

Arduino を用いた人体通信アプリケーションの作成

2012SE011 大鏡菜月 2012SE150 三木俊彰 2012SE226 清水友麻

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、人体を伝送路とし情報のやり取りを行う人体通信が注目されている。人体通信のシステムの基本的な概念は、1995年に T.G. Zimmerman 氏によって発表された [1]。今日、人体通信の研究は、世界中の様々な組織が行っている。日本企業の人体通信を用いた技術が幾つかある。松下電工は 2004 年に人体を通信ケーブル代わりに使う人体通信装置の実用化に成功したと発表した [2]。2005 年には日本電信電話公社 (NTT) が人体近傍電解通信技術「レッドタクトン」を発表した [3]。他社と一線を画して高速通信に特化しているのが KDDI 研究所であり、17M ビット/秒の高速通信を実現した [4]。そして、アドソル日清の技術は医療の分野に使われており検査室前に設置された床パネルに乗ったりするだけで個人の識別・認証が行える安全管理システムを開発した [5]。人体通信は医療や自動車、ロボット、酪農、玩具などの分野にも展開する動きを見せている。

本研究では、Arduino を使用した人体通信アプリケーションの開発を目的とする。また人体通信には電界方式と電流方式の 2 種類の通信方式があるが、本論文では電流方式を使用しアプリケーションの開発を行った。製作したアプリケーションは文字列送信アプリと MIDI を用いた電子楽器アプリケーション、パルスセンサを用いたアプリケーションである。

2 先行研究

既に Arduino を用いた人体通信アプリケーションは幾つか開発されている。2 台の Arduino を用いて特定の文字列の送受信が可能なアプリケーション [6] がある。構成図を図 1 に示す。

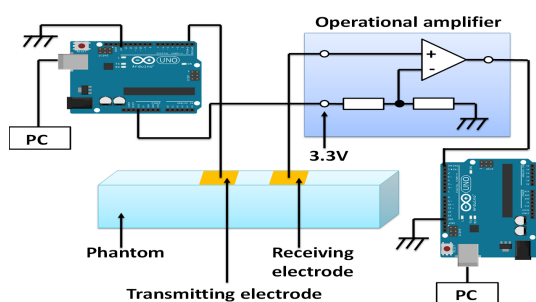


図 1 人体通信構成図

その他に「MakeyMakey」という商品があり、Arduino Leonardo を使用する。これはミノムシクリップで繋いだ様々なものを鍵盤やゲームのコントローラのボタンにでき、繋ぐものは金属に限らず、果物やコップに入った水もスイッチにできる [7]。仕組みは、MakeyMakey の GND 端

子を手で持ち、もう片方をスイッチにしたいものに接続する。振れたときに電流が流れ、MakeyMakey を経由し PC に情報が送られる。

本研究では、参考文献 [6] を改良し、任意の文字列を送受信できるアプリケーションと、参考文献 [7] を模したアプリケーションを作成した。

3 作成したアプリケーションの構成と特徴

ここでは、作成したアプリケーションの構成と特徴を説明する。

3.1 文字列送受信アプリケーション

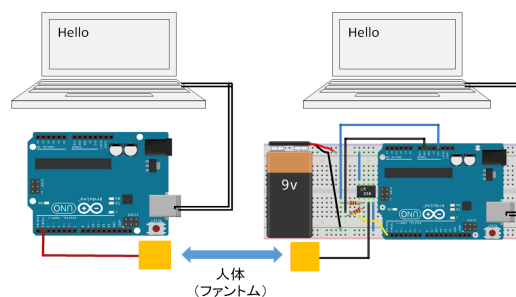


図 2 文字列送受信アプリケーション構成図

文字列データが人体を通して、正しく送受信されるか実験を行いアプリケーションを作成した。先行研究 [6] では、特定の文字列しか送受信できなかった。固定の文字列 (Hello) を 50ms 間隔で、生理食塩水ファントムを通じ送受信用 Arduino でシリアル通信させる。文字列の表示はシリアルポート (送受信) に写す。構成図は図 2 に示す。Tx はシリアル通信の送信ピン, Rx はシリアル通信の受信ピンである。

