

# 打撃音の時間差検知による打点位置の検出

大塚 めぐみ (指導教員: 粕川 正充)

## 1 はじめに

マウスやキーボード、タッチパネルなど様々な入力デバイスが存在する。中でもタッチパネルは出力デバイスであるモニタを入力デバイスとして使用している。これと同じく、普段は入力デバイスではないものも、入力デバイスとして利用できるようにできる可能性がある。そこで位置によって出力が変化する打点位置検出が有効ではないかと考えた。打点位置検出ならば操作は叩くだけなので、誰にでも簡単に扱えるうえに、机やドアを入力デバイスに出来るので、様々な場面に応用できる。本稿は打点位置検出を入力インタフェースとして用いる可能性の調査報告である。

### 1.1 打点位置検出とは

本研究における打点位置検出とは、机やドアなどを叩いたとき、その音を複数のマイクが検知する時間の差分を計算することにより、打点位置を検出するものである。

## 2 先行研究

この手法を用いた代表的研究として PingPongPlus [1] が挙げられる。これは卓球台の裏側に 8 個のマイクを装着して、ピンポン球が卓球台に当たるとその位置を検出し、ピンポン球が当たると、卓球台上部にあるプロジェクターから投射された映像が変化するものである。

また振動センサを壁に 3 つ取り付け弾丸が壁に当たる箇所を測定するモデルガンを使用したシューティングゲーム [2] が Make のプロジェクトで開発されている。さらに 2 つのマイクを用いて位置に応じた音階を出力する電子楽器インタフェースの研究 [3] が存在する。

## 3 実験

マイク 3 つを使用し、打撃音が距離によってどのように伝わるのかを測定するための実験を行った。

### 3.1 実験装置

以下に実験に用いた部品を挙げる。

- マイク

さまざまな種類のマイクがあるが高速に音を拾うには振動板が小さく軽い方がよいと考えて、サイズの小さなコンデンサマイク SP0103NC3-3 を使用した。ノイズを防止するため電池を電源とし、低雑音型オペアンプ LM358N を後段に置いて使用した。

- マイクロコントローラ

各マイクの値をサンプリングし、AD 変換を行うマイクロコントローラを用いた。木材における音速は [4] によると木の種類で変化し、概ね  $3,000\text{m/s}$  である。これより打点位置を  $10\text{mm}$  の差で検出するには  $3.3\mu\text{s}$  の間隔でサンプリングしなければならない。さらに 3 チャンネル以上の AD 変換することができるものが必要となる。以上の理由から、マイクロチップ・テクノロジー社の 16 ビットマイクロコントローラ PIC24F を選択した。このマイクロコントローラは CPU Clock が  $32\text{MHz}$ 、AD 変換速度が 100 万サンプリング/秒、最大 16 チャンネルで AD 変換が可能である。これより、PIC24F を搭載したマイクロテクニカの開発用統合評価ボード dsPICF-900 を使用した。

以上の部品を使用して図 1 のような装置を制作した。3 つのマイクを木製の机の角に取り付け、各々のマイクを PIC24F と接続する。PIC24F の AD コンバータで各々のマイクから

のアナログデータをデジタルに変換し、RS232C で、パソコンから各マイクの値を観測する。また各々のマイクは図 1 のように、a,b,c とする。

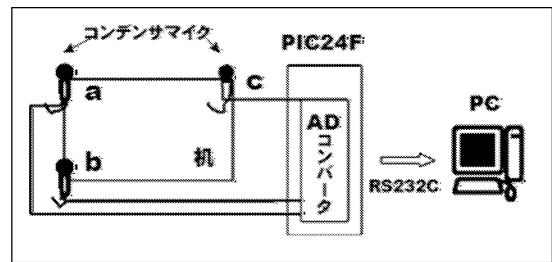


図 1: 実験装置

### 3.2 AD 変換とは

AD 変換とはアナログ信号をデジタル信号に変換することである。AD 変換を行う回路を AD コンバータという。AD コンバータはマイクからのアナログ信号を基準値と比べ、デジタル信号に変換する。例えば、PIC24F の AD コンバータは  $10\text{bit}$  で基準電圧が  $5\text{V}$  であるため、マイクの出力が  $5,000\text{mV}$  となれば、変換されたデジタル信号は、 $1,023(2^{10} - 1)$  を示し、 $2,500\text{mV}$  であれば 512 を示す。装置を使用する状況下で、マイクはどのような数値を示すのか測定したところ、ほぼ無音の状況では大体  $0\sim 9\text{mV}$  で、普通の話し声では  $1,000\sim 2,500\text{mV}$  程度、机を叩くなど大きな音が発生すると  $4,500\text{mV}$  以上を示した。

