

Arduino を用いた人体通信の実験

2011SE026 濱崎隆 2011SE050 本多桂也 2011SE119 加藤聖也

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、人体を伝送路として見立て情報のやりとりを行う人体通信が注目されており、大学での研究の他に企業などでも商品開発が行われている。2004年にNTTは人体近傍電界通信技術「レッドタクトン」を発表し、2005年にはレッドタクトンの技術を応用した利用例を発表した[1]。セキュリティの面での利用が考えられており、一例としてID情報を発信する送信機を身につけていたときに、手や足などの体や靴、衣服をオフィスの入り口付近に設置された受信機で読み取り認証を行うというものがあつた。伝送速度は最高速で10[Mbit/s]以上を出せるように開発されているので、非接触ICカードに代わる技術であると言える。また、人体通信での利用が見込める、通信デバイスを身につけるウェアラブルコンピューティングの研究も盛んに行われている。人体通信とは、「さわる」や「ふれる」といった人間が日々の活動で行う動作を通信システムに組み込む通信方式であり、通信デバイスとしてウェアラブル機器が用いられることがある。本研究では、Arduinoを用いた簡易的なアプリケーションを製作し、そのアプリケーションで読み取ったデータを生体等価ファントムを介して転送する事を目的とする。

2 Arduino を用いたアプリケーション

Arduino と呼ばれるハードウェアや使用するソフトウェアについての説明や、Arduino を用いたアプリケーションの説明を述べる。

2.1 Arduino について

Arduino は、シンプルな入出力ポートやスケッチと呼ばれるプログラムの開発環境が用意されたものである。プログラミング言語はC言語をベースとしており、オープンソースハードウェアなので誰でも自由に使用できるという利点がある。

Arduino を構成する要素として主に2つあり、ハードウェアとソフトウェアに分けられる。ハードウェアであるArduino ボードは入出力として使用する14本のデジタルI/Oピンやセンサからのアナログ値を得るために使用する6本のアナログピンなどを搭載している。また、ソフトウェアは開発を行うために必要なArduinoIDE(Integrated Development Environment) という専用ソフトウェアを使用する[2][3]。

2.2 アプリケーションの開発

本項では、体温測定アプリケーションと文字列の送信について述べる。

2.2.1 体温測定アプリケーション

本研究で人体通信で使用するアプリケーションとして参考文献[4]を元にサーミスタを用いた体温測定アプリケーションを製作した。Arduino とサーミスタの接続図を図1に示す。このとき $R_1[\Omega]$ は抵抗、 $V_{cc}[V]$ はArduino の基準電圧、 $V_{out}[V]$ はArduino 出力する電圧である。このアプリケーションは、Arduino を人体に装着して体温を測定することを目的としており、サーミスタで読み取ったアナログ値をArduino のプログラムで計算し、温度を0.5秒間隔で表示させたものである。また、屋外でもデータの確認ができるようにバッテリー駆動を想定した場合にLCDモジュールと呼ばれる小型のディスプレイも回路に組み込んだ。

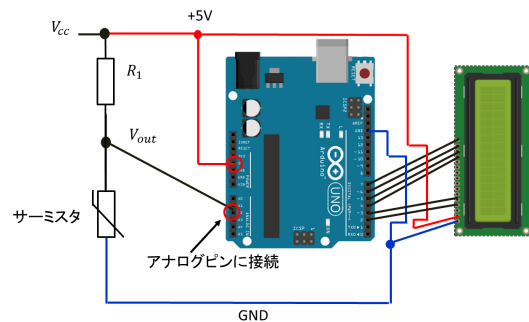


図1 Arduino とサーミスタの接続図

2.2.2 文字列の送信

文字列をArduino同士で通信を行うために参考文献[5]のプログラムを使用した。Arduino同士の通信において、1回のSerial.write()で送れるデータは1[byte]である。文字列を送るためには2[byte]以上のデータを送る必要がある。そこで、文字列を分割したデータを送信し、その分割されたデータを元の文字列に戻す行程を行う。このアプリケーションでの送受信される信号は、周波数約300Hzの電圧約5.2Vであった。

