

足音から歩行をデザインする靴の提案

齋藤星輝^{†1} 塚田浩二^{†1}

概要：私たちは、音の変化によって自分の行動に影響されることがある。また、逆に自分の行動の変化によって音を操ることもある。例えば、ゲーム内のBGMのテンポが早くなれば、視覚情報がなくとも「急がなければ」と行動し、講義中に退出するときは、普段よりゆっくり行動し音を鳴らさないようにする。このように、音と行動は相互に影響されている。本研究では、歩行動作に合わせて足音を動的に生成する靴型デバイスを提案する。足音から歩行動作を誘導することと、歩行感覚を足音によって強めることの両面性を持ったシステムの開発を行う。

1. 背景

私たちは、音の変化によって自分の行動に影響されることがある。逆に自分の行動の変化によって音を操ることもある。例えば、ゲーム内のBGMのテンポが早くなれば、視覚情報がなくとも「急がなければ」と行動し、講義中に退出するときは、普段よりゆっくり行動し音を鳴らさないようにする。このように、音と行動は相互に影響されている。

また近年、ウォーキングやランニングは生活習慣病の予防・対策として注目されており、センサやコンピュータを用いてこうした活動を支援する研究が成されている[1][2][3]。しかし、歩行音に着目して、歩行体験を拡張するような研究は少ない。

そこで本研究では、図1のような、歩行時に足音を動的に生成することで、歩行動作を変容させたり、歩行感覚を増強することのできる靴型システムを提案する。



図1 動作イメージ。(上: 遅歩き, 下: 早歩き)

2. 関連研究

歩行に合わせてフィードバックを返すことで、意識や行動に変化を与える研究は多くなされている。

大坪らの研究では、ウォーキング時のペース配分支援として、音楽の周期的なビートからリズムの合わせやすさを指標化するスマートフォンのアプリケーションを提案している[1]。これは、音楽のリズムに人が無意識に合わせてしまう引き込みと呼ばれる効果を用いて、自然かつ正確に歩行ペースを誘導することを目指している。一方、このシステムでは、歩行ペースの誘導には個人差が大きかったり、信号などによる停止や階段や坂による歩行ペースの変動は考慮されていないなどの制約も報告されている。

Galloらはヘッドバンド型装置を用いたナビゲーションシステム「RunAhead」を提案し、屋外実験でランナーへの有効性を検証した[2]。RunAheadは、ランナーが見ている道について、触覚、音楽、音声の3つの異なるフィードバックを通じたナビゲーションを提供する。触覚と音楽のフィードバックは従来の音声ナビゲーションよりも好まれたことが報告されている。

松尾らの研究では、歩行者に対し遅延した自身の足音を提示し、歩行動作に生じる影響を検証した[3]。歩行周期や足底の接地時間への影響も検証した。結果、歩行時の足音の発生タイミングを操作する事で、歩行周期に影響が生じることが確認された。

また、センサを用いた歩行検出手法の研究も多くなされている。岩本らの研究では、推定可能範囲が広い点とユーザの負担が小さい点を重視して、携帯電話に内蔵される3軸加速度センサを用いた歩行者推定手法を提案した[4]。歩行/走行などの動作、ユーザの携帯電話の所持位置、歩行者の個人識別を3軸加速度センサによって正しく分類することができた。

深堀らの研究では、靴下型の圧力センサを用いた微小な足裏ジェスチャを提案している[5]。ユーザはつま先で地面

^{†1} 公立はこだて未来大学

*1 <https://m5stack.com>

をぐっと押すなどといった足裏の圧力分布を変える動作など6カテゴリ29個の足裏ジェスチャでコンピュータを操作できる。動きは非常に小さいため、ユーザは例えば電車の中といった公共の場でも周囲に迷惑をかけず実行できるという利点がある。

こうした先行研究に対して本研究では、様々な種類の足音を歩行動作に合わせて提示することで、歩行誘導に加えて歩行感覚の増強の両面性を持つシステムを提案する。

3. 提案

3.1 目的

本研究では、音と行動が相互に影響しあっている点に着目した。そこで、足音をデザインすることで歩行に変化を与えたり、歩行感覚を増強できる靴型デバイスの開発を目的とする。

図2に示すように、本システムでは歩行誘導と歩行感覚増強の2つの機能を備え、相互に切り替え可能とする。

歩行誘導モードでは、ユーザの現在の歩行状態（早い／遅い等）を認識し、歩行中の足の接地動作に合わせて、足音フィードバックを切り替えて提示することで、歩行速度等に変化を与えることを目指す。

歩行感覚増強モードは、歩行中の足の接地動作に合わせて、任意に設定した足音フィードバックを提示することで、歩行感覚を増強／多様化させ、エンターテインメント性の向上を図る。例えば、大きな振動音を提示して巨人のような感覚でのしと歩行したり、雪の潰れるような音を提示して雪道を歩くような感覚を提示することを目指す。