ここで、一度の Serial.write で送れるデータは、1byte ごとであり、シリアル通信で読み込める情報もまた 1byte ずつである。その為、複数の文字 (文字列) を送ることは 2byte 以上のデータを送ることになり、文字列を分割しながら各々文字データを送信し、分割されたデータを元の文字列に戻す行程をさせている。今回使用した Arduino IDE シリアルモニターは utf-8 の文字コードである。また同様に、送信側シリアルモニターで無作為な文字列を打ち込み、人体を通じ、その文字を受信側モニターで復元する実験も行った。

3.2 MIDI を用いた電子楽器アプリケーション

今回は、電極が複数あり、かつ和音が出せるアプリケーションを作成した。送信側からは HIGH のデジタル信号を送信し、人体を介して受信した信号を受信側 Arduino 内

で MIDI 信号に変換し PC 上の Web MIDI API で再生するというものである。今回受信側の Arduino では USB を経由して MIDI 信号を PC へ送信できるようにするため、ファームウェアを書き換えた。

このアプリケーションの電極には銅板や黒鉛などを使用してきた。電極部分に他のものが使用できないか考え、フルーツとコップに入った水を用意し、実験を行った。構成図を図 3 に示す。フルーツはみかんとバナナを使用した。

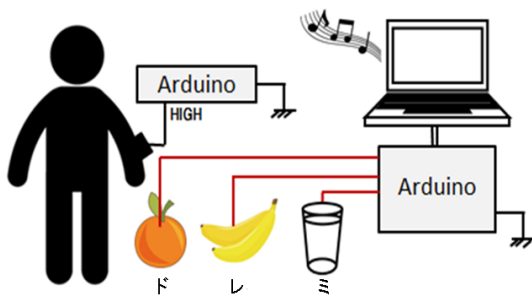


図 3 電極を変えたアプリケーション構成図

3.3 パルスセンサを用いた電子楽器アプリケーション

心拍数変化に応じた電子楽器アプリケーションの開発を行った。図 4 が構成図である。送受信合わせて 2 台の Arduino を用いて人体を介した通信を行う。ユーザは送信側の Arduino の送信電極に触れながら受信側の電極（もしくは電極に接続されたもの）に触れることで信号の送受信を行う。送信側の Arduino では、パルスセンサを用いてユーザの心拍数を計測する。計測された心拍数が指定した基準よりも低い場合、信号の送信を行う。受信側の Arduino では、「ド」「レ」「ミ」～「シ」「ド」の 8 音にそれぞれに対応した複数の受信電極が接続されており、各 Pin で受信した信号は MIDI 信号として PC に送信される。PC に送信された MIDI 信号はユーザが受信電極に触れていないときにノイズを拾うことを防ぐため、受信側回路にプルダウン抵抗を用いている。

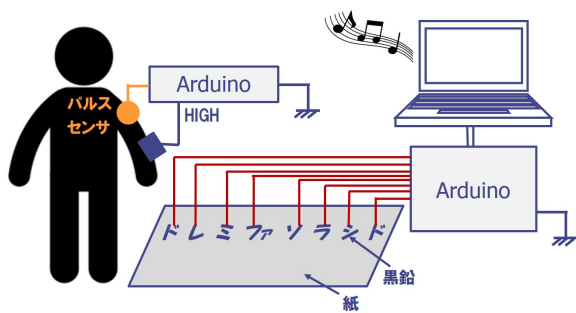


図 4 パルスセンサを用いた電子楽器アプリの構成図

4 通信方式

人体通信には大きく分けて 2 つの通信方式があり、電界方式と電流方式である。本研究では電流方式を採用する。電流方式は通信方式上の課題があり、解決の為に実験を行い、インピーダンスと電圧を測定した。

4.1 電流方式と電界方式

電界方式は、人体の周りに存在する電界にデータに乗せ情報を送受信する方式である。直接電極に触れずデータ送信ができるが信号が微弱になりやすく、電磁雑音を受けやすい難点がある。