3 人体通信の通信方法について

本節では、Arduinoで人体通信を行うために考えた通信方法とその概要を述べる。通信方法は以下の2つである。

1. キャリア通信を用いた人体通信
2. ベースバンド通信を用いた人体通信

1つ目のキャリア通信を用いた人体通信は、Arduinoの信号をXbeeなどの無線通信モジュールで無線周波数に上

昇させ、同じ無線通信モジュールで信号を受信させる方法である。2つ目のベースバンド通信を用いた人体通信は、Arduinoの信号をオペアンプという電子回路で増幅させ、コンパレータで人体通信の際のノイズを除去する方法である。

本論文では、最も簡単なベースバンド通信を用いた人体通信の方法について記述する。

ベースバンド通信を用いた人体通信では、送信する信号を変調せず、元のままの周波数帯で通信するベースバンドで人体通信を行う。使用する機器として、作製した人体の代替となる生体等価ファントム、Arduino、コンパレータ回路を使用する。コンパレータ回路は、人体の電気的特性によって変化する信号の波形を元の形に戻すためのものである。これにより、信号が人体を通過した後で元の波形にもどしてArduinoに受信させる仕組みとなっている。今回使用するコンパレータ回路は、参考文献 [6] で利用されているオペアンプ基盤を利用したものである。また、この通信方法で使用したアプリケーションは2.2.2のものを使用して測定を行った。

4 測定構成とパラメータ

本節では、測定構成とパラメータについて述べる。

4.1 ベースバンド通信を用いた人体通信

銅板を電極として利用し、送信用電極と受信用電極の2つを用意した。Arduino Uno, 人体等価ファントム, コンパレータ回路, 電極の構成を図2に示す。また、二つの電極の寸法は2[cm] × 2[cm] であり、電極間の距離は5[cm] である。この時、Arduino から送信された信号は、人体を経由してもう一つの Arduino に受信される前にコンパレータ回路を通過する。これにより、Arduino が受信する直前に信号の損失やノイズを除去する。

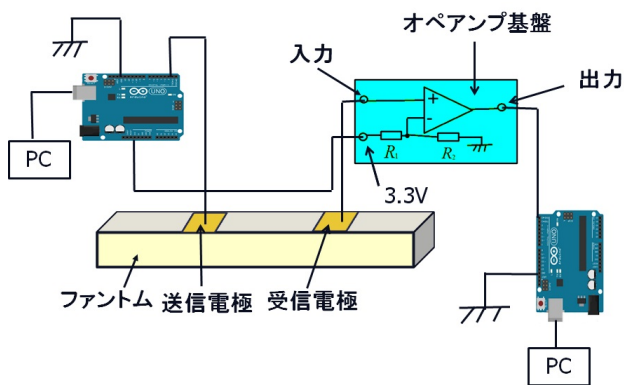


図2 機器の構成

4.2 300Hz 帯におけるファントムの特性

ベースバンド通信を用いた人体通信では、約 300Hz の信号を用いているため、周波数特性とインピーダンス特性について測定を行った。しかし、電極の寸法や距離によって、送信用 Arduino からファントムまでの出力インピーダン

スに変化し、受信機を繋げた時の受信機にかかる電圧も変化してしまうので図3に示す構成で出力インピーダンスを測定した。

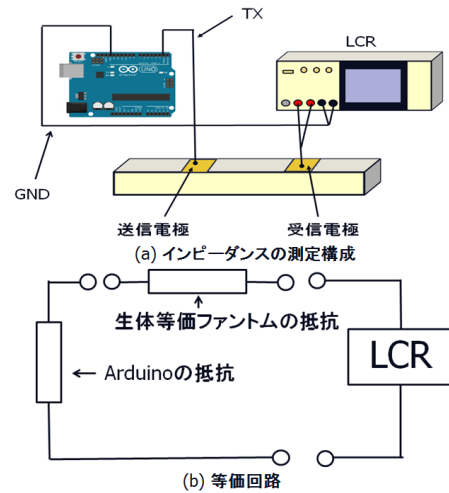


図3 インピーダンスの測定構成と等価回路

4.3 生体等価ファントムの高周波スペクトル測定

キャリア通信を用いた人体通信の実験を行う前段階の検討として、生体等価ファントムの高周波スペクトル測定を行う。測定構成は図4のように行い、表2に測定のパラメータを示す。スペクトラム・アナライザはE4403Bを使用して測定を行った。

