

研究ノート

スマートデバイスに於ける音声信号を用いた外部機器制御 インターフェースの構築

本池 巧

[要旨] スマートフォン、タブレットなどのスマートデバイスは、クラウドサービスと連携しながら、情報の利活用のスタイルを大きく変えつつある。同時に、物理的なサイズの小ささは、使いやすさに関する問題も生み出している。この問題を解決する一つの方法は、周りの環境の情報の収集と外部機器の制御にあると思われる。このような環境との相互作用を実現するために、音声信号を使ったスマートデバイスと外部機器/センサ間でのデータ通信のプラットフォームの構築に取り組んでいるところである。本稿では、スマートデバイスから外部機器へのデータ通信を実現するための音声信号処理の研究および検証を行った結果について報告する。

[キーワード] スマートデバイス、フィジカルコンピューティング、デジタル変復調、ソフトウェアモデム、赤外線通信

1. はじめに

1.1 Atom と Bit

検索サービスの大手 Google 社の設立目標「人類が扱う全ての情報をアーカイブし検索可能にする」にはっきりと現れているように、「Atom から Bit へ」というパラダイム[1]によって今の情報化社会は進化してきた。Google をはじめとする検索エンジンによって、ここ 10 数年の間に、国家、会社から個人まであらゆる情報を蓄積した巨大なデジタル情報のアーカイブがインターネットに出現し、ウェブを使った情報検索システムは日常生活で欠かせないものとなった。現在、次の情報化の波として Facebook に代表される SNS サービスが普及しつつある。多くの人にとって、国家、会社などの情報よりも自分の近い知り合いに関する情報の方がより重要度が高いことの現れとも言える。今後は、位置情報が新しい情報サービスの中心となる可能性も出てきている。このような、Atom から Bit への一連の流れを俯瞰すると、

その行き着くところは、個人を取り巻く環境全ての情報のデジタル化であるように思われる。

環境の情報を活用する際は、利用場所・状況の制約がないスマートフォンやタブレット端末（スマートデバイスと以後呼ぶことにする）が必然的に情報アクセスの主流となる。スマートデバイスは、常時デジタル情報にアクセスできる反面、画面サイズやソフトウェアキーボードなど、従来の PC での操作性にくらべて情報アクセス時の制約が大きい。このような機器でインターネット上の巨大な情報アーカイブにアクセスする場合、情報を効率よく見つけ出す必要がある。現在は、用途に応じた専用アプリケーションを用いることでこの制約問題に対応しているが、利用分野が広がればそれに応じてアプリケーションの種類が増え、異なるアプリケーションにまたがった情報が上手く利活用できないという問題が発生するであろう。別の対応方法として、スマートデバイスが置かれた環境の情報の積極的な活用があげられる。既に、幾つかのアプリケーションでは、位置情報

を使って利用者にとって有用な情報を提供するものが現れている。今後は、スマートデバイスの持つ豊富なセンサ群の活用が、情報アクセス性向上の重要なカギとなるのではないと思われる。

「Atom から Bit」への流れが進行する中で、製造業を中心に逆の「Bit から Atom」へのパラダイムシフトも進行中である[2]。いままでは、デジタル情報の活用は、実社会での行動の間接的サポートにとどまってきた。インターネットでのショッピングは、購入取引がデジタル化されているだけで、商品そのものは製造者から消費者へ従来通りの方法で送り届けられている。ところが、この2.3年、個人向けの工作機械の進歩によって、製造者から商品の設計データを受け取り、製造は自分の手元で行うという流通形態が現れ始めている。自動車の運転に於けるデジタル情報の活用を考えると、現在は、カーナビ等は経路案内などの情報提供にとどまり、実際の運転は人間が行っている。だが、周囲の状況をセンサで検知し、危険回避のために減速・ブレーキ操作などを自動で行う自動車も現れている。

今後は、実体のある製品はデジタル情報によって発展し、デジタル情報は実空間の情報と融合することで高度な利活用が進むという「Atom から Bit」と「Bit から Atom」の二つの流れの融合および相補的な進化が進むと思われる。

「Atom」と「Bit」が共存する社会においては、スマートデバイスはデジタル情報と現実世界を橋渡しする重要な機器となるであろう。今までは、デジタル情報にアクセスするための端末が主な利用方法であったが、今後は、「Atom」と「Bit」を仲立ちし、実空間の情報の利活用、電子機器等の制御など新しい利用方法が現れると予想される。