電流方式は、体に影響しない微量な電気信号を人体を通じ、信号の情報を送受信する通信方式である。電磁雑音を受けにくく、通信の安定性や回路が簡単である [8]。本研究では、電流方式を用いるにあたって、電極が常に人体に接触する必要があるという課題に関する実験を行った。

4.2 インピーダンスと電圧の実験

ここでは電流方式の課題に関する実験の説明をする。

4.2.1 生理食塩水ファントム

表 1 生理食塩水ファントムの組成表

材料	組成比 (%)	使用料 (g)
脱イオン水	95.18	1400
塩化ナトリウム	0.82	12.1
寒天	4.0	58.8

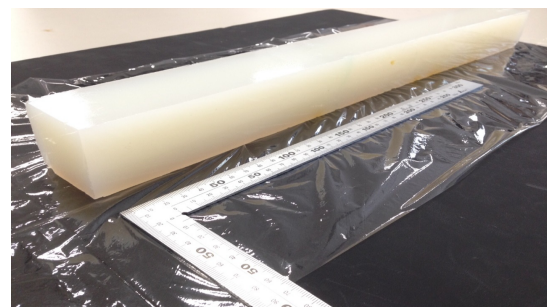


図 5 作成した生理食塩水ファントム

先行研究 [6] では、使用周波数帯域が 300MHz ~ 2.4GHz である生体等価ファントムを使用しインピーダンスと電圧の測定が行われている。この時、使用するプログラムでの周波数は約 300Hz でありこれに対応したファントムは存在しない。ゆえに、より人体に近づける為、生理食塩水を固めたものを製作した。生理食塩水とは、血液・組織液と浸透圧の等しい約 0.9 パーセントの食塩水である。これを寒天で固め実験に使用した。大きさは 5cm×5cm×50cm である。表 1 に材料や組成比と分量を、図 5 に製作した生理食塩水ファントムを示す。

4.2.2 インピーダンスと電圧の測定構成

人体通信の際のインピーダンスと電圧の測定を行う。実験では、 2×2 cm, 4×4 cm, 5×5 cm の銅板電極を使用した。電極間距離は、1 cm から 10 cm の間で 1 cm ずつ変化させた。実験器具として、インピーダンスを測定するために LCR メーターを使用し、電圧の測定ではオシロスコープを用いた。ファントムは表 1 に示すものを使用した。

5 結果と考察

実験の結果と考察を述べる。

5.1 インピーダンスと電圧の測定結果と考察

インピーダンス測定の結果を図 6 に、電圧測定の結果を図 7 に示す。図 6 より電極間の距離が大きくなるにつれてインピーダンスが増加していることがわかる。そして電極のサイズが大きくなるにつれ、インピーダンスが小さくなっている。これは、電極間の距離が短く電極が大きいほど良好な通信が行えるということである。ここでの電圧の理論値は 5V である。これは送信側を測定した際に得られた値である。理論値と測定値を比較すると、約 0.2~0.3 V の差があることが分かる。図 7 より電極間の距離が増加すると、受信電圧が低下し、電極が大きくなると電圧が上昇していることが分かる。しかし、ファントムとの接触や環境温度によって多少の誤差がある。

