

直感的なテンポ調整操作を実現する高アクセシビリティなメトロノームの開発

Development of High Accessibility Metronome with Intuitive Tempo Adjustment Function

○ 本吉達郎^{*1} 川崎友希恵^{*1} 小柳健一^{*1} 大島徹^{*1} 川上浩司^{*2}

*1 富山県立大学工学部知能デザイン工学科 *2 京都大学大学院情報学研究科

Tatsuo MOTOYOSHI^{*1}, Yukie KAWASAKI^{*1}, Ken'ichi KOYANAGI^{*1}, Toru OSHIMA^{*1}, Hiroshi KAWAKAMI^{*2},
*1 Toyama Prefectural University *2 Kyoto University

Abstract: We propose new Tempo Adjustment Device for metronome use. At first, we analyzed metronome operation. Based on analysis, we proposed the tempo adjusting device with getting the tempo from arm swing pitch. An acceleration sensor is set in end of a rod, and user holds the rod and swings arm. Tempo value is picked up by acceleration data getting from the acceleration sensor. Finally, we evaluated the performance of the device in the verification test.

Key Words: Metronome, High Accessibility, Intuitive Operation

1. はじめに

メトロノームは、音楽における演奏テンポの基準を提示する補助具として、幅広く使われている器具である⁽¹⁾。また、リハビリなどの身体運動のリズム基準として用いられることも知られている⁽²⁾。このように、幅広く普及しているメトロノームのタイプとして、機械式メトロノームや電子式メトロノームがあげられる。これらのメトロノームのインタフェースは主に、ユーザの望みのテンポにメトロノームの動作を合わせるための「テンポ調整インタフェース」、およびメトロノームの動作するテンポをユーザに伝える「テンポ提示インタフェース」の2つに分類される。

一般的にユーザが、機械式メトロノームを望みのテンポに合わせるには、振り子に取り付けられたおもりを適切なテンポ値の位置までスライドさせなければならない。このようなインタフェースは、開発以来ほとんど変化していないため、ユーザは必ずしも直感的ではないテンポ調整操作に慣れてしまっており、その潜在的な使いにくさに気づいていない可能性がある⁽¹⁾。メトロノームのテンポ調整操作は主に、メトロノームの動作を楽譜などに記載された所定のテンポ値に合わせる「指定テンポ調整操作」、および耳で聴いた曲のテンポに合わせる「演奏テンポ同期操作」に分けられる。しかし、アンケート調査から、「指定テンポ調整操作」に比べて「演奏テンポ同期操作」を行うユーザは少ないことが判明している。これは、既存のメトロノームに「演奏テンポ同期操作」をアフォード⁽³⁾するようなインタフェースが採用されていない可能性を示している。また、視覚障害をもつユーザにとって、振り子のおもりの位置調整に頼るテンポ調整操作は、テンポ調整部を「探す」動作が必要となり、改善の必要があると考えられる。これは、機械式メトロノームに限らず、電子式メトロノームにおいても共通の問題を持つ。これらのことから、既存のメトロノームは、アクセシビリティが十分に高いとはいえない。そこで、本研究では、よりアクセシビリティの高いメトロノームのインタフェースを実現するため、より直感的なテンポ調整操作が可能なテンポ調整デバイスを提案する。

これまでのメトロノームの操作解析から、「指定テンポ調整操作」は、既存のメトロノームを用いてある程度効率的な操作が可能なものの、「演奏テンポ同期操作」は「指定テンポ調整操作」に比べて多くの手間を要することがわかっている⁽¹⁾。

そこで、より効率的、かつ直感的な演奏テンポ同期操作を実現するために、演奏曲のテンポに同期して振られたデバイスの周期からテンポ値を計測する方式を考案する。振りの周期の検出には加速度センサを用いる。視覚障害者に対する指揮者のテンポ伝達手法として、加速度センサを用いた電子指揮棒も提案されている^{(4), (5)}。

今回は、アクリルパイプを用いて加速度センサを設置し、マイコン部とあわせてデバイスを作製する。作製したデバイスを電子式メトロノームの提示するテンポにあわせて振ってもらい、デバイスが電子式メトロノームの提示するテンポ値を計測できるかを実験により検証する。

