

ブロック玩具に対する能動的音響計測を用いた プロトタイピング

大野 誠^{1,a)} 志築 文太郎^{2,b)} 田中 二郎^{2,c)}

概要: ブロック玩具に対する能動的音響計測を用いてインタラクティブなプロトタイプを作成する手法を示す。ブロックの形状を有する音響センサをプロトタイプに取り付け、そのプロトタイプへの操作をソフトウェア上で学習させることによって、デザイナーは容易にインタラクティブなプロトタイプを作成することが可能である。

A Prototyping Technique with Toy Blocks using Active Acoustic Sensing

MAKOTO ONO^{1,a)} BUNTAROU SHIZUKI^{2,b)} JIRO TANAKA^{2,c)}

Abstract: We present a prototyping technique with toy blocks for interactive prototypes. It uses active acoustic sensing to recognize user's manipulation on prototypes. This technique allows designers to create interactive prototypes easily and rapidly.

1. はじめに

レゴブロックやデュプロブロックのようなブロック玩具を用いれば、デザイナーは容易に様々な構造を構築することが可能であるため、ブロック玩具はプロトタイピングによく使用される [3]。

一方で、我々は先行研究として、物体の音響特性を能動的に計測することにより、既存物体から様々なタッチジェスチャを認識する手法 [6]、タッチセンシティブなオブジェクトのプロトタイピングツール [7]、およびタッチの圧力を連続値として認識する手法 [8] を開発してきた。これらは、物体の音響特性がタッチによって変化することを利用して、機械学習を適用することによって容易にタッチを認識する

ものである。さらに、物体の音響特性は構造物の構造の変化によっても生じることが分かっている [6]。

本研究ではこのことに着目し、既存のブロック玩具をプロトタイプの構成要素として用いて、インタラクティブなプロトタイプを作成可能とするプロトタイピング手法を示す。本手法はブロック玩具を用いて構成したプロトタイプ（タッチパッド、レバー、ペダル等）、ブロックの形状を有する音響式のセンサ、およびコンピュータを用いる。デザイナーは、センサをプロトタイプに取り付けた状態でプロトタイプを操作し（レバーを曲げる等）、その時の音響特性をコンピュータに学習させる。これによって、コンピュータはプロトタイプへの操作を認識する。すなわちコンピュータに認識して欲しい操作をプロトタイプを用いて実演するのみで、デザイナーは容易にインタラクティブなプロトタイプを作成することが可能である。

これまでもブロック玩具に着目した研究はいくつか知られている。Gupta らの DuploTrack[4] はデザイナーが組み立てているデュプロブロックの状態を深度カメラを用いて認識し、プロトタイプの組み立てプロセスを提示している。Muller らの faBrickation[5] は 3D プリントとブロックを組

¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

² 筑波大学 システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University
of Tsukuba

a) ono@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) shizuki@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

c) jiro@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

み合わせることにより、高速なプロトタイプ作成の支援を行っている。椎尾らの StudI/O[9] は投影を用いてブロック玩具の組み立てを支援している。これらの研究はブロック玩具を用いたプロトタイプの組み立て支援を主眼としているのに対し、本研究はブロック玩具を用いて構成したプロトタイプにインタラクティブ性を持たせることを主眼としている。

本手法と同様の目的を持って作られたツールキットとして、Mindstorms[1]がある。Mindstormsはモータ、センサ、ギア、ローラ等の部品を用いたインタラクティブな作品を作成することを可能とする。一方、本手法はMindstormsのサブセットとして位置づけられる。ただし、Mindstormsに含まれるセンサ（温度センサやタッチセンサ等）は基本的に単一の機能のみを有するが、本手法におけるセンサは学習方式を変えることによって異なる働きをするため、より汎用的である。また、本手法の検出結果をMindstormsに与えることが可能となれば、Mindstormsと組み合わせにより高度なプロトタイプを作成可能になるものと考えられる。

2. システム構成

本システムはブロック玩具によるプロトタイプの音響特性を取得するハードウェアと、機械学習やアプリケーションを記述するためのソフトウェアによって構成される。

2.1 ハードウェア

今回使用したハードウェアを図1に示す。ハードウェアはセンサモジュールと圧電センサによって構成される。

2.1.1 センサモジュール

センサモジュールは我々の先行研究で用いたもの[7]である(図1a)。このセンサモジュールは物体を振動させるための信号として20kHz~40kHzのスweep信号を出力する。またその振動応答の包絡線を包絡線検波回路によって検波し、その結果を音響特性としてUSBシリアル通信を介してPCへと送信する。