1.2 新たな情報利活用教育への取り組み

「Atom」と「Bit」の融合の時代の到来によって、高等教育に於ける情報教育は根本的に見直し求められるであろう。今の情報リテラシー教育では、「Atom から Bit」の主役である、PC、

WWWの利活用を中心に指導が行われている。そのユーザインタフェースは、1970年代にXerox Palo Alto研究所で開発されたAltoマシンが装備したマウス、キーボード、ビデオディスプレイ(MKV)からほとんど進化していない。

MKVスキームは必ずしも万能なものではなく、「Atom」と「Bit」の融合の時代では、改めて基本に立ち返ってデジタル情報の利活用について考えなければならない。その一つの取り組みとして、情報処理の本質的な観点より、我々の日常生活に於ける情報の利活用に適したコンピュータとはどうあるべきかについて研究・教育するフィジカルコンピューティング[3]という手法に注目したい。

フィジカルコンピューティングでは、センサやアクチュエータなどの電子部品をマイクロコンピュータと組み合わせ、実空間の情報収集や実空間への働きかけによって、我々の日常活動をいかに拡張するかについて取り組んでいる。フィジカルコンピューティングの普及にともない、フィジカルコンピューティングツールキット(以後ツールキットと呼ぶ)と呼ばれるコンパクトで使いやすいMPUボードが開発されている。その代表的なものとしてM.Banziらによって開発されたArduinoが挙げられる[4]。ArduinoはPCに比べると遙かに非力なMPU(ATmega8~ATmega328)で構成されている。回路図、ファームウェアなど全ての仕様を公開するオープンソースハードウェアとして生産され、このボードを動かすためのアプリケーションもオープンソフトとして公開されている。仕様をオープンとすることで、用途に応じて様々な亜種が存在し、サーボモータ等の電子機器の制御、無線通信等の用途のプログラムが開発・公開されている。

本研究は、フィジカルコンピューティングでの成果をスマートデバイスに応用し、スマートデバイスを通じて、デジタル情報の利活用を拡張する教材開発のプラットフォーム構築を目的とする。本稿では、その準備をして全てのスマートデバイ

スが装備している音声再生用のステレオイヤホン端子を使って、いかに電子機器を制御するかについて試行した結果について述べる。

2. フィジカルコンピューティングの観点から見たスマートデバイス

スマートデバイスのCPU、主記憶装置、外部記憶装置等の構成は、PCと全く同じで、外見は、入出力装置として、キーボード・マウスの代わりにタッチパネルを備えているだけのように見える。しかし、内部を見ると、PCとは大きく異なる外部インターフェースおよびセンサ類を備えている。ツールキットと組み合わせた活用方法を検討する前に、主要なハードウェア構成についてまとめておく。

2.1 内蔵センサ

スマートデバイスがPCと大きく異なっている点は、豊富なセンサ群を備えていることである。代表的なセンサ群としては、以下のものがある。

加速度センサ：アプリケーションによっては、画面を縦でも横でも利用できるように、向きに応じて画面表示を切り替える必要がある。そのために、3軸方向の重力を検知する加速度センサが装備されている。このセンサは、シェイクといって本体を振る動作の検知にも利用される。

GPS：全地球測位システムによって現在位置を知ることができる。実際は、精度・用途に応じて通信基地局の電波強度、Wifiアクセスポイントなどと組み合わせて使用する。

コンパス：地球の地磁気を使って方位の測定が可能である。

ジャイロスコープ：3軸周りの角速度を測定する。加速度センサでは検知が難しい回転角速度を検出することで、本体の動きに関するより詳しい情報が収集可能となる。

近接センサ：受話スピーカ横の横にあり、何か接近したことを検知する。主に、通話中に頬など

がタッチパネルに触れて誤ったダイヤル操作をしないようにするために使用される。

環境光センサ：周囲の明るさに応じて画面の明るさを調整するために使用される。

2.2 ネットワーク

PCと違って、様々な場所で利用されることを想定し、多彩な無線ネットワークが利用可能である。

3G(4G)回線：スマートフォンや一部のタブレットでは、携帯電話回線を使って通話およびデータ通信を行う。国土のほぼ全域をカバーしているが、通信速度は理論上、上り数百kbps、下りが数Mbpsで、Wifiに比べると遅い。最近の4G、LTEでは、Wifiと同等の速度で通信可能である。

