

目次

1 はじめに	2
2 作成した装置について	3
2.1 mbed について	3
2.2 使用したセンサ, モジュール等について	5
2.3 機能	5
3 ノックの検知	6
4 リズムのマッチング	7
4.1 システム上でのマッチング処理	7
4.2 照合の定義	7
4.3 照合のアルゴリズム	7
5 実験結果	8
6 考察	9
7 今後の課題	11

1 はじめに

世の中には様々な入力装置がある。マウスやジョイスティック、タッチパネルといった画面上の座標を入力するポインティングデバイス、OCRやOMR、磁気カードリーダーといったスキャナ、キーボード、マイクを利用して音声でパソコンを操作したり、データを入力したりする音声入力装置など色々なものが挙げられる。

本研究では物を叩いて信号を送ったり、ドアをノックして合図をするような、リズムによる入力を可能にする装置を作成する。この入力装置は玄関のドアのノックのリズムによって来訪者が知人であるか否かを判定するといった装置やドアのノックをパスワードとして施錠、開錠を可能にする装置の根幹とすることでこれらの装置を実現することができる。

このリズムによる入力を可能にする装置を実現するために重要な点はノックを検知することだけでなく、得られたリズムのあいまい照合も考えるべき点である。得られたリズムは人による入力なので、人によってノックのリズムのテンポが全く同じということはずない。そのため本研究ではノックとノックの間の時間間隔をミリ秒で取得するが、リズムをマッチングする際には比率で計算する。また、同じ人が等間隔を意識してノックしたとしても時間間隔が一緒になることはないため、ある程度誤差を許容するような照合条件にする必要がある。

本論文の以降の構成は次のとおりである。第2節ではこの装置の設計にあたって使用したものについてとこの装置の仕様について説明する。第3節ではノックをどうやって検知しているかについて説明する。第4節ではリズムのマッチング方法と照合条件について説明する。第5節では複数のリズムのパターンとそのパターンを意識してノックした場合の照合率とその結果を示す。第6節では第5節で得られた結果をもとに考察する。第7節では今後の課題について述べる。

2 作成した装置について

この装置を作成する上で使用したマイコンである mbed やセンサなどについて説明する.

2.1 mbed について

mbed マイクロコントローラは, イーサネット, USB デバイス, CAN, SPI, I2C, その他のインタフェースを搭載し, 512KB フラッシュメモリと 64KBRAM を持ち, 96MHz で動作し, ARM 社 Cortex-M3 コアを搭載した NXP 社 LPC1768 を使用した ARM 社のプロトタイピング用ワンボードマイコンのことである [1]. mbed の開発環境は OS に依存せずブラウザ上で動作するオンライン IDE を備えており, ユーザはこの IDE 上でコードを記述したり, mbed.org 上に存在するライブラリをインポートしたりすることが可能. コンパイルされたバイナリファイルはダウンロードし, USB メモリとして認識されている mbed の内蔵フラッシュメモリ上に書き込むことで動作させることができる. また, mbed はローカルファイルシステムをしようできるため, 本研究では mbed 内にマッチングさせるパターンとなるリズムを mbed 内に保存している. 振動センサからのノックの検知, パターンとなるリズムの保存, リズムが照合した際におけるサーボモータの動作を制御するプログラムの言語は C++ を用いて記述している. 使用した mbed 内臓の A/D コンバータのサンプルタイミングは 71 マイクロ秒であり, 本研究におけるリズムの取得はミリ秒で取得するため十分な精度である. この mbed の許容電圧は 5V であるため, 圧電スピーカを用いて振動を検知するときは注意が必要である.

