

運動学習支援を目的とした多変数マッピングを用いた動作情報の可聴化手法

高野 衛¹ 安藤 大地¹ 串山 久美子¹

概要：人間は環境からのフィードバックによって身体状態を認識している。拡張現実の分野ではこの認知特性を活かし、デジタル技術による擬似的な五感情報の提示によって身体保持感の変化を誘発させる研究が行われている。本研究はソニフィケーションという音響情報による知覚化手法を用いて身体認知の拡張を目指している。本稿では単音が持つ複数の音響情報を用いる多変数マッピング手法についての考察と、動作情報に対して用いる際に有効と思われる手法と可聴化システムの提案を行う。

Parameter Mapping of Sonification Method for Movement Information

MAMORU TAKANO¹ DAICHI ANDO¹ KUMIKO KUSHIYAMA¹

Abstract: In the field of perceptual research of various information, there is a technique called Sonification that present information as sound. Above all, Sonification for human motion information is effective because it is possible to analyze and correlate its own motion and sound in real time without limiting the field of view during operation. We propose a Sonification method of presenting multiple motion information using multiple sound parameters of one sound source. In this paper, we focused on the stroke motion of one hand and mapped several operating characteristics of the hand to several acoustic parameters and feedback. We describe the consideration obtained when demonstration using this system.

1. 背景

人間は、通常の動作において内部感覚とともに動作に伴う環境からのフィードバックによって身体イメージや動作イメージを作り上げている。拡張現実（Augmented Reality）の分野において、情報の知覚化を応用し、デジタル技術によって生成した視覚情報や触覚情報によるフィードバック情報を実空間に重ねることによる身体感覚の拡張を体感する手法が用いられている。身体感覚の拡張を誘発する体験型インスタレーションでは、一般的には触覚情報と視覚情報を用いた研究や制作が行われている。一方で、聴覚情報を用いたフィードバックによる身体感覚の拡張に関する事例が近年報告されており、音を用いたフィードバックによる拡張手法の可能性も考察される。

動作情報における可聴化はスポーツ動作やリハビリテー

ションにおける動作支援への応用を目指した研究が行われている。著者らはその聴覚を用いた知覚化手法の可聴化による動作情報の提示手法の提案を行ってきた [1]。本稿では多変数の効率よいマッピングを用いることで複数の動作情報を音響特性の変位として認知が可能な可聴化手法の考察と、その応用として動作情報を用いた多変数マッピング手法を用いた可聴化システムの提案を行う。

2. 関連研究

本節では関連する先行研究や実装例を提示し、本論文のシステム設計に至る背景を説明する。

拡張現実の分野では何らかの変化を伴う物体によって自身の身体イメージや認知に影響を与える体験型のコンテンツが制作されている。デジタル技術を用いた外部からの情報提示を加えることで、人間の認識において身体イメージはあらゆる側面に変容してしまう。体性感覚から作り上げたイメージに対して他の知覚情報を加えることで、新たな

¹ 首都大学東京大学院システムデザイン研究科
Tokyo Metropolitan University Faculty of System Design

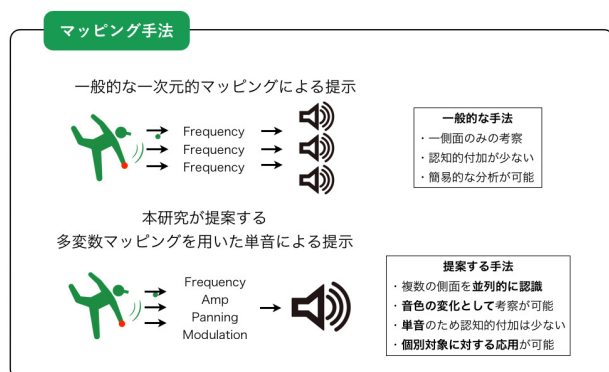


図 1 本研究が提案する多変数マッピングによる可聴化手法

Fig. 1 Proposed Method of Parameter Mapping Sonification

側面での身体イメージの構築が行われ認識に拡張性をもたらすことが可能になる。このような身体感覚の拡張に関するコンテンツには視覚情報を用いた作品が多い。一方で、工学や科学などの研究やメディア・アートなどの分野への音響情報を用いた知覚化の応用が行われている。丸井が行った可聴化の分類 [2] や Thomas らの調査 [3] において、可聴化が多く分野に応用されていることが考察されている。本稿では非言語音を用いる音響パラメータへのマッピングを行う可聴化手法であるソニフィケーション [3] [4] に焦点を当て、関連研究の知見を元に動作情報の知覚化手法を考察する。