2.1.2 圧電センサ

今回、我々の先行研究[7]において用いた圧電センサをレゴブロック向けに改良した(図1b)。具体的には、レゴブロックを用いて作成したプロトタイプに簡単に取り付けられるよう、圧電センサの形状をレゴブロックと同等とした。なお、この圧電センサは、レゴブロック以外にも、そのサイズが2倍であるデュプロブロックにも取付可能である。この圧電センサの形成方法は次の通りである。まず3Dプリンタを用いてレゴブロックのモデルを途中まで出力した状態で3Dプリンタを一時停止した。この状態で圧電素子をモデルに固定し、その後出力を再開した。

これまで同様、この圧電センサは3.5mmのオーディオプラグを介してセンサモジュールに接続される。このセン

サをプロトタイプに取り付けた状態でセンサモジュールからスweep信号が発せられると、片方の圧電センサがプロトタイプを振動させ、もう片方がその振動応答を電気信号へと変換する。

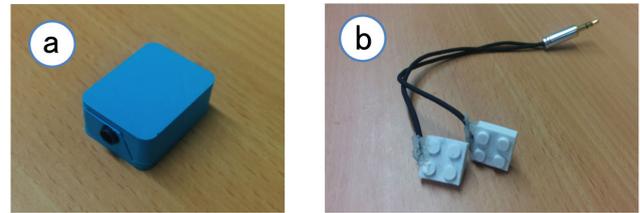


図1 ハードウェア：a) センサモジュール、b) レゴブロック型の圧電センサ

Fig. 1 The hardware: a) sensor module, b) lego compatible piezo-electric elements.

2.2 ソフトウェア

ソフトウェアは機械学習を行う認識ソフトウェアと、プロトタイプへの操作に対する応答を定義するためのアプリケーションオーサリングソフトウェアによって構成される。

2.2.1 認識ソフトウェア

認識ソフトウェアはセンサモジュールから得られた音響特性を特徴量として機械学習を行う。機械学習のアルゴリズムとしてSupport Vector Machine(SVM)を採用し、実装にはLIBSVM[2]を用いた。認識ソフトウェアでは、用途に応じて以下の異なる学習方式をとる。

連続値学習

線形な動作による操作(例：スライダを動かす)を認識させる場合には連続値学習を行う。連続値学習にはSupport Vector Regression(SVR)を用いる。デザイナーは認識ソフトウェア上に表示されるバーが上昇するアニメーションを見ながら、その動作と操作が対応するように入力を行う。認識ソフトウェアは現在表示しているバーの高さを教師ラベル(0.0~1.0)、その時のデザイナーの操作によって変化する音響特性を特徴量としてSVRによる機械学習を行う。認識結果は連続値(0.0~1.0)として出力される。

離散値学習

離散的な動作による操作(例：ボタンを押す)を認識させる場合には離散値学習を行う。離散値学習にはSupport Vector Classification(SVC)を用いる。デザイナーは認識ソフトウェア上でいくつかの操作ラベルを定義し、そのラベルに対応するプロトタイプの操作を行う。認識ソフトウェアはそのラベルを教師ラベル、デザイナーの操作によって変化した音響特性を特徴量としてSVCによる機械学習を行う。認識結果は離散値(各操作ラベル名)として出力される。

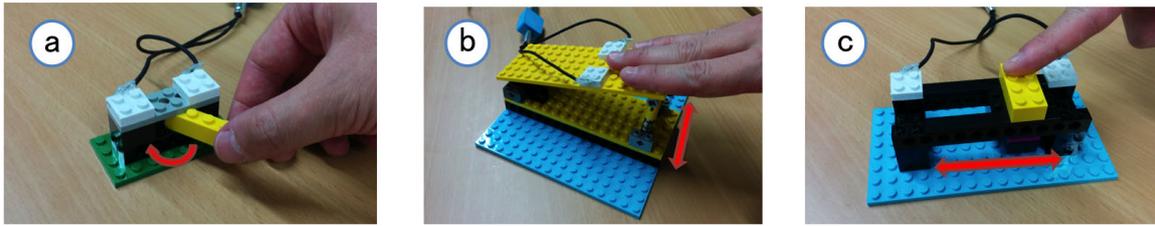


図 2 連続値入力の適用例 : a) レバー、b) ペダル、c) スライダー
 Fig. 2 Examples of continuous input: a) lever, b) pedal, c) slider.