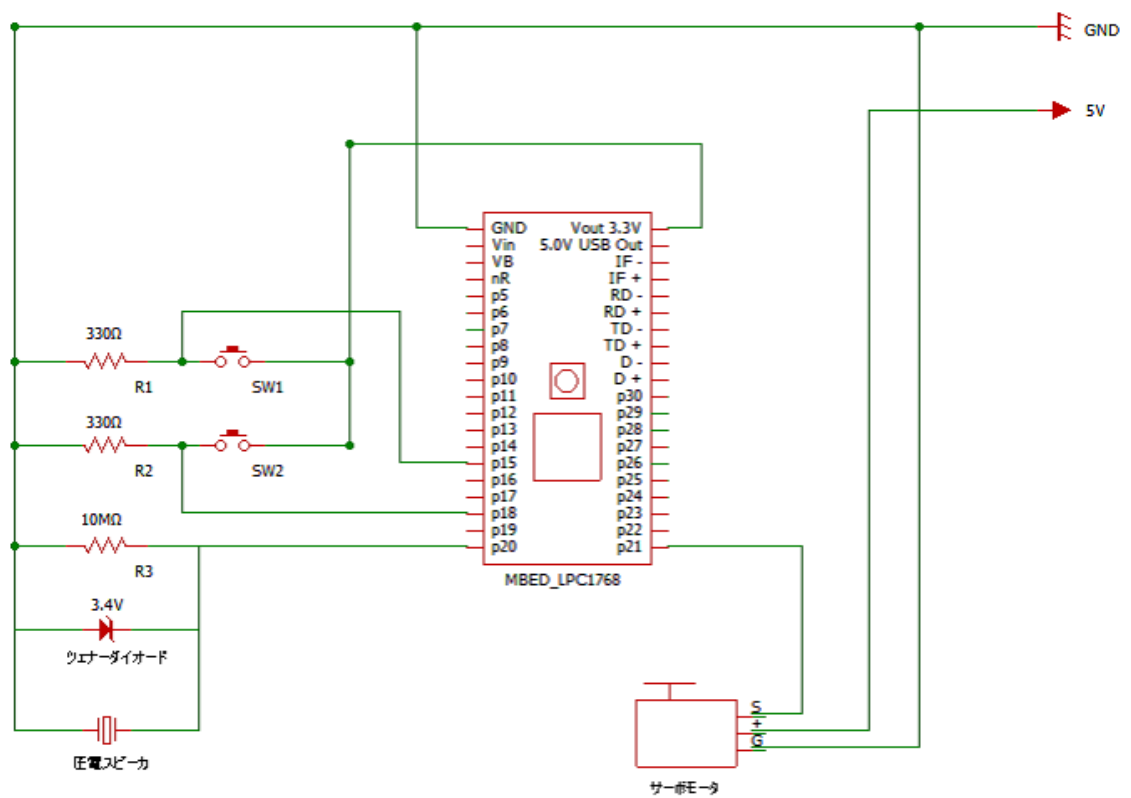


図 1: 作成した装置の回路図

2.2 使用したセンサ, モジュール等について

圧電スピーカ 圧電素子を用いたスピーカで最大印加電圧 30 V である圧電スピーカを振動センサとして用いた.

ツェナーダイオード mbed の許容電圧の 5V を超えないようにするためにツェナー電圧が 3.4V~3.6V であるツェナーダイオードを用いた.

サーボモータ 0.12 秒で 60 度動作するサーボモータをリズムが照合した際に動作する出力部として用いた.

2.3 機能

まず, スイッチ SW1 を押し, 圧電スピーカを叩いてリズムを入力することでユーザが照合させたいパターンとなるリズムを mbed 内に保存する. このときに入力できるリズムは一つだけである. しかし, 再度 SW1 を押してリズムを入力することで複数のパターンを保持できるようにした. 次に, パターンとなるリズムを保存した後にスイッチ SW2 を押して圧電スピーカを叩くと, ユーザが叩いたリズムの一部と mbed 内に保存されているパターンとなるリズムとのマッチングが行われる. mbed 内に保存されているいずれかのパターンと叩いて入力したリズムの一部が照合するとサーボモータが動作する. このときノックの検知とサーボモータの動作は割り込みで処理しているため, リズムのマッチングを含め, 並列処理しているかのようになっている.