Wi-Fi：正式にはIEEE802.11規格での通信方式である。高速通信が可能であるが、屋内の短距離通信に限定され、電力消費が大きい。大量データ通信や3G回線がつながりにくい地下などで利用される。

Bluetooth：正式にはIEEE802.15.1規格で、デジタル機器同士を近距離無線通信接続するための規格である。主にヘッドセット、キーボードなど周辺機器を接続するために使用される。最新の機種では、Bluetooth LEに対応したものもあり、小型センサとの通信が可能になっている。

2.3 その他インターフェース

イヤホン端子：主に音楽を聴くために使用されるが、マイク入力や音量調整など簡単な入力に使用することができる。

外部機器接続端子：スマートデバイスは、PC、オーディオ機器やプリンタなど様々な機器と接続するために、USBまたは専用コネクタを装備している。

2.4 ツールキットとの接続

Arduinoなどのツールキットで使用されているMPUは、全二重のシリアル通信回路を内蔵して

いる。そのため、ツールキットをスマートデバイスで制御する場合、シリアル通信を使うことになる。シリアル信号の伝送方法としては、Wi-Fi、Bluetooth、外部機器接続端子を用いる方法がある。それぞれの特徴と利用例を以下にまとめる。**Wi-Fi**：高速通信可能であり、MPUの制御だけでなく、映像、音声など大容量のデータの送受信が可能である。ただし、電力消費が大きいため、バッテリー駆動での長時間稼働は困難となる。ArduinoをWi-Fi経由でスマートデバイスに接続するには、Arduino Wi-Fi Shieldを使用する(図1)。

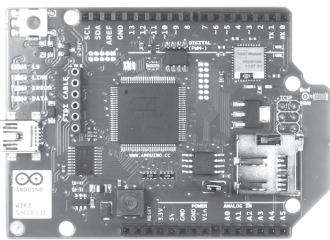


図1 Arduino Wi-Fi Shield

Bluetooth：Wi-Fiに比べると通信速度は遅いが消費電力は少ないため、スマートデバイスとツールキットを無線接続する際に使いやすい通信手段であり、対応した機器も多数発売されている。最新のBluetooth LE (Low Energy) では、ツールキット接続への対応も進み、接続が簡単になっている。Arduinoを接続するには、BLE Shield (図2) などを使用する。

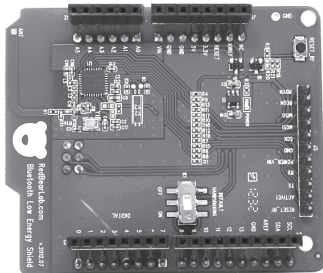


図2 BLE Shield

外部機器接続端子：無線での通信は送信機器と受信機器の間の距離の制約がなくツールキットを好

きな場所に設置できるメリットがある。デメリットとして、接続を確立するための設定 (Bluetoothでのペアリングなど) が必要で、機器の設定に慣れない人にとって利用しづらい。これに比べると、スマートデバイスの外部機器接続端子とケーブルで直接接続する方法は、簡単に利用できるというメリットがある。ArduinoとAndroid端末を接続する場合は普通のUSBケーブルで、ArduinoとiOS端末であれば、RedPerk Serial Cable (図3) などを使って接続する。



図3 RedPerk Serial Cable

2.5 初学者向けの簡単な接続方法

前節で紹介した方法で、スマートデバイスとツールキットの通信プログラムを作成するには、組込システムプログラミングに関する知識および通信方法に関する知識を必要とする。組込システム開発の初心者が、最初から取り組む題材としては適切ではない。

そこで、視点を変えてイヤホン端子経由の音声信号を使った通信方法について考えてみる。音声信号を使った通信は、昔の電話回線を使った通信方法と原理的には変わらない。通信速度が遅いという欠点があるが、通信そのものはサウンドデータの送受信なので、取り扱いが簡単で、Objective-CやJavaで開発するネイティブアプリだけでなく、AIR for iOSのようなランタイムアプリやWebアプリなど様々な形態のアプリケーションから利用できるという長所がある。また、専用の信号解析器がなくても、動作状況を自分の耳やPCのオーディオインターフェースを使って確認することができ、問題があったときは自分で調べて対処することができる。組込システム開発の初心

