

浴槽縁上での叩打音色識別によるユーザインタフェース

隅田 智之^{1,a)} 平井 重行^{1,b)}

概要: 日本の浴室において、給湯器などの浴室リモコンは、壁に取り付けられていて場所が固定されているものが多い。それは、外観上の課題や高齢者・身障者による利用上の問題がある。それらの解決策として浴槽縁をユーザインタフェースとしてユニバーサルに利用できるシステムについて研究を行っている。本論文では、そのようなシステムの1つの形として、浴槽縁に埋め込んだ音響センサを利用して、手指で叩く音からその叩き方（叩打音色）の違いをNMF(非負値行列因子分解)で識別する手法およびその性能について述べる。また、浴槽縁での叩き方の違いを利用したアプリケーション例についても示す。

Tap Tone User Interface on a Bathtub Edge

TOMOYUKI SUMIDA^{1,a)} SHIGEYUKI HIRAI^{1,b)}

Abstract: In a Japanese bathroom, remote controllers, such as water heater, audio, lighting, are put up on a wall. They have some problems, such as appearance, use issue with elderly and disabled people. We have made novel user interface systems to resolve them with converting a bathtub edge into an universal remote controller. This paper describes the user interface with embedded acoustic sensors which distinguish tapping tones by several hand postures on a bathtub edge using NMF (Non-negative Matrix Factorization), and its evaluations. In addition, some applications with this user interface are described.

1. はじめに

HEMSを中心としたスマートホームの研究やIoTブームによるスマートデバイスの登場が盛んになっている[1]-[4]。その中で、元々給湯器やオーディオ・TVなどが導入されてきた浴室においては、あまり先進的な機器やスマート環境としての取り組みが行われていないのが現状である。そのような中で、給湯器やオーディオなどのリモコンは、壁に取り付けた固定型のものがほとんどで、一度取り付けた位置の変更ができない課題がある。浴室内で操作する際の手の届き難い場所に設置して後々困ることがあるほか、高齢者や身障者は無理な姿勢で操作しないといけない場合などの課題も指摘されている[5]-[7]。この課題を解決するために、榊原らは浴槽縁内部に静電容量センサを埋め込み、その縁上に画面を投影することでユニバーサルなユー

ザインタフェースを実現するTubTouchシステムを構築している[8]。また、一方で伊藤らは、静電容量センサではなく、複数のピエゾセンサを浴槽縁内部に設置して、縁上部を叩く位置や音色を識別するシステムを構築している[9]。本研究は、この伊藤らのシステムにおける叩打音色の識別性能があまり高くなかったため、その改良を行うものである。加えて、その叩打音色の違いを利用した様々な応用例を示し、浴室が新たなスマート環境として進展することを目指す。

本稿では、2章で関連研究について述べ、3章において研究環境を含むシステム概要と、識別する叩打音色（叩き方）について説明する。4章では、伊藤らの研究[10]で用いていた非負値行列因子分解（NMF: Non-negative Matrix Factorization）の処理について、センサ信号の前処理を含めた改良点とその性能向上について述べる。5章では、叩打音色識別を利用した浴槽縁でのアプリケーション例について挙げ、6章でまとめる。

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部
Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

^{a)} ui.suto05@gmail.com

^{b)} hirai@cse.kyoto-su.ac.jp

2. 関連研究

打音の識別処理を行っている関連研究について、利用手法を NMF と SVM に分けて挙げる。

2.1 NMF を用いた研究

山本の PossessingDrums[11] の研究では、手や物で発生させた打音や摩擦音などを他の任意の音色に変換する処理を実現している。ここでは NMF を音色識別用途ではなく音色差し替えのための伝達関数として利用している。

安部らの研究 [12] では、ゲームインタフェースに応用するための打音検出に拡張 NMF を利用しており、検出のリアルタイム処理や音色登録機能などに特徴を持たせている。

2.2 SVM を用いた研究

Lopes らの研究 [13] では、テーブルトップディスプレイのタッチ操作において、拳や指先、指関節での叩打音を識別して異なる操作イベントとして処理できるシステムを実現している。ここでは、テーブルトップの表面に設置した圧電センサからの入力音のパワースペクトルを SVM で処理している。また、同様の処理を Harrison らの TapSense[14] でも実現しており、こちらは携帯端末で同様の操作を実現している。