3 ノックの検知

ノックによる入力を可能にするためにノックを信号として検知する必要がある。振動センサとして用いた圧電スピーカは叩かれると圧電効果と呼ばれる、与えられた振動によって圧電スピーカに用いられている圧電素子が歪むことによって電圧が変化する性質をもつため、振動を電圧の変化に変換できる。しかし、大きな衝撃を圧電素子に与えると数十Vもの電圧が生じる場合があり、mbed が許容できる電圧値を超えてしまう。それを防ぐためにツェナーダイオードを用いて 3.4V から 3.6V に制限している。

下の図はツェナーダイオードにより整流された電圧値の変化の図である。図 2 のような一定の高さと幅を超える三つの変化の一つ一つをノックとし、そのノックされた時間をミリ秒で取得し、ノックとノックの間の時間間隔を保存する。

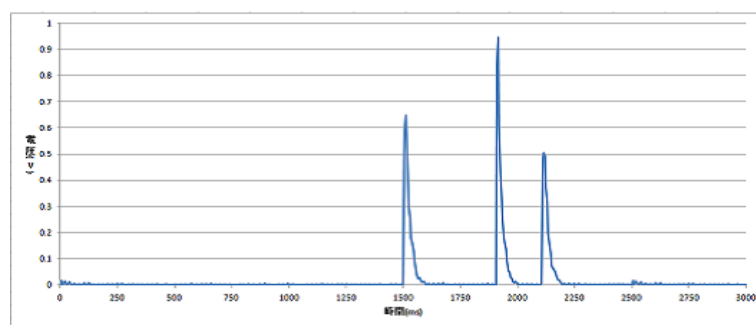


図 2: 圧電スピーカから取得した電圧値の変化

4 リズムのマッチング

4.1 システム上でのマッチング処理

本研究で扱うリズムとは以後比率で表された列とする。mbed に予め保存されている整数比で構成されたリズムをパターンとする。また、振動センサを叩くことで取得した時間間隔の列から、比較するパターンと同じ長さだけ取り出し、取り出した時間間隔の最小値を基準とした比率で表されているリズムをテキストとする。パターンとテキストの対応する比率が照合条件を満たしていれば、パターンとテキストは照合するとする。もし、照合しなければ mbed 内に保存されている別のパターンとマッチングさせる。

4.2 照合の定義

整数の列 $T = t_1, \dots, t_n$ と整数の列 $P = p_1, \dots, p_n$ において、任意の $1 \leq j \leq n$ について

$$-0.5 < \frac{p_j}{\min(P)} - \frac{t_j}{\min(T)} < 0.5$$

が成り立つならば、 P が T に照合するという。

4.3 照合のアルゴリズム

まずテキストとパターンの先頭を揃え、先頭から順にテキストとパターンの対応している比率が照合条件を満たしているかを比較する。パターンの終わりまでテキストとパターンの対応する比率が照合条件を満たしていれば、照合したとする。

5 実験結果

自分の装置では最低でも 100ms 以上の時間間隔しかなかった。また、実際の音楽における一音符あたりの時間は、大部分が 150～900ms くらいの範囲に収まると言う Fraisse (1982) の分析結果 [2] から、マッチングさせたパターンの整数比は全て 1,2,4 で構成されたもので用意した。長さ 4 のパターンを 41 個用意し、それぞれのパターンを意識して 100 回ノックした。その結果の一部を表 1 に示す。

表 1 に示すとおり、パターンの中に整数比 4 が含まれているリズムは明らかに照合率が下がった。マッチングさせたいリズム以外のリズム (照合してほしくないリズム) で叩いても照合することはなかった。