者に適した接続方法であると考えられる。

3. サウンド入出力を用いたデバイス制御

イヤホン端子を介した音声信号を使ってツールキットを制御するための基礎として、音声信号を使った、デジタル変調方式について、検討および実証モデルによる検証を行う。

3.1 スマートデバイスの諸特性

ここでは、スマートデバイスの具体例として Apple 社の iPhone を使って検証を行う。機種によって若干の差はあるが、iPhone/iPod Touch の音声出力回路の特性は以下のようになっている。

デコード可能なデータ：44.1kHz 16bit 2ch

周波数特性：20Hz～20kHz

出力信号の Peek-to-Peek 電圧：約 2.8～3.0V

スマートデバイスのイヤホン端子のジャックは左右の出力チャンネルとマイクの 2 出力 1 入力の 4 極ミニプラグで接続する。4 極端子には、CTIA (Cellular Telephone Industry Association) と OMTP (Open Mobile Terminal Platform) の二つの規格があり、それぞれの規格でのプラグの各極への信号の割り当てを図 4 に示す。ちなみに、iPhone は CTIA 規格となっている。



図 4 極ステレオミニプラグの信号割り当て

3.2 有線通信による制御

音声信号を使ったデジタル通信の技術は、1990 年代に全盛だった電話回線経由で Modem を用いるパソコン通信と原理的には同じである。

iPhone 側で、デジタル信号から Core Audio などのサウンドライブラリを使って変調した音声信号を生成し、変調信号を Arduino 等のツールキット上の MPU の ADC (Analog Digital Converter) を使ってデジタルデータに復調する (図 5)。

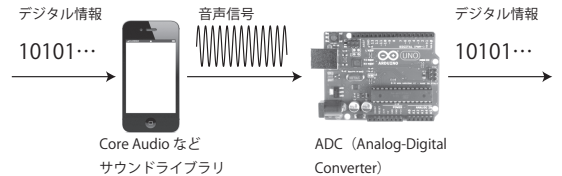


図 5 iPhone と Arduino の通信概念図

バイアス回路

iPhone からの出力信号は、図 6 に示すように、0V を中心に最大振幅約 1.4V の波形となる。Arduino の ADC は負の電圧を 0 に変換するため、波形の上半分しかデジタルデータに変換できず、このままでは信号の復調を行うことができない。

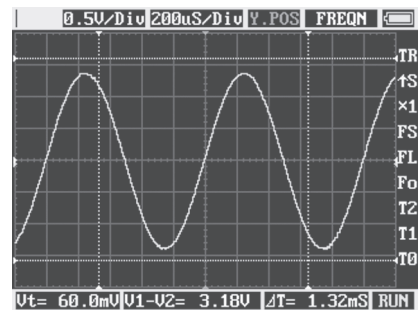


図 6 iPhone のイヤホン出力の出力波形

これを解決するには、トランジスタの増幅回路 [5] と同様な回路 (図 7) によって信号全体に 1.6V のバイアス電圧を加え、全波形を ADC で変換できるようにする。

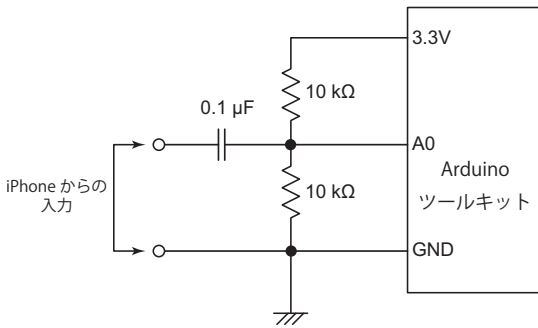


図7 入力バイアス回路

変調方法

音声信号の伝送に用いるデジタル変調方式としては、信号の振幅を変調する ASK (Amplitude Shift Keying)、周波数を変調する FSK (Frequency Shift Keying) そして位相を変調する PSK (Phase Shift Keying) の三つの方式がある [6]。電子回路を使って変調する場合、構成が単純な FSK が用いられる。今回は、教育用に実装および動作原理の理解のしやすさを考慮し、スマートデバイスのサウンド生成ライブラリで簡単に変調信号を実現できる ASK を採用する。