### 3.3 実験 1 サンプリング時間の測定

PIC24F が 3 つのマイクからのアナログ信号を AD コンバータでデジタル信号に 1 回変換するのにかかる時間、つまり 1 回のサンプリングに必要なとする時間を測定した。

**測定方法** サンプリングを一定数連続して繰り返し行い、その間の時間を計ることから、1 回のサンプリング時間を逆算して割り出すことにし、80 回のサンプリングを 500,000 回のループの中に入れ 40,000,000 回のサンプリングを行い、時間を測定した。

**結果** このループの実行に 153 秒掛かった。これより 1 回のサンプリングはおよそ  $3.82\mu\text{s}$  掛かる。これは今回使用する木製の机を媒質とする音速を  $3,000\text{m/s}$  だとすると、次のサンプリングまでに音は  $10\text{mm}$  だけ進むことになるので、充分各マイクの音の観測時間の差を検出できると考えられる。

### 3.4 実験 2 材質の違いによる測定

ユーザ側が何を使用して入力するかによって、測定される値に変化が出ることが予測される。そこで様々な材質 (表 1) を使用して机を叩き、測定することにした。

**測定方法** どの材質使用するときも、打点位置とマイクの距離は a:  $100\text{mm}$ , b:  $770\text{mm}$ , c:  $540\text{mm}$  とし、落とす高さも一定とした。これに加え、実際に打点位置検出を使用するにおいて有効な入力の手段になるだろう手によるノックでの測定も行った。マイクの出力が  $4,500\text{mV}$  を超えた瞬間が打撃音が発生したと考えて良いので、その瞬間から 512 回各マイクをサンプリングし、その値を観測する。1 回のサンプリングには  $3.82\mu\text{s}$  であるので、音の発生から  $1,956\mu\text{s}$  (約  $2\text{ms}$ ) 間の観測である。

表 1: 材質一覧

入力方法	質量 (g)	表面の材質
電池	25	金属
ピンポン球	3	プラスチック
テニスボール	56	起毛材
ボールマウス	100	ゴム

**結果** この結果をグラフにし、図 2 に示す。横軸は経過した時間を、縦軸はその時のマイクが示した数値を表す。

1 回のサンプリングに  $3.8\mu s$  かかることは分かっているの  
で、横軸が 1 増えると時間が  $3.8\mu s$  進むことになる。

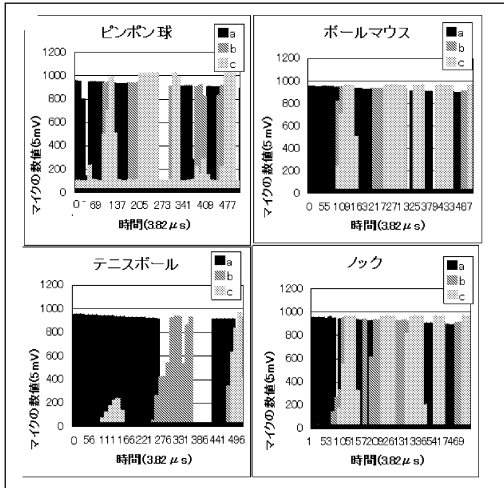


図 2: サンプリング例

全ての材質において、打点位置から一番近い a が一番先に音を拾い、その後 b, c と続けて大きな音を拾っているのが分かる。

テニスボールは c の音の立ち上がりが他の材質に比べて遅い。

ピンポン球は、音の立ち上がり立ち下がりが激しく、どの音が遅れているのかが分かりにくい。

ボールマウスに内蔵されているボール、ノックは比較的似たような時間差で各マイクに音が伝わっている。

また同じ材質による測定を複数回行うと、テニスボール、ピンポン球はその回数ごとに、各マイクの音の立ち上がり時間が違っているのに対して、ノック、ボールマウスはどの測定に関しても比較的同じ時間差で音が立ち上がることが分かった。