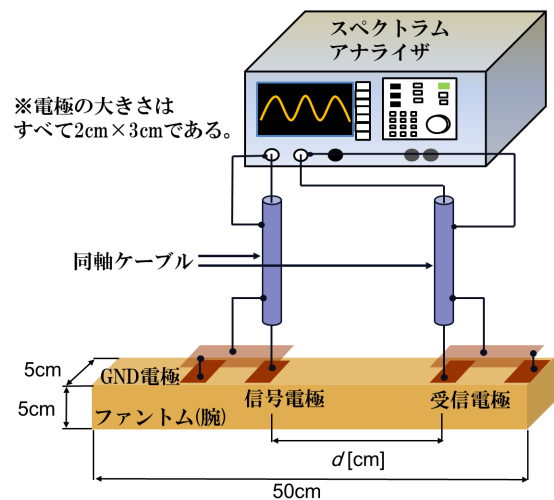


図4 ファントムのスペクトル測定

5 実験機器

本節では実験で使用する機器について述べる。

5.1 モックアップ機器

本研究において、モックアップ機器は先行研究 [8] で使用されたウェアラブル機器と同様の電極構造である同軸型

表 1 測定のパラメータ

送信機	モックアップ送信機
受信機	モックアップ受信機
周波数 [GHz]	0~3
送信機・受信機間の距離 d[cm]	10, 20, 30
測定環境温度 [°C]	24.5
測定機器の設置	発泡スチロール上
測定の繰り返し回数 [回]	3

デバイスを元になっている。図 5 に今回使用したモックアップ機器について示す。

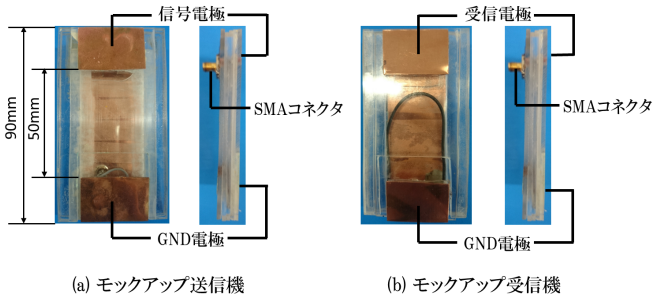


図 5 モックアップ機器

5.2 生体等価ファントム

生体と電磁波の作用を検討するための人体モデルを生体等価ファントムと呼ぶ。ファントムは電気定数が人体の各組織と等しくなるように計算されている。本研究で使用するファントムは腕の筋肉モデルであり、参考文献 [9] を元に 50(mm)×50(mm)×500(mm) のものを製作した。腕の筋肉のファントムの電気定数は比誘電率 $\epsilon_r = 53.0$ 、導電率 $\sigma = 1.41[\text{S/m}]$ である。図 6 に製作した生体等価ファントムを示し、表 2 に材料や組成比、分量について示す。

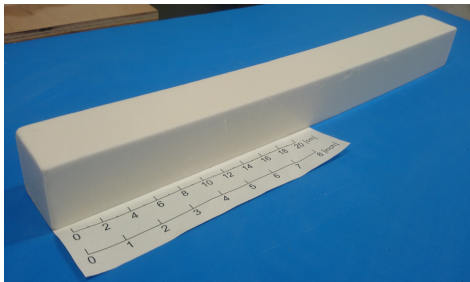


図 6 製作した生体等価ファントム (5cm×5cm×50cm)