ハードウェアの処理能力

送信側として用いる Apple iPod Touch 4G と受信側のツールキット Arduino Duemilanove それぞれのハードウェアの処理能力を調査する。

iPod Touch 4G では Adobe Flash CS 5.5 の AIR for iOS を使って送信側のプログラムを作成する。AIR for iOS の PCM データ動的作成機能を検証した結果、PCM 変換バッファサイズは最低 2048 サンプル必要ということが分かった¹。変調とは直接は関係ないが、ボタン操作などをトリガーとして信号を送信する場合、最大 2048/44100 sec=46msec の遅延が発生する。復調側は、最短

この時間スケールでの変調信号の振幅の変化を検出できなければならない。

Arduino Duemilanove が内蔵する ADC のサンプル間隔は 110 μsec 程度である²。検証した結果、搬送波の周波数が 1kHz 程度であれば、変調のための波形振幅の検出 (誤差 5% 以内) が可能であることがわかった。

サンプル実装

本格的なスマートデバイス-ツールキット間のシリアル通信を実現に向け、物理レベルでデジタル変復調を検証した結果を報告する。変復調および通信方法は、ビット同期などの通信制御が不要な 1 シンボル (各振幅での振動状態をシンボルと呼ぶ) の通信を採用する。

今回は、2bit 情報 00₂、01₂、10₂、11₂ に応じて搬送波 (1kHz) の振幅を 4 段階 (図 8) に設定する 4 値 ASK を採用する。受信した変調信号の振幅から 2bit 情報が復調される。

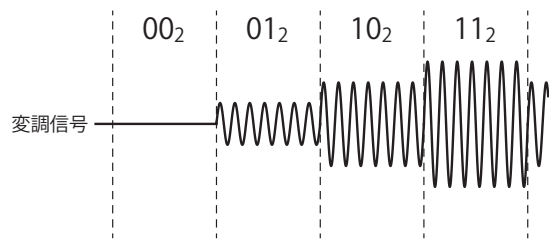


図8 4値ASKでのデジタル値と振幅

サンプルの通信プログラムは、iPod Touch 上の三つのボタンのいずれかを押すと、それぞれのボタンに応じて Arduino 側につながった三つの LED が点灯するものである (図 9)。

¹ バッファサイズが小さければ、応答速度が高くなるが、小さすぎると CPU の処理が追従できずに、再生音にノイズが混入する。単純処理の場合は、2048 が下限であるが、複雑な処理になればこの値を増やす必要がある。

² 厳密には、ADC のサンプリング間隔ではなく、ツールキットのフレームワークのループ処理の繰り返し周期である。

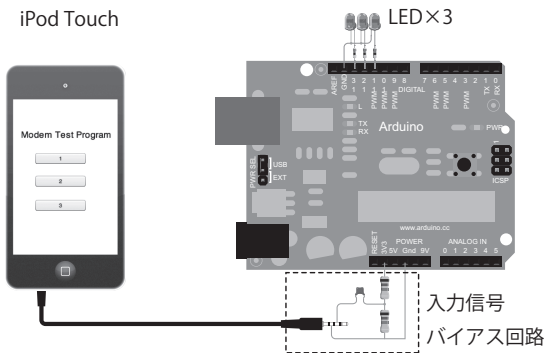


図9 音声通信サンプルシステム構成図

送信プログラムでは、AIR for iOS の PCM データ生成オブジェクトを使って、 $-1 \sim +1$ の浮動小数点数で作成された波形データを、PCM データに変換し、音声信号として出力する。波形データの生成は図 10 に示したイベントハンドラが行う。

```
function sineWaveGenerator(event:SampleDataEvent):void
{
  for (var i:int = 0; i < 2048; i++)
  {
    var t:Number = (i + event.position)/44100;
    var sig:Number = amp * Math.sin(2*Math.PI*freq*t);
    event.data.writeFloat(sig); // Left Channel
    event.data.writeFloat(sig); // Right Channel
  }
}
```

図 10 PCM データ生成イベントハンドラ

各ボタンの押し下げに応じて、図 10 の波形の振幅(amp)の値が以下のように切り替わるようにイベントハンドラを設定する。

- ・ ボタン 1 → amp=0.33;
- ・ ボタン 2 → amp=0.66;
- ・ ボタン 3 → amp=1.0;