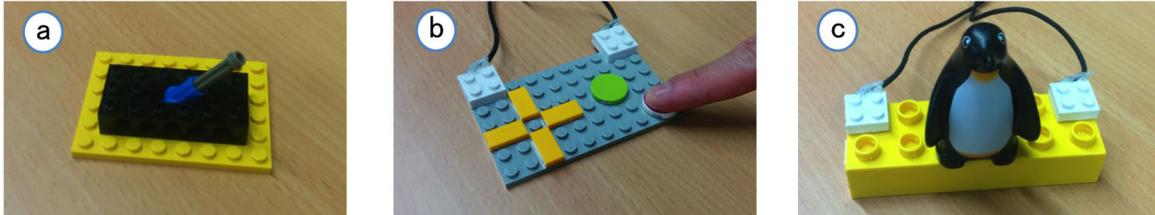


図 3 離散値入力の適用例 : a) スイッチ、b) ゲームコントローラ、c) インタラクティブアニマル
 Fig. 3 Examples of discrete input: a) switch, b) game controller, c) interactive animal.

これらの認識結果は認識ソフトウェアからプロセス間通信（現実装では OSC プロトコルもしくは HTTP プロトコル）を通してアプリケーションオーサリングソフトウェアに送信される。

2.2.2 アプリケーションオーサリングソフトウェア

デザイナーはプロトタイプへの操作に対応する応答を定義するためにアプリケーションオーサリングソフトウェアを用いる。現在我々はアプリケーションオーサリングソフトウェアとして Max/MSP および Scratch という二つのビジュアルプログラミング環境を採用している。これらを用いてデザイナーは、認識ソフトウェアからの認識結果に応じて効果音を鳴らす、ビジュアル・エフェクトを表示する等の応答を、プログラムの記述によって定義できる。また、Max/MSP では、シェルスクリプトや AppleScript 等の外部プログラムを実行するプログラムを記述することも可能であるため、デザイナーは iTunes を操作する等の高度な応答を定義することが可能である。

3. 適用例

本手法の適用例を以下に示す。これらの適用例は全て著者らによって作成された。

3.1 連続値入力

連続値学習を適用した例を図 2 に示す。

レバー

図 2a のようにブロックを組み、黄色いブロックをレバーとして赤矢印方向に回転させる動作によって連続値学習を行い、レバーの回転角が認識されることを確かめた。本例はレーシングゲームやバランスゲームの

ハンドルコントローラに応用可能である。

ペダル

図 2b のようにブロックを組み、ペダルを赤矢印方向に押し込む動作によって連続値学習を行い、ペダルの踏み具合が認識されることを確かめた。なお、このペダルにはバネが含まれており、ペダルを押し込まない時には自動的に元の高さに戻るようになっている。本例は、レーシングゲームのアクセルペダルや、Angry Birds のようなアクションゲームの入力インタフェースとして応用可能である。

スライダ

図 2c のようにブロックを組み、黄色いブロックをつまみとして赤矢印方向にスライドさせる動作によって連続値学習を行い、スライダの位置が認識されることを確かめた。本例は音楽プレイヤーのシークを行うための入力インタフェースとして応用可能である。

3.2 離散値入力

離散値入力の学習を適用した例を図 3 に示す。

スイッチ

図 3a のようにブロックを組み、スイッチを左右に倒した状態においてそれぞれ離散値学習を行い、2 状態の入力が可能なスイッチを作成した。

ゲームコントローラ

図 3b のようにブロックを組み、4 つの黄色いタイルブロックと、2 つの丸いタイルブロックをそれぞれタッチした状態において離散値学習を行い、ゲームコントローラを作成した。4 つの黄色いタイルブロックを方向入力に、2 つの丸いタイルブロックをアクションボ

タンとして割り当てることによって、スーパーファミコンやゲームボーイのようなゲームのコントローラのプロトタイプを作成することが可能である。

インタラクティブアニマル

デュプロブロックと動物型のブロックを用いて、インタラクティブアニマルというプロトタイプを作成した(図3c)。これは黄色のベースブロック(図4a)に動物型のブロックが乗せられると、その種類を認識し、その動物に対応した効果音を再生する(図4b)。また、その状態で動物ブロックが触れられるとさらに異なる効果音を再生する(図4c)。図5のように、複数種類の動物型ブロックを識別することも可能であり、それぞれの動物に対応した異なる効果音が再生される。このプロトタイプは、以上の各状態における音響特性の離散値学習を行うことによって作成した。