表 1: 照合における実験結果

マッチングさせたパターン	照合率
1 : 1 : 1 : 1	1.0
1 : 1 : 1 : 2	0.93
1 : 1 : 2 : 1	0.91
1 : 2 : 1 : 1	0.95
2 : 1 : 1 : 1	0.9
1 : 1 : 2 : 2	0.97
1 : 2 : 2 : 1	0.95
1 : 2 : 1 : 2	0.98
2 : 1 : 2 : 1	0.9
2 : 2 : 1 : 2	0.95
2 : 2 : 2 : 1	0.97
1 : 1 : 1 : 4	0.59
1 : 1 : 4 : 1	0.53
1 : 4 : 1 : 1	0.66
4 : 1 : 1 : 1	0.46
1 : 1 : 4 : 4	0.56
1 : 4 : 4 : 1	0.52
4 : 4 : 1 : 1	0.44
4 : 1 : 1 : 4	0.47
1 : 4 : 1 : 4	0.44
1 : 4 : 4 : 4	0.21
4 : 1 : 4 : 4	0.16
4 : 4 : 4 : 1	0.11
2 : 1 : 1 : 4	0.32
4 : 1 : 1 : 2	0.28
1 : 2 : 1 : 4	0.3
1 : 2 : 4 : 1	0.18

6 考察

集めたデータが自分のものだけだったため、自分のリズム感に問題があるのか、それとも比率が大きい(時間間隔が長い)ために起きた問題なのか判別できなかったため、 $2:1:1:2:4:2$ のリズムで研究室のメンバーに叩いてもらった。そのデータを集計した比率のヒストグラムの内の整数比が2のものを図3に、整数比が4のものを図4に示す。

図3は照合条件の範囲内に収まっているが、図4の整数比が4のものは図3に比べて比率の分布が広いのがわかる。よって時間間隔が長いと誤差の範囲が広がり、今の照合条件では整数比が1,2のものだけしか適用できないことが分かった。

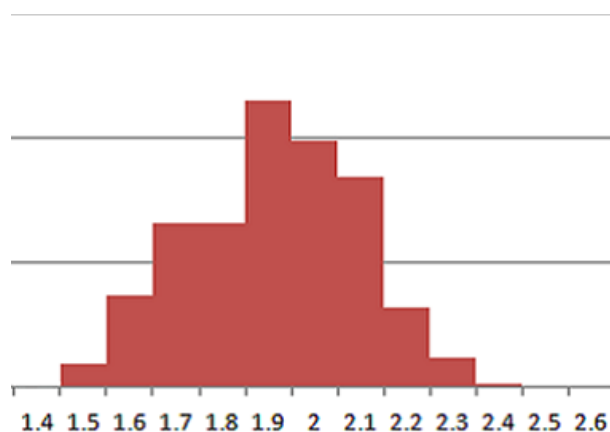


図 3: 整数比 2 の度数分布

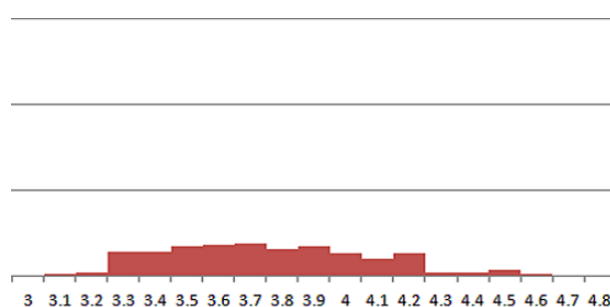


図 4: 整数比 4 の度数分布

7 今後の課題

まず, 人が叩くことで生じる誤差を整数比が大きい場合であっても, 許容する照合条件を考える事. 次に, 人がリズムを入力する際にリズムの始まりから終わりまでを同じテンポで叩けていないということも考慮して, 長いリズムを用意し, 人が一つのリズムを叩くうえで出る一つ一つの時間間隔のテンポの差を調べる事が挙げられる.

謝辞

本研究を進めるに当たり御指導いただいた下菌真一准教授に心から感謝致します。また、いろいろとお世話になった篠原・下菌研究室の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] mbed (handbook), <https://mbed.org/handbook/mbed-NXP-LPC1768>
- [2] 中島 祥好, リズム知覚の基礎としての時間知覚に関する精神物理学研究,
<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~ynhome/JPN/Auditory/Book/rhythm4.html>