Arduino 側の復調処理は、ADC の値の P-P (Peek-to-Peek) 値を 3 周期程度の時間間隔で求めその値からシンボルの判定を行う。ADC の $\Delta V =$ 約 5mV 程度なので、オフセット 1.6V、 $V_{p-p} = 2.8V$ の搬送波から、四つのシンボルの判定を行う閾値を以下のように設定して復調を行う。

- ・ 00_2 と 01_2 の P-P 値の閾値=90
- ・ 01_2 と 10_2 の P-P 値の閾値=270
- ・ 10_2 と 11_2 の P-P 値の閾値=450

以上の構成でシステムの動作検証を行った結果、iPod Touch の三つのボタンのいずれかをタッチすると、それに応じて三つの LED が点灯することが確認できた。ただし、今回のシステムは、復調の際の同期処理がないため、信号の振幅が大きい値から小さい値に切り替わる際、まれに中間の値をサンプリングして誤って値が復調されることがある。これは多値 ASK の問題である。今回のシステムのようにボタンタッチ操作の場合は、 $10_2 \rightarrow 11_2$ のように、ボタンを放さずに別のボタンを押すことはあり得ない。したがって、 $10_2 \rightarrow 11_2$ または $11_2 \rightarrow 10_2$ という状態遷移が発生した場合は、復調の誤りとして処理する方法で対処可能である。

3.2 赤外線通信による制御

TV、ビデオ、エアコンなど我々の身の回りの様々な機器では、設置場所や使用形態に制約がなくなることから、リモコン操作が可能となっているものが多数ある。他の機器をスマートデバイスで操作する場合、その利用スタイルを考慮すれば、リモコンでの利用形態が自然であると考えられる。

前節では、スマートデバイスとツールキットはステレオケーブルで接続されていたが、次に、二つの機器間の赤外線を使った無線通信の実装について検証を行うことにする。

赤外線通信方法

ほとんどのリモコンは通信に赤外線を使う。リモコンを使用する環境では、太陽、照明等から発せられる赤外線の影響を無視できないため、通信に使用する赤外線に振幅変調 (一般的なリモコンは 38kHz) を施し³、受信側はバンドパスフィルタ (BPF) を使って環境ノイズを取り除いて信号を抽出する [7] (図 11)。

³ 赤外線自身は数 THz の電磁波であるので、その振幅を 38kHz で変調したものを、更にもう一度振幅変調している。

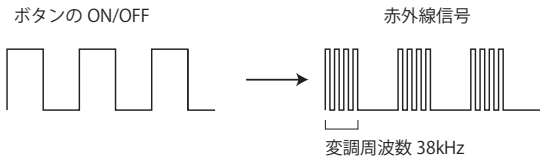


図 11 リモコンの赤外線信号

リモコンの場合、発光素子は赤外線 LED (発光ピーク波長: 850~950nm) を用い、装置側の受光素子はフォトダイオードを用いる。フォトダイオードの出力信号は小さく、アンプ、BPF、波形整形回路などが必要であるが、これらの回路全てを一体として内蔵した受光モジュール IC (図 12) を用いる [8]。受光モジュール IC は、出力が TTL (Transistor-Transistor Level) レベルで、5V 動作のものを用いれば、追加回路不要でツールキットに接続できる。受光モジュールの出力信号の周波数は最大 1kHz 程度であるため、最大で 1k bps 程度の通信が可能である。

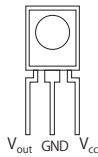


図 12 赤外線受光モジュール IC

搬送波生成方法

変調信号生成には、前節と同様にイヤホン端子からの音声信号を生成して赤外線 LED を駆動すればよい。しかし、スマートデバイス内蔵の PCM デコーダの最大サンプリング周波数は 44.1kHz、イヤホン端子回路の周波数特性は 20~20kHz となっているため、イヤホン端子から直接赤外線通信のための 38kHz の搬送波を送信することができない。この問題を解決する方法としては、以下の二つの方法がある。

一つの方法は、発振回路を作成する方法である。IC または MPU などを使えば、容易に 38kHz の信号を生成することができる。信号を安定して出力できるなどの利点があるが、発振回路用に別

途電源回路が必要となり、構成が大がかりとなってスマートデバイスの携帯性が失われるという欠点がある。

もう一つの方法は、二つの LED を交互に点灯させる方法である。図 13(a) に示すように、二つの LED を、互いに極性を反転させて並列に接続する。二つの LED の両端に 19kHz の信号を加えると、信号の電圧の絶対値がある閾値⁴を超えると、二つの LED のなかで順方向電圧が加わっている LED のみが点灯する。1 周期の中で、二つの LED は一回ずつ、合わせて 2 回点灯する 38kHz の赤外線信号となる (図 13(b))。