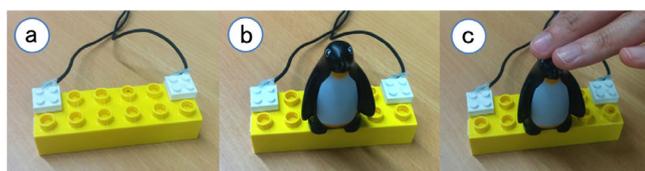


図4 動物型ブロックとタッチの認識

Fig. 4 Recognition of animal-shaped block attached to the base block and touch on the animal.

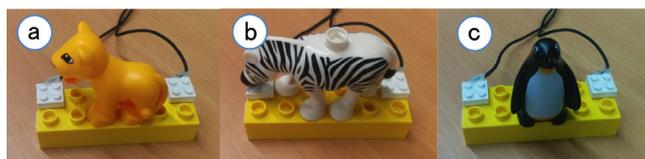


図5 動物型ブロックの識別

Fig. 5 Classification of animal-shaped blocks.

4. 議論

本手法の音響センサは、前節で示したように様々な操作を認識できるものの、いくつかの制約を持つ。

まず、センサの取付位置によって、操作が認識されやすく音響特性が変化する場合とそうでない場合が生じる。ただし、現在その判断基準が無いので、取付位置を決める際に経験則が求められる。例えば図2bのペダルの場合、水色の台座ブロックにセンサを取り付けても、認識に効果的な音響特性の変化は生じない。一方、実際に手や足が触れる黄色のブロックにセンサを取り付けた場合、ペダルの踏み具合と連動して音響特性に変化が生じる。これはペダルを押し込むことによって黄色のブロックにひずみが生じることによるものと思われる。また、操作する部位とセンサの取付位置は構造的に強く結合されていなければならないという制約もある。この制約により、図2cに示したスラ

イダにおいて、つまみの部位と台座の部位との結合が弱いので、スライダの認識精度は他の適用例に比べて低い。今後はそのような事例を調査し、センサの取付位置に関する判断基準を明らかにする必要がある。

また、操作の認識精度は学習の良し悪しに依存する。特に、連続値学習の場合、認識ソフトウェア上に表示されるバーに従って、正確に一定速度で操作を行う必要がある。これにはデザイナーの習熟が求められるため、今後はよりデザイナーにとって負担が少なくかつ効率的に学習を行える機械学習UIを探る必要がある。

5. まとめ

本稿ではブロック玩具を用いてインタラクティブなプロトタイプを作成する手法を示した。ブロックの形状を有する音響センサをプロトタイプに取り付け、そのプロトタイプへの操作をソフトウェア上で学習させることによって、デザイナーは簡単にインタラクティブなプロトタイプを作成することが可能である。

参考文献

- [1] LEGO, Mindstorms. <http://mindstorms.lego.com/>. (accessed 2014.12.17).
- [2] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin. LIBSVM: A library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 27:1–27:27, 2011.
- [3] Lawrence Cralg. Right–Rapid–Rough. *Ask Magazine*, No. 13, pp. 12–15, 2003.
- [4] Ankit Gupta, Dieter Fox, Brian Curless, and Michael Cohen. DuploTrack: A real-time system for authoring and guiding duplo block assembly. In *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 389–402. ACM, 2012.
- [5] Stefanie Mueller, Tobias Mohr, Kerstin Guenther, Johannes Frohnhofer, and Patrick Baudisch. faBrickation: Fast 3D printing of functional objects by integrating construction kit building blocks. In *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems*, pp. 3827–3834. ACM, 2014.
- [6] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Touch & Activate: Adding interactivity to existing objects using active acoustic sensing. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 31–40. ACM, 2013.
- [7] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. A rapid prototyping toolkit for touch sensitive objects using active acoustic sensing. In *Proceedings of the adjunct publication of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 35–36. ACM, 2014.
- [8] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Sensing touch force using active acoustic sensing. In *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, 4 pages. ACM, 2015. (to appear).
- [9] 椎尾一郎, 橋本菜摘. StudI/O: 立体への投影を利用したトイブロック組み立て支援. WISS'14: 第22回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 37–42. ソフトウェア学会, 2014.