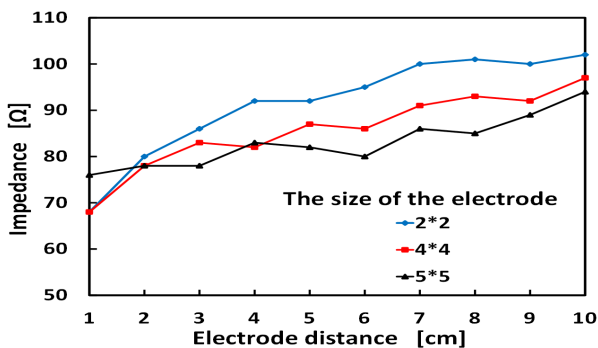


図 6 インピーダンス測定結果

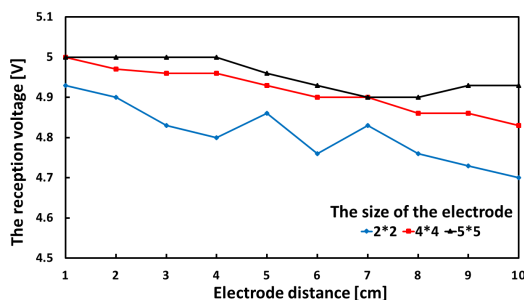


図 7 電圧測定結果

5.2 文字列送受信アプリの結果と考察

50ms 間隔で固定の文字列 (Hello) を送受信するプログラムを、送受信 Arduino に書き込む。生理食塩水ファントムを通じ送信側、受信側の文字列データをオシロスコープで測定した。実験は、数十回にわたり実験室で行った。図 8 と図 9 は、Hello の頭文字 'H' の部分を表示したものであり、それぞれの波形を比較すると、電圧の振れ幅は異なるがほぼ一致した。モニターでも Hello が表示されるのを確認できた為、実験は遂行した。しかし、接触の問題から、まれに文字化けが生じることもあった。接触を良好に保てば、電極間の距離は関係なく正確な値を測定した。これは、使用する周波数が約 3kHz と、通信にとって低い帯域を使用しているからと考える。

ASCII コードでの 'H' の文字は 10 進数で表すと 72 である。それを 2 進数変換し 1001000 となる。ここでスタートビット、ストップビットが付属する調歩同期を取ることにより測定値を左から読むと 010010000 と表示していることが分かる。Arduino を用いた文字列送受信には、ASCII コードが使用されることを理解した。同様の無作為な文字列を送受信する実験もシリアルモニターで確認した。

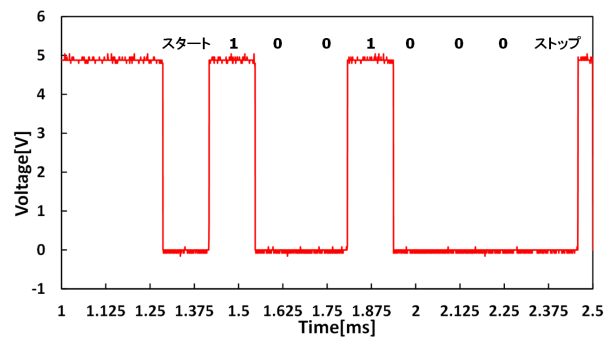


図 8 送信側の波形

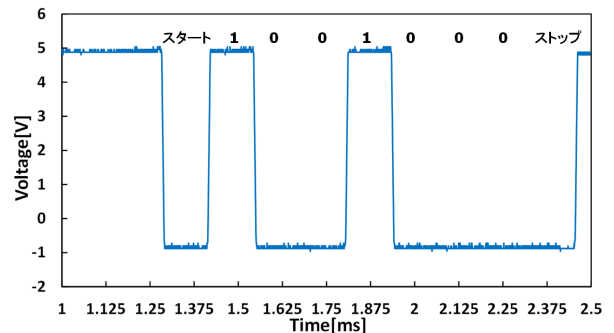


図 9 受信側の波形

5.3 MIDI を用いた電子楽器アプリの結果と考察

実験から触れた電極に対して振り分けた音の鍵盤が反応していることが確認できた。コップの水は指をつけるだけで音になり反応が良かったが、みかんとバナナは指で触れ

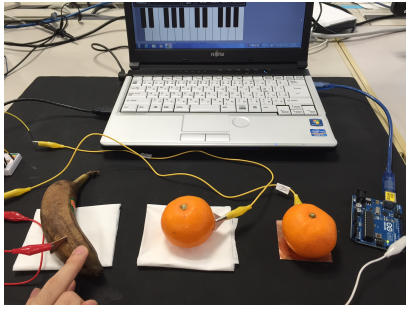


図 10 電極を刺した実験の様子

ただけでは反応しないこともあった。そこで、直接みかんとバナナに電極を刺し実験を行った。その様子を図 10 に示す。比較する為、「ソ」に振り分けてあるみかんは銅箔シールの上に置いてある状態で行った。

結果としては、指で触れるだけで反応するようになり、反応が良くなった。やはり電極との接触の問題だと思われ、密着するような物に変えれば、刺さなくとも反応が良くなるのではないかと考える。