本研究で使用する生体等価ファントムは、300[MHz] ~ 2.4[GHz] 周波数帯域において使用可能のものである。これは、キャリア通信を用いた人体通信でも使用する目的で高周波に対応したものを製作したためである。ベースバンド通信を用いた人体通信で使用するためには、電気的特性について測定する必要がある。

表 2 生体等価ファントムの組成表

材料	組成比 (%)	使用量 (g)
脱イオン水	85.64	1445.175
寒天	2.66	44.719
塩化ナトリウム	0.95	16.031
アジ化ナトリウム	0.05	0.844
TX-151	2.14	36.113
ポリエチレンパウダー	8.56	144.450
合計	100.00	1687.332

6 結果と考察

本節では、ベースバンド通信を用いた人体通信と生体等価ファントムのスペクトル測定の結果と考察について述べる。

6.1 ベースバンド通信を用いた人体通信

ベースバンドの通信では、データを送受信することができた。図 7 にその波形を示す。送信用 Arduino から送られる波形が下の波形であり、ファントム、コンパレータと通過して、受信用 Arduino で受信する波形が上の波形となる。今回使用した生体等価ファントムは腕を模したモデルであり、長さが 50[cm] となっている。電極間の距離を 50[cm] まで長くして測定したが、ファントム上ならどのような距離でも図 7 のような波形となり、通信することができた。

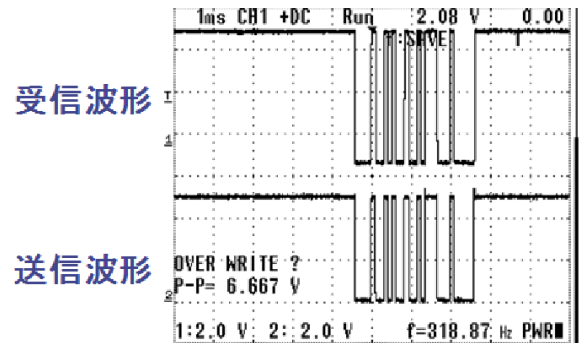


図 7 送信波形 (下) と受信波形 (上)

6.2 300Hz 帯での生体等価ファントムの特性

送信用 Arduino から生体等価ファントムまでの出力インピーダンスと電極間の距離の関係は図 8 のようになった。また、コンパレータを接続せずに受信用 Arduino を繋げた時に受信機にかかる電圧は図 9 のようになった。この時、受信用 Arduino の入力インピーダンスは約 680 Ω である。また、300Hz 帯の通信では、ファントムを通過した時の送信された波形はほぼ変化がなく、伝達関数は 1 であった。