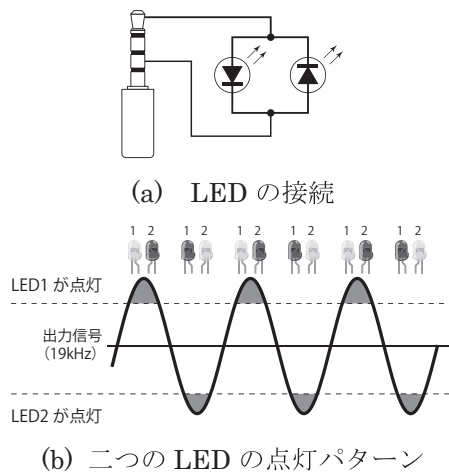
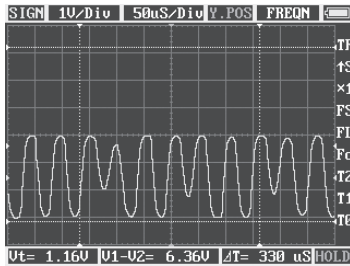


図 13 38kHz 信号の発生方法

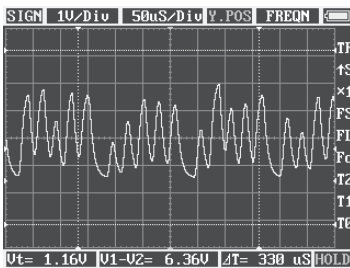
回路の構成のし易さから、二つの LED を並列接続する方法を採用する。19kHz の信号であっても PCM 再生能力の限界に近く、図 14(a) に示すように、所々波形が乱れているところがあることが分かる。図 14(b) には、この矩形波で発生させた赤外線をフォトダイオードで受信した信号を示す。二つの LED からの赤外線を均等に受信できないため、厳密には 38kHz の信号を受信していないことがわかる。しかし、受光モジュール

⁴ 赤外線リモコン用の LED は、単 3 電池 2 本で動作するように、通常の LED に比べると低めの約 1.2V 程度で点灯する [9]。

IC は、38kHz から少しずれた信号でも検出可能なように設計されているため、このような信号でも実際は正しく動作する。



(a) 二つの赤外線 LED に加わる電圧



(b) 二つの LED からの赤外線
図 14 LED×2 で生成した制御信号

赤外線信号の受信方法

赤外線リモコン受光モジュール IC は、38kHz の赤外線信号を受光すれば、Vout 端子が TTL レベルで High に、受光しなければ Low になる [8]。ツールキットのデジタル入力ポートに Vout 端子 (図 12、左端の端子) を接続すれば、スマートデバイスからのデジタル信号を受信することが可能となる。

サンプル実装

赤外線を使ったデジタル変復調を検証した結果を報告する。有線の場合と同様に変復調および通信方法は、ビット同期などの通信制御が不要な 1 シンボルの通信を採用する。受光モジュール IC を使った赤外線通信の場合は、変調状態は二値 ASK となる。

サンプルの通信プログラムは、iPod Touch 上のボタンを押すと、Arduino 側につながった

LED が点灯するものである。なお、プログラムは信号周波数を除いて、3.1 節のプログラムをそのまま流用した。Arduino 側は、受光 IC の Vout の値が High レベルになれば LED を点灯 (つながったポートを High レベルにする) する。図 15 に構成図を示す。

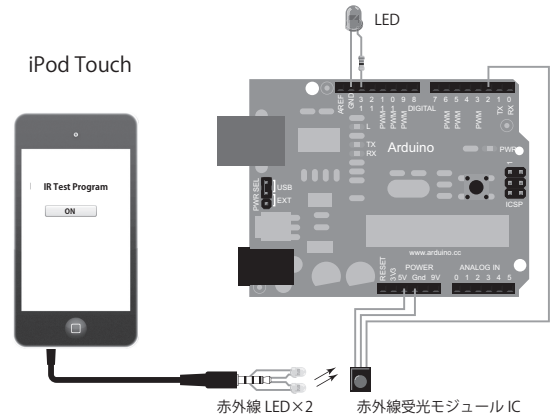


図 15 赤外線通信サンプル構成図

以上の構成で動作検証を行った結果を示す。iPod Touch のボタンをタッチすると、それに伴って LED が点灯することが確認できた。赤外線 LED と受光 IC の距離が 1m 以内であれば問題無く通信できるが、2m 以上離れると、取りこぼしが見られるようになる。