図2 本研究の概要

3.2 研究手法

歩行をセンシングするための靴とそれと連動して足音をデザインしてフィードバックするアプリケーションを開発する。本システムのシステムフローを図3に示す。両足の靴の紐に小型マイコン (M5StickC) を取り付け、M5StickC に内蔵された慣性センサで歩行をセンシングする。M5StickC と Bluetooth で接続されたスマートフォン内のアプリケーションで足音フィードバックを再生する。また、アプリケーションで歩行誘導と歩行感覚増強のモード切り替えを行う。



図3 システムフロー

4. 実装

4.1 慣性センサを用いた歩行センシング

まず、M5StickC に内蔵された6軸慣性センサで歩行のセンシングを行うために、歩行時のセンサ値の変動を記録し、センシングの仕方を検討する。

図4のように靴紐部分にM5StickCを取り付ける。検証環境を統一するため、M5StickCの画面側を上にし、USB端子が足首に向くように取り付けた。通常歩き、速歩き、遅歩きの3つの歩き方でセンサ値を記録しグラフ化した。



図4 M5StickCを取り付けた靴

図5~7は、通常歩き、速歩き、遅歩きの加速度、角速度の推移を記す。なお、加速度より角速度の変異の方が分かりやすかったため、今回は角速度の推移のみを紹介する。

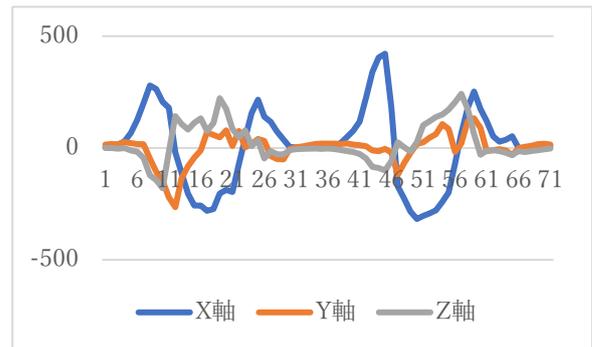


図5 通常歩きの角速度 (縦: deg./s, 横: サンプル数)

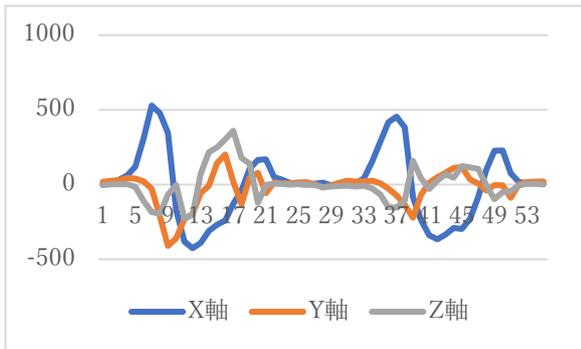


図 6 速歩きの角速度 (縦: deg/s, 横: サンプル数)

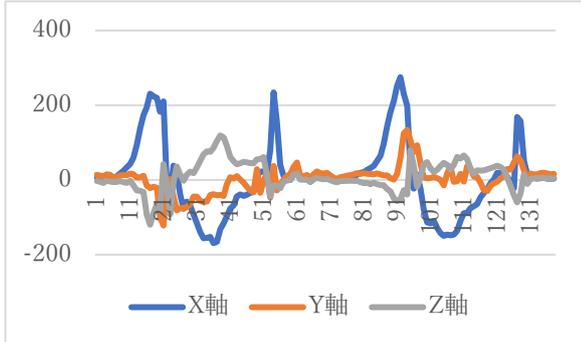


図 7 遅歩きの角速度 (縦: deg/s, 横: サンプル数)

加速度を含む 6 軸のうち、角速度の X 軸方向が最も歩行時の変動として安定していたため、リアルタイム性を重視した簡易的なセンシングとして、この軸に着目した。図 8 のように、足を上げる、下げる、接地の 3 つの閾値を認識し、歩行のセンシングを行った。また、図 9 のような脚を上げてから接地までの時間の違いを、歩き方 (通常歩き、速歩き、遅歩き等) の認識として用いた。

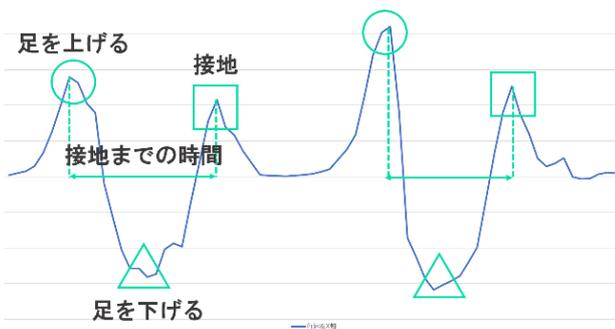


図 8 歩行センシングの閾値 (X 軸の角速度)

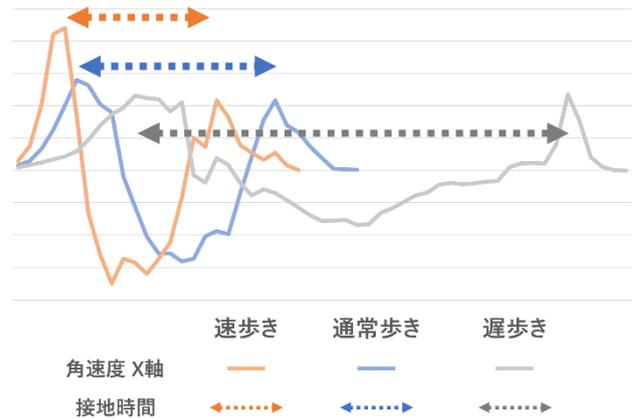


図 9 接地までの時間の比較 (X 軸の角速度)