可聴化で注目すべきは、他の感覚より優位な聴覚の知覚特性である。人間の聴覚は時間分解能が視覚より高いため、情報の時間的な変化を認識しやすい。また、聴覚は音源分離と呼ばれる機能により複数の音を分割して聞き分けることが可能であり、複数の情報の変化を音の変化として同時並列的に提示する際にも有効である。この特性を考えると、可聴化は時系列特性をもった情報を扱う分野に有効に用いることが可能と推測できる。

2.1 多変数マッピングを用いた単音による可聴化

複数の音響パラメータによる情報の可聴化手法はパラメータ・マッピング・ソニフィケーションと呼ばれている。前述のように音響情報はコントロールが可能なパラメータが多く存在するため、情報の持つ変数と音響パラメータへのマッピングのパターンは数えきれないほど考えられる。Degara らは音響情報による提示 [5] は自由度が高く利便性があり豊かな表現が可能であると同時に、組み合わせが膨大なためそれぞれのマッピング手法の有効性を研究することは難しい課題であるため、あまり実践的な研究がなされていない。

Dubus らは複数の音響パラメータへのマッピングのパターンの事例はあまり存在しないとしており、識別が可能な音響情報の変化量の数には限界があるという理由が挙げ

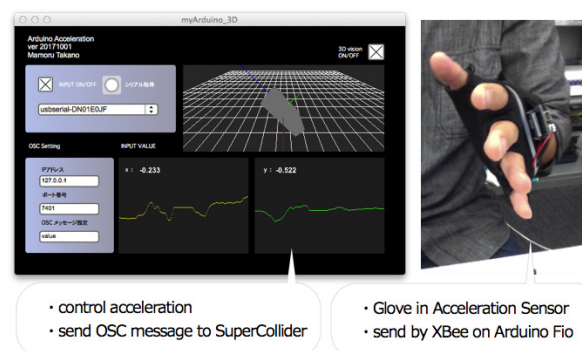


図 2 Max6 によりセンサーの値を取得

Fig. 2 Acceleration Patch by Max6

られ実践していない。しかし、各身体部位が持つ複数の動作情報を統合することで単音での提示が可能になると著者らは考えた。この手法を用いることで全身の動作情報が必要な場合や複数の音を同時並列的に認識することが困難な被験者に対して聴取が可能な音の数での提示が行える。

このような点から、本稿では身体部位が持つ複数の特徴的な動作を単音を持つ複数の音響パラメータにマッピングすることで、識別が可能な音響情報の提示手法を提案する。

3. 実装

本システムでは 1 つの加速度センサを付与したグローブとウェブカメラを用いた動作情報の取得を行い、それらから得た情報を 1 台のコンピュータにより処理することで音響情報への変換を行っている。

今回のシステムは図 3 のような構成になっており、主に画像情報または LeapMotion による位置情報と 3 軸加速度センサモジュール (KXR94-2050) を用いて動作情報を取得し音響生成を行った。センサーに関しては手の甲に加速度センサを内蔵した Arduino Fio を装着し、XBee によって無線通信でデータを送信している。手の回転や屈曲、加速などの情報は、加速度センサによる取得を行った。動作情報の取得には Max6 を使い、OSC 通信によって Supercollider に個々の動作情報の値を送信している。

3.1 音響情報へのマッピング

ここでは採用した動作情報の音響パラメータへのマッピング手法に関する説明を行う。本システムでは表 1 のような音響パラメータへのマッピングを行っている。本稿でのこのようなマッピングは、柏野らや Thomas らが行っている研究などで効果が示されているマッピングや Dubus らのマッピングに関する研究の統計を扱った論文 [6] を参考に選択・式の作成を行った。

可聴化研究において用いられやすい音響パラメータは周波数 (Frequency)、音量 (Amplitude, Loudness)、定位 (Panning, Spatialize)、テンポ (Tempo, Rhythm) である。