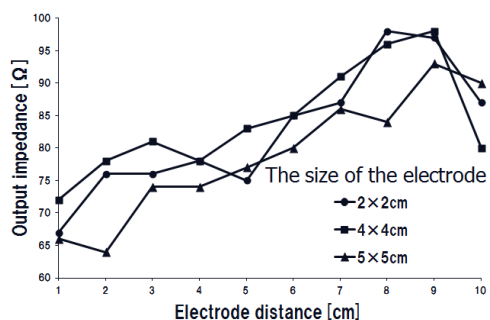


図8 出力インピーダンスと電極間の距離の関係

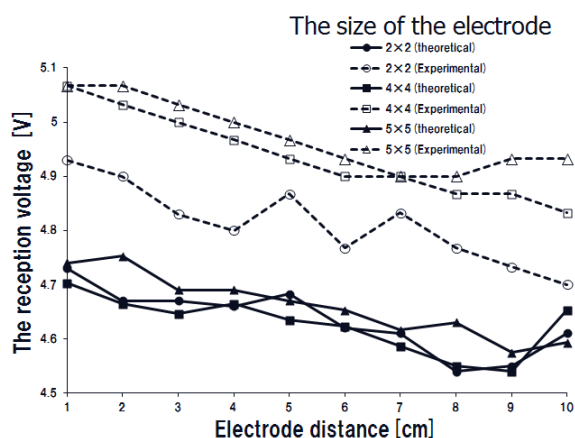


図9 受信機にかかる電圧と電極間の距離の関係

6.3 生体等価ファントムの高周波スペクトル測定

図10に生体等価ファントムのスペクトル測定の電極間距離が10[cm]のときの結果を示す。損失は最大が約40[dBm](0.8GHz)となり、最少が0[dBm](0.07GHz)となった。0~0.5[GHz]は損失が小さい周波数帯があるが、差が激しいためこの付近の周波数帯を使用する場合は再度、その周波数帯に絞って測定する必要がある。しかし、2~3[GHz]は損失が約20[dBm]で安定することがわかった。また、スペクトラム・アナライザは測定できる周波数の下限が9[kHz]であるためグラフにおける300[Hz]帯のスペクトルは測定できない。

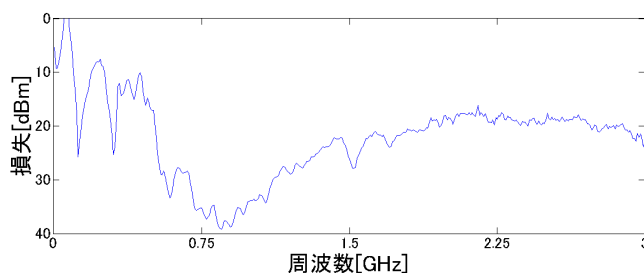


図10 ファントムのスペクトル (10cm)

7 まとめと今後の課題

アプリケーションについては、ベースバンド通信を用いた人体通信で体温測定アプリケーションを使用する場合、今後の課題として文字列を送信するプログラムを組み込む必要がある。

生体等価ファントムでは、各周波数帯における人体通信の際の電氣的損失の度合いを検証することができた。今回の測定では0~3[GHz]という長いスパンで測定したため詳細な損失を検証するためには、使用する周波数帯に絞って再度測定する必要がある。

ベースバンド通信を用いた人体通信では、300Hz帯での通信を行うことができたが、ファントムを通過した後の電圧や波形は変化していなかったため伝達関数は1となった。しかし、電極の寸法や距離によって、送信用 Arduino からファントムまでの出力インピーダンスが変化し、受信機を繋げた時の受信機にかかる電圧も変化してしまうので、Arduinoが受信する前に、コンパレータ回路を用いて受信機にかかる電圧を一定にした。今後の課題は、300Hz帯での通信で電圧や波形が変化するファントムを作成すること、電極間の距離を伸ばすことで出力インピーダンスが増えるので、その作成したファントム上でコンパレータが不要な距離を見つけることである。

参考文献

- [1] 門勇一, 品川満, “人体近傍電界通信技術「レッドタクトン」とその応用,” 2010 NTT 技研ジャーナル, pp.16-19, Vol.22, No.1, 2010.
- [2] Massimo Banzi (船田 巧・訳), “Arduinoをはじめよう,” オーム社, 東京, 2009.
- [3] Tom Igoe(水原文・訳), “Making Things Talk,” オーム社, 東京, 2008.
- [4] 神崎康宏, “Arduino で計る, 測る, 量る,” CQ 出版社, 東京, 2012.
- [5] Imaginable Reality, “Arduino のシリアル通信で int 型のデータをやりとりする,” <http://d.hatena.ne.jp/kougaku-navi/20140501/p1>, 2014.
- [6] 答島一成, “キットで遊ぼう電子回路シリーズ No.8 オペンプ入門編,” キットで遊ぼう電子回路研究委員会, 2009.
- [7] fritzing, fritzing.org/home/ 2013.
- [8] K. Fujii, M. Takahasi, and K. Ito, “Electric field distributions of wearable devices using the human body as a transmission channel,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol.55, no.7, pp.2080-2087, 2007.
- [9] 平岡真寛, 田中良明, “全訂 ハイパーサーミア マニュアル -効果的な癌温熱療法を実施するために-,” 株式会社医療科学者社, 東京, 1999.