4.1.1 バッテリー持ちの改善

M5StickC では、バッテリー容量が少なく、本システムの稼働は 5 分程度に限られてしまう。そのため、M5StickC と比べバッテリー容量の多い M5Stack Gray を使用したモデルを実装している (図 10)。一方、筐体が大きく歩行動作に悪影響が出る懸念があるため、効果的な靴への取り付け方法を検討する必要がある。



図 10 M5Stack Gray を取り付けした靴

4.2 足音フィードバックのアプリ

センサ値によって、足音フィードバックを返すスマートフォンアプリケーションを開発した。Android のアプリを制作し、開発環境は AndroidStudio、言語は Kotlin を使用した。M5StickC と Bluetooth を使用し通信している。M5StickC からは、図 8 における「足を上げた時の最大値」、「足を下げた時の最小値」、および「設置までの時間」を送信している。アプリケーションでは、これらの情報とアプリケーションの設定 (歩行誘導/感覚増強) から、最適な足音フィードバックを再生する。

4.3 足音フィードバック例

ここでは、歩行誘導/感覚増強のそれぞれのモードにおける、足音フィードバックの例を紹介する。

歩行誘導で提示する足音フィードバックは、革靴で歩い

ているような足音(通常音)とその音のピッチを上げた音(ハイピッチ音),下げた音(ローピッチ音)の3種類を使用する. 誘導を行わない場合は通常音を, ペースを上げたい場合は早歩きをイメージしたハイピッチ音を, ペースを落とした場合はローピッチ音を提示する.

歩行感覚の増強では, 巨人が歩くような音(巨人音), 雪の上を歩くような音(雪上音), ゲームの効果音のような音(ゲーム音)といったより多様な音を用意して, 任意に切り替えられる設定とした.

5. 議論

本システムを利用した予備的な検証として, 大学生3人に使用してもらい, 音提示やデバイスに対する簡単なフィードバックを得た. 歩行感覚増強のモードを使用し, 巨人音, 雪上音, ゲーム音の3種類の音を提示した. 歩行者が音を切り替えながら, それぞれ20m(25歩程度)歩いた. なお, 歩き方については特に支持を出さず, 通常通りに歩行してもらった.

図11に使用時の様子を示す. 全ての利用者は, システムを利用することで, 楽しく歩行ができるという印象を持っていた. ある利用者は, 雪上音は雪の上を歩いているような感覚を持つことができ, 最も歩行感覚に変化があったと述べていた. 具体的には, 図12のように, 通常より足を高くあげたり, 脚の接地時間が長くなり, 雪の上を歩いているような歩行動作が観察された.

今後行う実験では, 靴に取り付けたM5Stack上でも詳細なセンサデータを記録することで, 足の上げ方や設置時間の変化等をより細かく分析していく.

一方, デバイスの使い勝手については, ややM5Stackのサイズが大きいため, 長時間利用した際に, 煩わしさを感じる可能性があるという意見もあった. 更に, 足の接地から足音フィードバックの再生までに少しの遅延があることに違和感があるという意見もあった.

今後は, こうしたデバイスの固定方法や歩行センシングのリアルタイム性を向上させつつ, 本格的な評価実験を進めていく.



図 11 利用時の様子



図 12 雪上音による歩き方の変化

6. 今後の展望とまとめ

本研究では, 歩行動作に合わせて足音を動的に生成する靴型デバイスを提案/試作した. 足音から歩行動作を誘導することと, 歩行感覚を足音によって強めることの両面性を持つことが特徴である.

足音フィードバックの提示の有無によって歩行動作, 歩行感覚に影響を与えるかを, 靴に取り付けたセンサや使用時の様子, アンケートを通して検証する.

参考文献

- [1] 大坪 敦, 諏訪 博彦, 荒川 豊, 安本 慶一, BeatSync: Rhythm Value に基づく歩行ペース誘導アプリケーションの開発と評価, 情報処理学会 第27回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 2019, pp 149-155
- [2] Danilo Gallo, Shreepriya Shreepriya, Jutta K Willamowski, RunAhead: Exploring Head Scanning based Navigation for Runners, CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, April 2020, pp 1 - 13
- [3] 松尾 良馬, 宮下 芳明, 足音遅延フィードバックを用いた歩行周期への介入, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, 2017-HCI-172(6), pp 1-7, 2017-02
- [4] 岩本 健嗣, 杉森 大輔, 松本 三千人, 3軸加速度センサを用いた歩行者推定手法, 情報処理学会論文誌, 55(2), pp 739 - 749, 2014-02
- [5] 深堀 孔明, 坂本 大介, 五十嵐 健夫, 靴下型圧力センサを用いた足裏ジェスチャの設計と実装.