5.4 パルスセンサを用いた電子楽器アプリケーション

このアプリケーションはユーザの心拍数が 100 以下の時に音が鳴るものである。電極には鉛筆で書いた鍵盤を使用し、送信電極とパルスセンサを挟むように持つ。実験では、椅子に座り安静にしている状態と、激しい運動をした直後の状態で楽器の演奏を行った。図 11 はその時の実際の様子である。送信側の Arduino では心拍数を計測し、その値をシリアルモニター上に表示させた。受信側は実際に PC 上の Web MIDI API で音が鳴ることを確認をした。

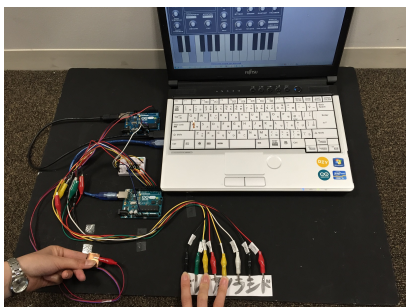


図 11 心拍数 100 以下の時の実際の様子

6 まとめと今後の課題

先行研究 [6], 出力インピーダンスと電圧の実験では、電極の大きさが大きく、距離が近いほどより良好な通信ができるという結果を得た。文字列送受信アプリケーションは先行研究では約 300Hz での人体通信が可能という結果だったが、本研究における周波数は約 3.4kHz であった。オシロスコープで測定した電圧の波形は、コンパレータ回路に用いた電源電圧が大きいいため受信側波形の電圧が大きくなっているが、波形の形は送信側とあまり変わらない波形

を結果として得た。文字列送受信アプリケーションでは、文章を送受信させることが最終目的の為、複数行に渡る文字列を送受信させる必要がある。しかし、シリアルモニターでは 1 行の文章しか表示できずその度送信される。シリアル通信以外の通信を検討しなければならない。

MIDI を用いた電子楽器アプリケーションは電極に金属を用いる場合は安定して通信が行えるが、バナナやみかんなどフルーツを用いた場合は手で包み込むように触れないと通信が安定しないことがあった。それを踏まえて直接刺して実験したところ通信が安定するようになった。これから電極との接続の問題だと思われ、電極を密着するように接続すれば直接刺さなくとも通信が安定すると思われる。実験で使用した生理食塩水ファントムだが、正確な実験データを得るためには、周波数にあったファントムの開発が必須である。そして測定の際、電極の接触具合で値が変化するので一定の圧力をかけることが課題である。

参考文献

- [1] T.G.Zimmerman, "Personal Area Network (PAN) Near-Field Intra-body Communication," M.S.thesis. MIT Media Laboratory, 1995.
- [2] ITmedia ニュース, "人体通信の実用化に成功 松下電工が販売開始," <http://www.itmedia.co.jp/news/articles/0409/13/news059.html>, 2004.
- [3] NTT News release, "人の体の表面を伝送経路とする新しいヒューマンエリア・ネットワーク技術「レッドタクトン (RedTacton)」～触れる, 握る, 歩くといった人の自然な動作で通信を実現～," 報道発表資料 2008 年 4 月 23 日, <http://www.ntt.co.jp/news/news05/0502/050218.html>, 2005.
- [4] 日経テクノロジー online, "手ぶらで「ピッ」人体通信, 商用化へと離陸 (2)," <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/FEATURE/20090402/168230/?ST=dceP=3>, accessed Jan.12, 2016.
- [5] アドソル日進, "電界通信 (人体通信) タッチタグ ハンズフリー認証システム," 2014 年 アドソル日進株式会社カタログ <http://www.admiss.jp/archives/1257>, accessed Jan.12, 2016.
- [6] 濱崎隆, 本多桂也, 加藤聖也, "Arduino を用いた人体通信の実験," 南山大学 2014 年度 卒業論文, 2015.
- [7] joylabz, "Makey Makey Classic," <http://makeymakey.com/>, accessed Jan.12, 2016.
- [8] 深澤亨, "5 分で分かる情報通信キーワード 第 25 回 利用可能性が広がる「人体通信」," KDDI 誌 2009 年 10 月号, <http://www.kddi-ri.jp/special/from21to30/no25>.