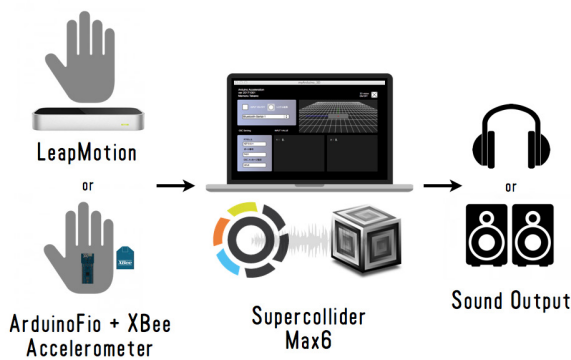


図 3 システム構成
Fig. 3 System Structure

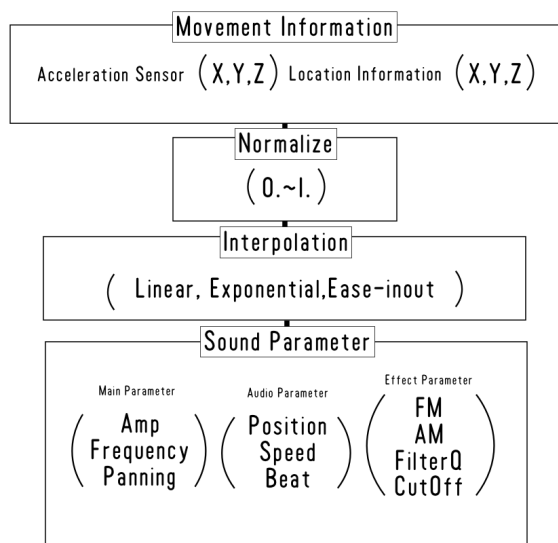


図 4 動作情報におけるパラメータ・マッピングの流れ
Fig. 4 Information flow of Parameter Mapping

中でも、最も多く用いられている音響パラメータは周波数である。Henkelmann は純音 (サイン波) の周波数へのマッピングをソニフィケーションにおける「Hello World」であると説明しており [7], 今回のマッピングにおいてまず最初に変換を行った中心的な選択肢となっている。SuperCollider で定義を行ったシンセサイザー内部の変数として複数の音響パラメータを設定している。主に音を持つ主要な音響パラメータである「周波数・音量・定位」と、音響効果のパラメータとして「FM 合成, AM 合成, Filter」などの変数を設定した。定位に関しては, LeapMotion による三次元空間での入力に対して, 4 チャンネルのサラウンド対応も可能になっている。さらに, サウンドファイルのパラメータとして「再生位置, 再生速度」の変数をそれぞれ設定している。これらの変数には Max6 と SuperCollider 間で OSC 通信を行い, スケーリングや補間処理を施した動作情報の値を入力している。

表 1 は「音響パラメータ」と「マッピング値」を表している。基本的にすべての計算処理を行った値は, 0 から 1

の範囲に正規化を行っており, 「マッピング値」には音響パラメータの変数に適した範囲へスケーリングした状態の値が記されている。以下では設定しているシンセ関数に置けるパラメータの処理を詳述していく。

シンセサイザー関数へのマッピングにおいて, 加速度は音量にアサインすることで音響を生成するトリガーとして用いた。すべての音源において動的加速度に関しては音を生成するトリガーとして用いている。オシレータでは周波数や音量などの一般的に用いられるパラメータの他に, 特殊効果として周波数変調 (Frequency Modulation, FM 合成) による周波数の揺れやその幅の変換を加えている。今回は縦方向の動きにオシレータの周波数の変化にマッピングしているため, 横方向の変化を提示するために加速度の x 方向の値を周波数変調のモジュレータ周波数へマッピングを行っている。

サウンドファイルの音の生成は, コンピュータ音楽 (電子音響音楽, electro-acoustic music) の音響生成で一般的な手法である, 「グラニューラー・サンプリング」を用いた。グラニューラー・サンプリングはサウンドファイルの一部の時間帯の音を取り出し, 音を粒子状にして連続して再生することで, 再生位置 (Playback Position), 再生速度 (Playback Speed) などを個別でコントロールできるようにし, 持続的な音響や粒状の音響などの生成を可能にする音響合成手法である。今回のサウンドファイルへのマッピングに関しては, 音による「空間的な探索」を可能にするような提示方法を目指とした。カメラから得た横軸の情報からサウンドファイルの再生位置を決定し, 縦軸の情報はピッチを変更を可能にするためにサウンドファイルの再生速度にそれぞれマッピングを行った。

ノイズ音源へのマッピングでは, フィルタ・カットオフ, フィルタ Q 値, 音量に関して, サウンドファイルへのマッピングと同様の設定を行っている。

表 1 音響パラメータの受け取る値の範囲

Table 1 Mapping Strategy

音響パラメータ	マッピング値の範囲
Amp	0.0 - 1.0 (-70dB - 0dB)
Frequency	100 - 5000(Hz)
Pan(2ch)	0 - 1 (L - R)
Filter Cutoff	100 - 5000(Hz)
Filter Q	0.1 - 2.0
Modulation Frequency	0 - 200(Hz)
Modulation Amplitude	0 - 100

これらの値を動的に変更を行えるようにコントロールパネルの設計を行った。設計したコントローラーは入力値とする動作情報の選択やそれらと結びつける音響パラメータの選択が可能となっている。また, 正規化された入力値を音響パラメータに対して適切な数値にスケーリングを行う