2. 腕ふり運動を利用したテンポ調整デバイス

本研究で開発するデバイスは、図1に示すように、振り子による力の変化を検出する加速度センサ部、および加速度センサによる検出値をもとにテンポ値を計測するマイコン部からなる。ユーザは、楽曲のテンポにあわせて加速度センサ部をふることで、楽曲のテンポを調べることが可能となる。

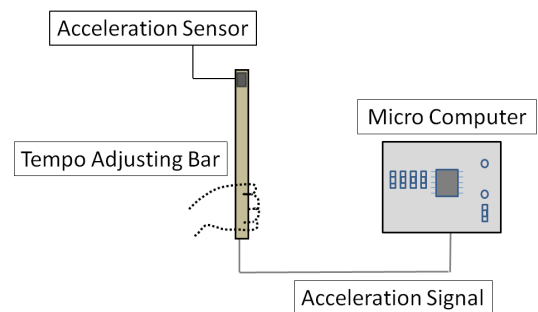


Fig.1 System configuration of the proposed device

2-1 テンポ調整デバイスの構造

図2に示すように、デバイスの加速度センサ部には、全長 300 mm、直径 32 mm のアクリルパイプを用い、先端に加速度センサを設置した。質量は 95 g であった。

加速度はユーザに対して上下方向となる x 軸の値のみを利用した。また、加速度センサ値から周期、およびテンポ値を求めるためのマイコン部には、SH7144 マイコン

コンピュータを使用した。加速度のサンプリング周期は 10 msec である。

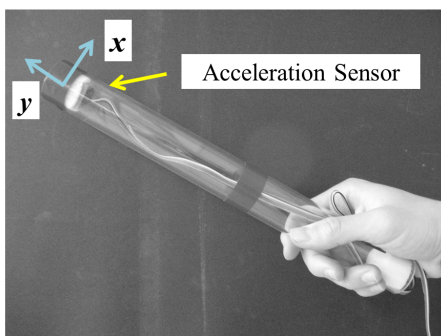


Fig.1 Tempo adjustment rod usage

2-2 テンポ値の計測手法

ユーザが楽曲のテンポにあわせてデバイス（加速度センサ部）を振った際のテンポ値を計測するために、検出された加速度センサ値にしきい値を設け、計測値がしきい値を超えた際にデバイスの振動周期を検出する手法を採用した。今回は、メトロノームに使用される範囲である、テンポ値 40BPM から 240BPM の周期を幅広く検出するため、事前に調整を行い、しきい値を 16.7m/s^2 と設定した。また、ユーザの腕振りとは関係ない高周波の振動成分を除去するために、移動平均処理を行っている。

この手法によって検出された 4 周期分に要した時間からテンポ値を求める。図 2 にテンポ値 60BPM の際の加速度センサ計測値、およびしきい値を示す。

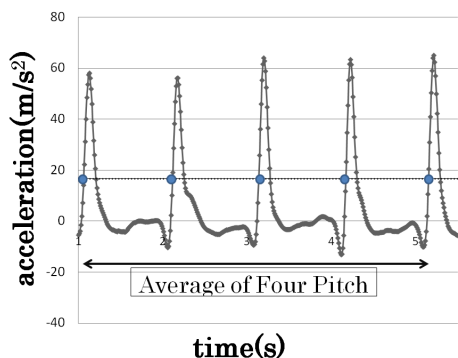


Fig.2 Moving average deviations of the acceleration data at a tempo of 60 BPM

3. テンポ調整デバイスの検証実験

テンポ調整デバイスに対して、検証実験を行った。

3-1 実験方法

被験者に、基準テンポを示す電子メトロノームのビート音にあわせてテンポ調整デバイスを振ってもらい、計測されたテンポ値と電子メトロノームのテンポ値とを比較した。なお、実験に用いた電子メトロノームのテンポ値の誤差は +0.42%以内であった。被験者は 21 歳から 36 歳までの男性 8 人、女性 4 人の合計 12 名である。なお、今回の実験では被験者の音楽経験は問わなかった。

被験者には、机上に提示されたライン上でデバイスを振るようあらかじめ指示し、また、データ取得前には基準テンポに合わせてデバイスを振ることができるように練習

を行った。基準テンポは、メトロノームに使用されるテンポ範囲をカバーするため、40, 60, 90, 120, 180, および 240 BPM の各テンポ値とした。実験の概要を図 3 に示す。