検証より、赤外線通信では、送信側と受信側が遠く離れた場合の通信の信頼性の確保が課題となることがあきらかとなった。一番簡単な方法は、送信する赤外線を明るくすることである。そのために、Left/Right の 2 チャンネルそれぞれに LED を二つずつ接続する方法と、Left/Right 両チャンネルに逆位相の音声信号を発生させ、Left-Right 間で 2 倍の電圧を発生させて点灯する方法がある [10]。前者の方法では、明るさを 2 倍にするには LED の照射方向の微調整が必要となり、実際は、明るくするというよりも、照らす範囲を広げることになる。後者の方法は、LED の定格外 (LED 両端の電圧が 2.8V となる) の使い方であるため、焼失などの恐れがある。iPod Touch のサウンド出力回路の出力は数 mV であ

るため、LEDが破損することはない。実際、後者の接続方法を検証し、LEDは定格内で動作し、明るさも約2倍程度となることが確認できた。両者どちらを採用するかは、照射角度、距離など使用形態に応じて選択する必要がある。

4. まとめ

本論文では、有線・無線の二つの伝送方式で、音声信号によるスマートデバイスとフィジカルコンピューティングツールキット間の通信を検証した。実効通信速度は1kbps程度であるが、リモコンのように外部機器をボタンで操作するには充分であることが検証できた。

スマートデバイスでは、アプリケーションからウェブまで、多様な環境でサウンド出力が利用できる状況である。接続に、外部電源や特別な機器が不要であり、設定なしで利用可能であるサウンド出力の利点は、リモコン等の小規模通信には最適であると思われる。

サウンドを使った通信は、原理も簡単であり、デジタル通信やハードウェア制御の教育を受けていない学生でも、原理の理解が可能で、自分でこれを応用したシステム構築に取り組むことが可能である。実際、今回のサンプル実装をベースに機能追加を行うだけで、ボタン操作で機器を操作するというアプリケーションならば簡単に作成できる。

今後は、大量のデータ通信を行うための、調歩

同期、フロー制御等の実装、広範囲での通信、信頼性のある通信など、取り組むべき課題は多数あるが、初心者がターゲットであるため、機能と使いやすさのバランスを取りながら開発していく予定である。

参考文献

- [1] N.Negroponte, "BEING DIGITAL", Vintage, 1996.
- [2] N.Gershenfeld, "Fab: The Coming Revolution on Your Desktop", Basic Books, 2007.
- [3] D.O'Sullivan, T.Igoe, "Physical Computing", Course Technology Ptr, 2004.
- [4] M.Banzi, "Getting Started with Arduino", Make, 2011.
- [5] 渡辺 明禎, "トランジスタ回路の実用設計", CQ 出版社, 2005.
- [6] 石井 聡, "無線通信とデジタル変復調技術", CQ 出版社, 2012.
- [7] トランジスタ技術編集部, "光エレクトロニクスの基礎と活用法", CQ 出版社, 1999.
- [8] PARA LIGHT Electronics Co., Ltd., "赤外線リモコン受光モジュール PL-IRM-2161-C438 データシート", 2004.
- [9] 東芝セミコンダクタ&ストレージ, "赤外線 LEDTLN110(F) データシート", 2007.
- [10] 上原 昭宏, "iPhone で電子工作", 秀和システム, 2012.

Implementation of Control Interface via Audio Signal on a Smart Device by MOTOIKE Takumi

[Abstract] Smart devices (smartphones and tablets) are changing the style of using and accessing information in combination with the cloud-computing paradigm. Simultaneously, these devices have usability problems arising from small physical form factor. It is considered that one of the solution for this problem is retrieving of information from surrounding environment and controlling external devices. For the realization of the platform interacting with environment, data communication between smart devices and external devices/sensors via audio signal is being developed. In this paper, investigation and verification of audio signal processing for transmitting data from a smart device to an external device are reported.

[Key Words] smart device, physical computing, digital modulation-demodulation, software modem, infrared data communication