ノックは叩く時の強さが一定にならないにも関わらずそのような結果が現れたため、打点位置検出の実用化に使用できる入力的手段であると判断した。

### 3.5 実験 3 打点位置による差

ノックが有力な入力手段であるため、ノックにより打点位置を変えて測定した。

**測定方法** 数値の観測方法は実験 3 と同様である。単音は図 3 のように正弦波として緩やかに立ち上がって下がっていく。通常の音は単音の重ね合わせと考えられる。しかし、打撃音など大きな音は図 4 のようにいきなり立ち上がってすぐに消えていく。実験 2 により打撃音の場合はマイクの出力が  $4,500mV$  となることが分かっているの  
で、急激に  $4,500mV$  になれば、それは打撃音を拾っていると考えて良い。

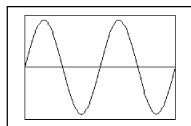


図 3: 正弦波

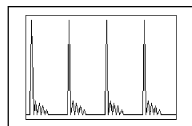


図 4: 衝撃波

(参考文献 [5] より)

各マイクと音源の距離は表 2 のように設定し、各地点で試行を 10 回ずつ行い測定した。

**結果** 512 回のサンプリングのうち、最初の音の立ち上がり  
と立ち下がりの中をピークと見なした。各マイクが記

a	780	960	100
b	100	550	780
c	450	130	900

(単位:mm)

	a-b 間	a-c 間	b-c 間
地点 1	2.30	7.16	4.88
地点 2	6.67	7.32	9.87
地点 3	7.36	4.26	5.16

(単位:mm/サンプリング)

地点 1	a - b 間	a - c 間	b - c 間
距離 (mm)	180	680	860
時差	78.2[73,84]	95[76,110]	173.2[154,183]
地点 2	a - b 間	a - c 間	b - c 間
距離 (mm)	450	680	230
時差	67.5[55,77]	92.8[87,99]	25.3[15,39]
地点 3	a - b 間	a - c 間	b - c 間
距離 (mm)	320	450	770
時差	43.5[35,48]	105.6[88,116]	149.1[123,157]

(10 試行における平均時差 [最小値, 最大値])

録した打撃音のピークの時差 (サンプリング回数) を表 4 に示す。なお表の値は 10 回のサンプリングを平均したものである。

この結果から 1 回のサンプリング中に進む音の距離を割り出し、表 3 に示す。

## 4 考察と今後の課題

以上の結果から、1 回のサンプリングで音は 2~ 9mm 進むことが分かった。これを用いると 100mm の差を認識することが出来る。しかしこれは絶対的な打点位置検出としては満足いく結果にはならなかった。今回実験に使用した机が、端のほうに厚みがあることや、木目の密度の差が影響しているのではないと思われる。より正確に位置を検出するには、より多くのサンプリングを平均化することで誤差の調整をするか、マイクを増やすことにより誤差を小さくするべきだと考える。場所による密度の差が無い金属のような物質なら安定した測定が可能かもしれないので、スチールの机やドアなどでも調査する必要がある。また、ノイズを拾わないデジタルマイクや高周波をよく検知する超音波マイクを用いた位置検出も行ってみたい。

## 参考文献

- [1] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Julian Orbanes, Ben Chun, and Joe Paradiso. Pingpongplus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play. In CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 394. 401, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [2] Make, LabVIEW を使ってモデルガンで FPS を楽しむ, [http://jp.makezine.com/blog/2009/11/mj-special\\_02.html](http://jp.makezine.com/blog/2009/11/mj-special_02.html)
- [3] 馬場哲晃, コンデンサマイクによる音源位置検出を利用した電子楽器インタフェース, インタラクシオン 2009 論文集, 情報処理学会, pp49-50
- [4] 理科年表, [http://www.rikanenpyo.jp/towa/mokuji\\_buka.html](http://www.rikanenpyo.jp/towa/mokuji_buka.html)
- [5] モトロニクス, 波形, <http://www5d.biglobe.ne.jp/~motoro/whatishakei.html>