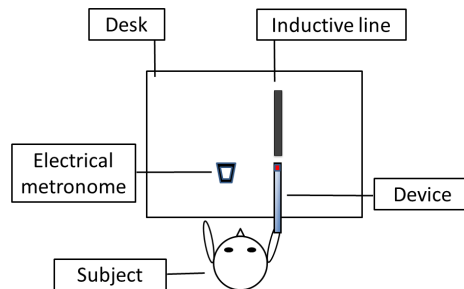


Fig.3 Diagram of the verification test layout

3-2 実験結果

各被験者のテンポ調整デバイスから得られたテンポ値と基準テンポ値の対応を表 1 に示す。被験者が基準テンポに確実に合わせられないことも考慮し、計測誤差の範囲を 7% と設定した。表中、グレーに塗りつぶされた部分は、この誤差の範囲を超えて計測された部分を示す。また、アスタリスク "*" で示された部分は、デバイスによる計測が行われなかった部分を示している。基準テンポ値が 120BPM の場合には、計測誤差範囲内に収まる確率が 89% であるのに対して、90BPM 以下では 44% であった。

Table 1 Measured tempo in verification test

Subjects	Criterion Tempo Values					
	40 bpm	60 bpm	90 bpm	120 bpm	180 bpm	240 bpm
A	80	122	119	118	179	233
B	54	118	88	119	178	240
C	39	75	84	116	177	240
D	*	*	78	97	138	166
E	39	59	85	118	175	231
F	78	116	171	117	175	238
G	75	120	88	117	173	235
H	39	59	87	112	175	229
I	39	102	155	119	177	233
J	113	159	89	117	175	233
K	*	77	87	119	181	214
L	39	59	88	116	179	240

■ : 基準テンポと一致せず * : 計測不可

3-3 考察

表 1 に示すとおり、被験者 E, H, および L は、すべてのテンポ値でデバイスによる計測テンポ値が誤差範囲内に入っており、デバイスを振るテンポがすべて計測されたことを示している。図 4 に被験者 L が 60BPM のテンポに合わせてデバイスを振った際の加速度センサ値を示す。これに対して、他の被験者は、デバイスによる計測値と基準テンポ値が一致しない部分が見受けられた。これらの原因についてまとめると以下ようになる。

(a) 腕振り周期検出回数の誤り

たとえば、被験者 A が 60BPM のテンポに合わせてデバイスを振った際に計測されたテンポ値は、基準テンポのおよそ 2 倍の値となっている。このときのデバイス

による加速度の計測値を図 5 に示す。このように、加速度センサの計測値が 1 周期に 2 回以上しきい値を超えることにより、基準テンポ値より大きな値が計測された。

(b) 被験者によるデバイスの振りの弱さ

被験者 D は基準テンポ値が 60BPM 以下の場合、デバイスによってテンポ値を計測することができなかった。このときのデバイスから計測された加速度は図 6 に示すとおりである。被験者の振りが弱く、加速度がしきい値を超えなかったため、腕振りの周期を検出できなかったことがわかった。

(c) 被験者のテンポ同期能力の不足

被験者 D はすべてのテンポ値において、デバイスの計測値が一致しないか、計測不可能な状態であった。このうち、計測値が一致していない 90BPM 以上に着目し、実験の様子を記録した映像を検証すると、被験者 D が基準テンポに同期させてデバイスを振ることができていなかったことが判明した。