ことも可能となっている。コントロールパネルでスケールされた情報は Supercollider によって設定されたシンセサイザー関数に OSC によって送信される。

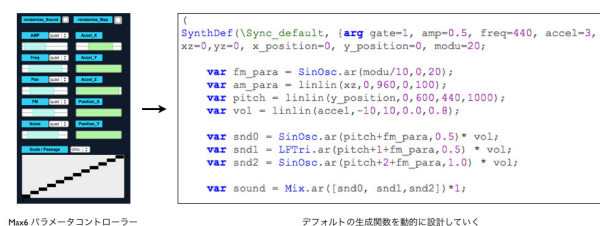


図 5 コントロールパネルとシンセ関数

Fig. 5 Control GUI and Synthesizer Function

4. 考察

本稿では多変数の動作情報を音響パラメータへマッピングし、身体動作を単音の変化として提示する可聴化システムの事例研究と、それらの事例を元に構築したマッピング手法を用いたシステムの提案してきた。本来は無意識化で処理され意識化では認知がされていない動作に伴うフィードバック情報は、音による拡張現実手法を用いることで知覚が可能になり動きの特性やパターンを知ることができる。動きを音によって表現することで普段は視覚情報や体性感覚のみで確認を行っていた身体イメージの構築における情報処理過程が、複雑な音響情報の変化のパターンとして記憶されるようになり、身体イメージ構築における認知過程の変換が行われる。本システムは今回行った身体イメージの拡大という目的と運動学習支援に応用することが可能である。自身の動作を修正する際に考察が可能な一つの要素としてこの可聴化システムを用いることで、音による動作情報の分析によって学習のきっかけを与えたりモチベーションの維持に貢献すると考えられる。

本稿で用いた可聴化システムにおける音響情報へのマッピング項目は、先行事例において行われてきた提示手法も再現が可能な設定を行うことが可能である。事例研究を元に、音響パラメータの選択とマッピングを行っているが、今後の課題としては異なる動作対象における最適な提示手法の検証やマッピングの組み合わせ毎の比較検討が挙げられる。多くの研究では研究者ごとに臨機応変にマッピングの選択が変更されているが、これらの手法ごとの比較や評価などはあまり行われていないのが現状である [8]。本システムは入力情報の値ごとのスケールや補間、マッピングに関して動的に変更を行うことが可能である。一般的な静的なマッピング手法では単一の提示手法のみに留まってしまうが、今回の動的な変更が可能なシステムを用いることで異なる提示手法が可能となるため手法ごとの比較やリファレンスの作成が容易となる。

4.1 今後の課題

今後はこの動的な変換手法を用いてマッピングの組み合わせに関するリファレンスを制作し、それぞれの組み合わせの提示手法の比較検討を行う。また、マッピングの組み合わせの制作を効率的に行うため、入力情報の値と音響情報のスケールや補正を機械学習等の手法を用いて自動的に行う必要がある。今後はマッピングやスケールの自動的な最適化や動的な変換方法の考察を行い、対象とする動作や個々人の身体特性に適合することが可能な可聴化システムの実現を目指す。

参考文献

- [1] 高野衛, 安藤大地, 笠原信一. 動作情報を用いた可聴化における変換手法の考察-パフォーマンス実演による検証-. 先端芸術音楽創作学会会報, Vol. 8, No. 3, pp. 1-4, 2016.
- [2] 丸井淳史. 音のためのインタフェース, 音によるインタフェース-楽器用エフェクタおよびソニフィケーション研究-. 精密工学会誌, Vol. 79, No. 6, pp. 502-505, 2013.
- [3] Thomas Hermann, Andy Hunt, and John G. Neuhoff. *The Sonification Handbook*. Logos Publishing House, Berlin, 2011.
- [4] Gregory Kramer, Bruce Walker, Terri Bonebright, Perry Cook, John Flowers, Nadine Miner, and John Neuhoff. Sonification report, status of the field and research agenda. In *International Conference on Auditory Display*, 1997.
- [5] Norberto Degara, Andy Hunt, and Thomas Hermann. Interactive sonification [guest editors' introduction]. *IEEE MultiMedia*, Vol. 22, No. 1, 2015.
- [6] Gaël Dubus and R. Bresin. A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities. *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 4, pp. 1283-1294, 2014.
- [7] Christoph Henkelmann. Improving the aesthetic quality of realtime motion data sonifications : Computer graphics technical reports. Technical report, Universit at Bonn, 2007.
- [8] Roland Sigrist, Georg Rauter, Robert Riener, and Peter Wolf. Augmented visual, auditory, haptic, and multi-modal feedback in motor learning: A review. *sychnomic Bulletin & Review*, Vol. 20, No. 1, pp. 21-53, 2012.