3. システム概要

本研究システムは、日本国内で一般的に普及しているユニットバスの浴槽において、浴槽側面の水の入らない空間内の浴槽縁裏にあたる場所に音響センサ（圧電センサ）を取り付ける。そして、入浴者が浴槽縁を叩く音を圧電センサによって浴槽の固体振動として直接計測を行う。計測された音響信号を元として、叩打音色の判別処理をリアルタイムで行う。叩打音色の判別処理で推定された音色の種類に応じた異なる操作イベントによって、様々な機器の制御やアプリケーションの操作を目指す。また、浴室ユーザインタフェースの先行研究である TubTouch では天井取付プロジェクタを用いて浴槽縁表面に操作画面や情報を投影してユーザに提示する形式をとっている。システムバスの天井裏には浴室暖房機などの機器を設置できる空間が設けられているため、本研究でも天井取付プロジェクタを使用しアプリケーションなどの情報を提示する。本章では、システムのハードウェア構成と叩打音色識別処理のシステム設計を述べる。また、本研究で扱う叩き方は伊藤らの研究でも着目している図 1 の 5 パターンの叩き方に着目して識別精度問題の解決とアプリケーションの実装を行う。

3.1 ハードウェア構成

ハードウェアの構成としては浴槽叩打音を浴槽の固体振

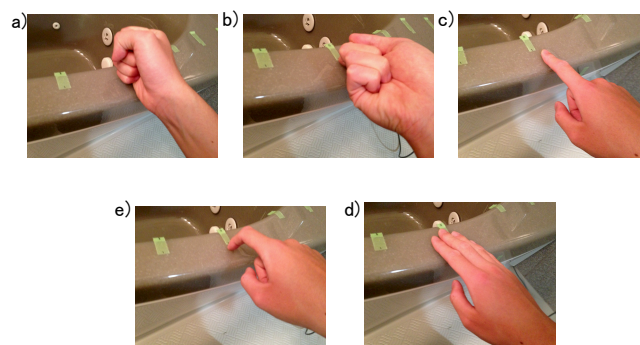


図 1 浴槽縁上での叩き方

a) 拳 (Fist), b) 指関節 (Knuckle), c) 指先の腹 (Pad)
d) 爪 (Tip), e) 複数本指の腹 (Fingers)

Fig. 1 Hand postures for tapping on bathtub edge.

a) Fist, b) Knuckle, c) Pad, d) Tip, e) Fingers

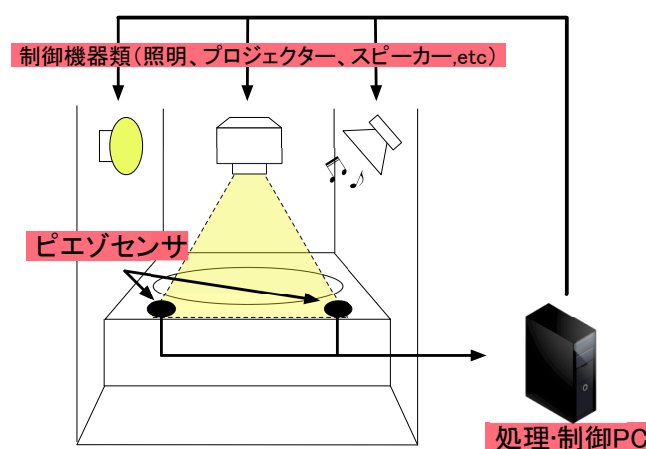


図 2 ハードウェア構成

Fig. 2 Hardware configuration.

動として検出する音響センサ部分と、音響センサ部分から入力される信号の叩打音色識別処理と機器やアプリケーションを制御するコンピュータ部分から構成される (図 2 参照)。それらのセンサとコンピュータは浴槽の裏側に設置することを想定している。日本の一般家庭に普及しているユニットバスは浴槽などが複数のパーツから構成されているので、取り外しが容易である。図 3 のように浴槽の横壁も容易に取り外す事ができ、水が内部に入らない空間へのアクセスが容易に行えるため、センサ類や回路といった機器を既存のユニットバスに容易に設置することができる。TubTouch と Bathcratch[15] においても浴槽内空間にセンサを設置しており、本研究でも同様に浴槽内空間にセンサや機器を設置する。ここでは、安価で入手でき、幅広い周波数帯域を検出する事が出来るアコースティックギター用の圧電ピックアップを用いている。

3.2 叩打音色識別システム概要

叩打音色識別処理システムでは、圧電センサから入力される音響信号に対し、叩き方を識別するための処理を行う。現時点で、このシステム全体は Max6 上で構築してお



図 3 浴槽横のエプロン壁を取りはずした様子
Fig. 3 Side of bathtub without apron.