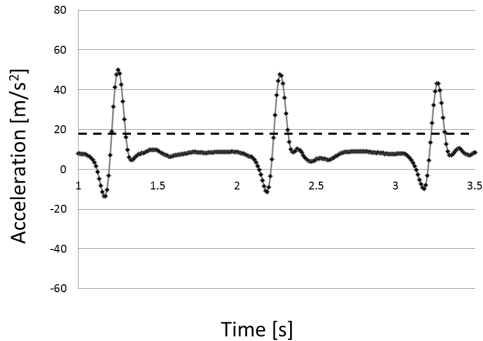


Fig. 4 Acceleration data - Subject L, 60 BPM

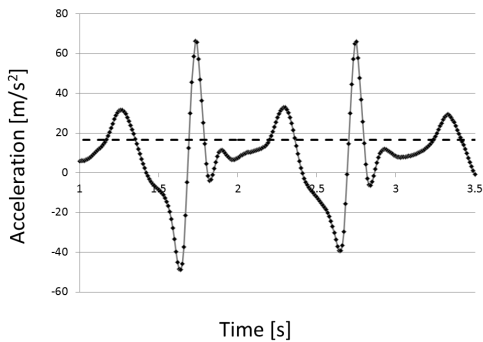


Fig. 5 Acceleration data - Subject F, 60 BPM

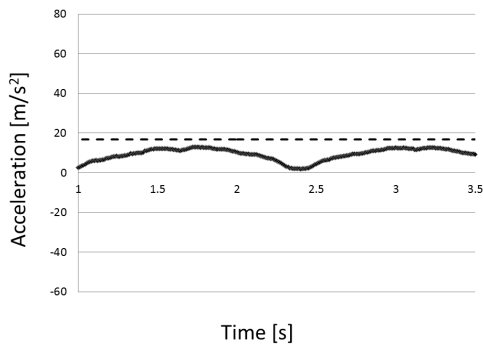


Fig. 6 Acceleration data - Subject D, 40BPM

4. まとめ

本研究では、メトロノームのより直感的なテンポ調整操作を実現するために、加速度センサを用いて腕振りのテンポを計測するテンポ調整デバイスを作製した。作製したデバイスを用いて検証実験を行った結果、120BPM 以上のテンポ値の検出率は 89%である一方、90BPM 以下では 44%であった。

デバイスによる計測テンポ値と基準テンポ値が一致しなかった原因は、加速度センサの計測値、および実験の様子を記録した映像から判断すると以下のとおりであった。

- (1) デバイスの振りが弱く、加速度がしきい値を下回った。
- (2) 加速度がしきい値を腕振りの 1 周期に複数回超えた。
- (3) デバイスを基準テンポに同期させて振ることができなかった。

まず、原因(1)を解消するには、被験者に対する振り方の教示、デバイスの形状変更などによって計測される加速度を大きくすることが考えられる。また、原因(2)に対しては、加加速度を用いたテンポ値検出アルゴリズムの作成にとりかかる予定である。原因(3)に対しては、ユーザ側の能力によるところもあり、現段階でとくに対策を予定していない。さらに、これまではテンポ調整インタフェース部のデザインのみに取り組んできたが、計測したテンポを提示するテンポ提示インタフェースを考案する必要もある。

これらを実現することで、より直感的かつ効率的な演奏テンポ同期操作が可能となるほか、テンポ調整操作において、メトロノームのテンポ調整部を「探す」動作を減らすことができるため、視覚障害者に対する使いやすさが向上すると考えている。また、指定テンポ調整操作に提案デバイスのテンポ調整方式を用いることは、あえて絶対的な指標であるテンポ値を隠し、自身のテンポ感をもとにメトロノームの動作テンポを設定しなければならないインタフェースとなる。これは、一見不便だが、初心者のみならず経験者が使いたくするような機能と解釈することもでき、より幅広いユーザに使い続けてもらえる可能性がある。このように、潜在的な使いにくさを解消しユーザ層を広げること、また視覚障害者のユーザも取り込むことは、これまでに注目されてこなかったメトロノームのアクセシビリティ向上につながると考えている。

参考文献

- (1) 川崎 友希恵, 本吉 達郎, 大島 徹, 川上 浩司, 塩瀬 隆之, メトロノームのアクセシビリティ改善に向けたテンポ調整の動作分析, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 論文集, pp. 539-544, 2010
- (2) Melinda L. Bartscherer, PT, MS and Robin L. Dole, PT, EdD, PCS, Interactive Metronome training for a 9-year-old boy with attention and motor coordination difficulties, Physiotherapy, Theory and Practice, vol. 21, no. 4, pp. 257-269, 2005
- (3) D. A. Norman, 野島 久雄 [訳], 誰のためのデザイン? 認知心理学者のデザイン原論, 新曜社, 1990
- (4) 浅川 貴史, 河原崎 徳之, 西原 主計, 斉藤 信之, 触覚インタフェースによる反応速度の向上に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011論文集, 2P1-D09, 2011
- (5) 浅川 貴史, 斉藤 信之, 河原崎 徳之, 吉留 忠史, 西原 主計, 視覚障害者の音楽学習支援のための電子指揮棒の開発, 日本機械学会福祉工学シンポジウム講演論文集 2009, pp. 112-113, 2009