると考えられる。その特性を把握するために、波形や経路を変化させて通信条件の検証実験を行った。なお、振動子は電界印加による歪みを利用して超音波を発生させているため、入力波形の条件によっては図 5 (a) のように振動子出力である通信媒体に電界が混在してしまうことがある。超音波であれば、図 5 (b) のように受信側において距離に応じた遅延が生じるため、通信媒体が超音波であるかの判断は、信号の伝搬速度によって判断した。ここで、振動子は前述の多重電界通信時と同じものを用い、振動子と生体間の空隙を埋め、電界の混在を抑える目的で、振動子と生体の間には厚さ 1~2mm の λgel ((株) タイカ) を挿入した。



(a) 超音波と電界の混在 (b) 超音波による遅延

(指先-手首間, 入力5V_{pp}, 1MHz) (中指上下間, 入力5V_{pp}, 1MHz, λ_{gel} 使用)

図5 受信波形における電界・超音波の違い

まず, 入力波形について波形や周波数を変化させ検証したところ, 振動子の共振周波数の正弦波を用いたときに最も電界の混在が少なく, 最大の受信振幅を得られた。したがって, 以下の実験ではこの波形を用いることにした。次に, 伝送経路に関する検証を行ったところ, 生体においては送受信間が直線的な経路において通信に成功した。これは, 本システムで用いている MHz 帯域の超音波の指向性が非常に鋭いことに起因すると考えられる。図5(b)にその一例として, 中指上下間通信時の波形を示す。この経路の距離は, 約1.5cmで, 実測遅延が理論値の $0.015[\text{m}] \div 1540[\text{m/s}] \approx 9.74[\mu\text{s}]$ とほぼ一致する (1540[m/s]: 生体軟部組織での音速)。なお, 超音波の伝搬が確認できる部位および最大距離は, 前腕部上下間の約5cmであった。

検証実験の結果, 超音波通信を行う条件として, 伝送経路が直線的であることと伝送距離が約5cm以内であることが確認できた。なお, 電界と同様の手法による多重化通信は, 振幅に対する周波数依存性が非常に高いことに加え, 残響などの影響により不可能であった。以上の結果より, 超音波通信では必要な振幅を得るためには, 周波数を一定にする必要があるため, 変調方式には振幅の有無によって通信を行う振幅偏移変調 (ASK: Amplitude Shift Keying) もしくは位相変位変調が適していると考えられる。本研究においては回路構成や信号処理の容易さから, ASK 変調を採用することにした。

5. ハイブリッド通信システム

前述の結果より, 生体を伝送路とした電界による多重通信と超音波の伝搬が確認できたので, 両

エネルギーを同時に利用した通信“ハイブリッド通信システム”の構築を行った。本システムは, 1つの送信デバイス (PZT) に異なる2つの信号を入力することで, 2種類のエネルギーによる信号を出力させ, 通信を行うものである。これにより電界による生体任意部での通信と, 超音波による高セキュリティ通信を組み合わせた通信が可能になる。

機器の構成は, 図2のLabVIEWを用いた模擬システムと同様である。LabVIEWのプログラムをハイブリッド通信用に適宜変更し, 通信実験を行った結果, 合成された信号を分離して受信・復調することに成功した。通信の詳細な手順については, 図6に示す通信実験時のLabVIEW画面例と併せて以下に説明する。まず, 図6(a)上段のように送信側PCで電界用の送信情報を元に前述と同様の多重化波形を作成する。次に, 中段のように超音波用の送信情報を元にASK変調した波形を作成し, 下段のように電界の多重化波形と合成する。合成された波形データは発振器に送信され, 送信側PZTに印加され, 信号が出力される。なお, 超音波のASK変調には, PZTの共振周波数である1MHzを用い, 1bit当たりの長さは出力振幅と残響の影響を考慮し, 5 μs (5波形) とした。また, LabVIEWではASK変調において, 8bit中5bitを復調処理に要するため, 任意情報は3bitに限定される。

生体中を伝搬し, 各々の受信側PZTに到達した信号は, オシロスコープを介し受信側PCへ取り込まれる。電界信号は, 前述と同様のFFT処理により復調され, PC上に文字情報として表示される (図6(b))。一方, 超音波信号は, 図6(c)のように取り込んだ波形 (集録波形) を増幅 (集録波形2) し, フィルタリング (集録波形3) することでプラス成分のみとし, 包絡線検波 (集録波形4) をかける。その包絡線の最大値から情報bitの位置を検出し, それを基にデジタル信号に復調し, 最後に受信値として表示する。なお, 図6における伝送経路は, 電界が指先-手首間, 超音波が指先上下間とした。電界については, その他任意の2点間でも通信可能であった。

伝送情報としては, 電界では電界単体時と同様の8bitおよび16bitの文字情報に加えてテキストファイルの伝送に成功し, 超音波では3bit情報の伝送に成功した。なお, 各々においてリアルタイム処理可能な場合の通信速度を概算したところ,

電界では 8bit の多重化波形の周波数が 500kHz (周期 2 μ s) で復調に 5 波形必要なことから $8[\text{bit}] \div (5 \times 2[\mu\text{s}]) = 800\text{kbps}$, 超音波では 1bit 当たりの伝送に 5 μ s 要するので $1[\text{bit}] \div 5[\mu\text{s}] = 200\text{kbps}$ であった。

6. まとめ

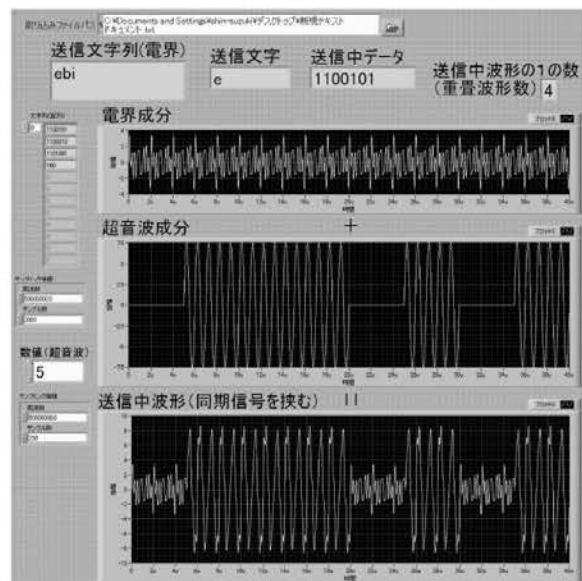
電磁波を用いた無線通信における情報漏洩や利用場所制限などの問題解決を期待できる代替通信方式として、生体を伝送路とし 1 つのデバイスから出力される電界と超音波を用いたハイブリッド通信システムを提案した。電界通信では、生体の任意の 2 点間での周波数分割多重による通信に成功し、超音波通信では、生体を伝送路とした通信実現の条件を確認した。これらを基に両エネルギーを併用したハイブリッド通信について模擬実験を行ったところ、電界と超音波の混在した信号からそれぞれの情報の復調に成功し、その有効性と実現性を確認した。

今後の課題としては、ウェアラブルデバイスとして実用性のあるリアルタイム処理可能なシステムの構築や、超音波通信において装着位置を限定しない利便性の高いシステムのために超音波通信範囲の拡大などがあげられる。

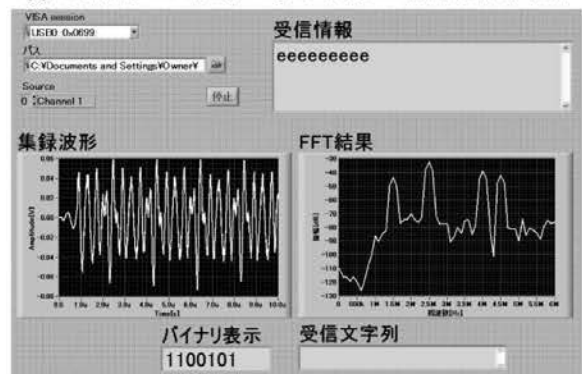
参考文献

- 1) 鈴木真ノ介, 海老澤真士ら, 電子情報通信学会 2009 年総合大会, A-11-3, p207 (2009)
- 2) S. SUZUKI, et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GF05-1 -5 (2009)

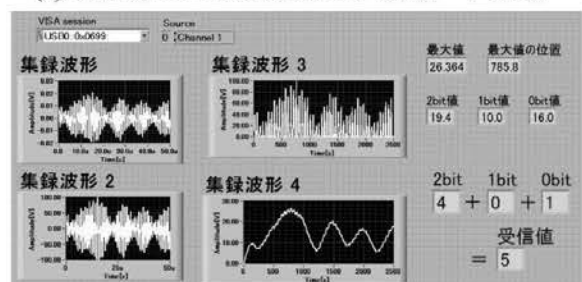
[受理年月日 2010年9月13日]



(a) 送信側 PC (電界“e”, 超音波“5”波形合成画面)



(b) 受信側 PC : 電界情報処理 (指先一手首間)



(c) 受信側 PC : 超音波情報処理 (指先上下間)

図6 ハイブリッド通信実験