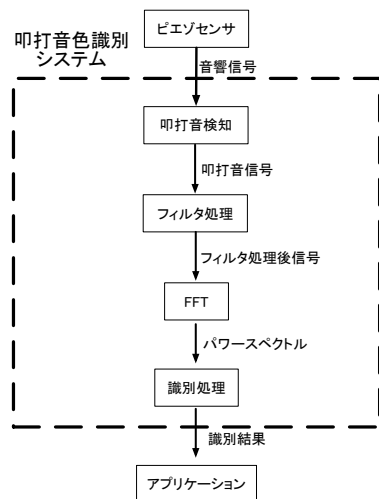


図 4 叩打音色識別システム流れ
Fig. 4 Percussion timbre identification system flow.

り、NMF による識別処理は C++にて Max エクスタナルオブジェクトとして実装している。この部分の処理フローを図 4 に示す。入力された音響信号は、叩打音検知処理が行われ、検知された信号に対し、識別処理の前段階としてフィルタ処理が行われる。その後、FFT によってパワースペクトルを得て、NMF による識別処理が行われる。NMF に、事前に識別する波形（パワースペクトル）のテンプレートを与えておき、その NMF として合致したテンプレートの ID を識別結果として出力する。

4. 叩打音色識別処理とその性能評価

4.1 叩打音色識別処理の内容

4.1.1 叩打音検知処理

ピエゾセンサから入力される音響信号に対し、入力信号の振幅レベルの閾値処理によって叩打音の初動を検知する。ただ、時間波形そのままでは振動が激しく振幅レベルを扱うのが困難なため、二乗平均平方根 (RMS) の積分処理によって時間波形の振幅レベルを随時処理する (Running RMS 法)。この手法と適切な閾値設定により、振幅レベルが大きくなり始める初動を的確に検出することができる。

4.1.2 フィルタ処理

次節の識別処理の前処理として、ハイパスフィルタ処理

表 1 データ収録環境と処理条件

Table 1 Conditions of sound recording and processing.

水準	値
使用言語	Max/MSP
サンプリングレート	44.1 [kHz]
量子化ビット数	16 [bit]
入力バッファサイズ	128 [sample]
フィルタ	HPF(5.0 [kHz])
RMS 窓幅	128 [sample]
FFT 窓幅	256 [sample]

を施す。浴槽での叩打音は、高周波成分が比較的少なく、低周波成分が大きい傾向がある (図 5 の各叩き方のスペクトログラムを参照)。しかし、特定の叩き方での音響信号には低周波成分と比べると弱い特徴量になりうる高周波成分が含まれている。このことから、フィルタ処理を行い低周波成分を削り高周波成分を強調することで識別精度の向上を図る。

4.1.3 識別処理

フィルタ処理後の波形に FFT を施し、得られたパワースペクトルを NMF で構成した識別器に入力する。本研究における識別器は、NMF と SVM の 2 つの手法で試みているが、本稿では NMF の識別器を用いる。ここでは、あらかじめ識別すべき叩打音色をテンプレートとして事前に識別器に入力しておき、NMF での繰り返し計算処理によって識別処理を行う。各叩き方のテンプレートは、キャリブレーションデータとして事前に複数回叩打した音響信号を収録しておき、各叩打音のパワースペクトルの全パワー成分で正規化したものを求めておき、複数回ぶんの平均パワースペクトルをテンプレートとして用いる。これは叩く強さによる周波数成分の違いを平滑化するために行う。このキャリブレーション処理により、全叩き方のテンプレートを取得し、NMF 識別器に設定しておく。

4.2 性能評価

図 1 に示した 5 種類の叩き方を用いて識別性能評価を行う。また、操作インタフェースとして連打する場合も想定し、連打時の処理時間性能についても評価する。本評価は、京都産業大学の実験住宅 3 Home (くすいーほーむ) [16][17] の浴槽で行った。ここで用いた音響信号計測と処理の条件を表 1 に示す。

4.2.1 識別性能の評価

前述の 5 種類の叩き方に対し、2 種類だけ利用する組合せ (10 通り)、3 種類だけ利用する組合せ (10 通り)、4 種類だけ利用する組合せ (5 通り)、5 種類すべて使用する場合、それぞれについて識別性能を評価した。この評価では、5 人の被験者が各叩き方を 100 回ずつ叩いたデータを用いた。その中の 1 人のデータをテンプレートとして用い、それ以外で評価を行う形で交差検定を行った。

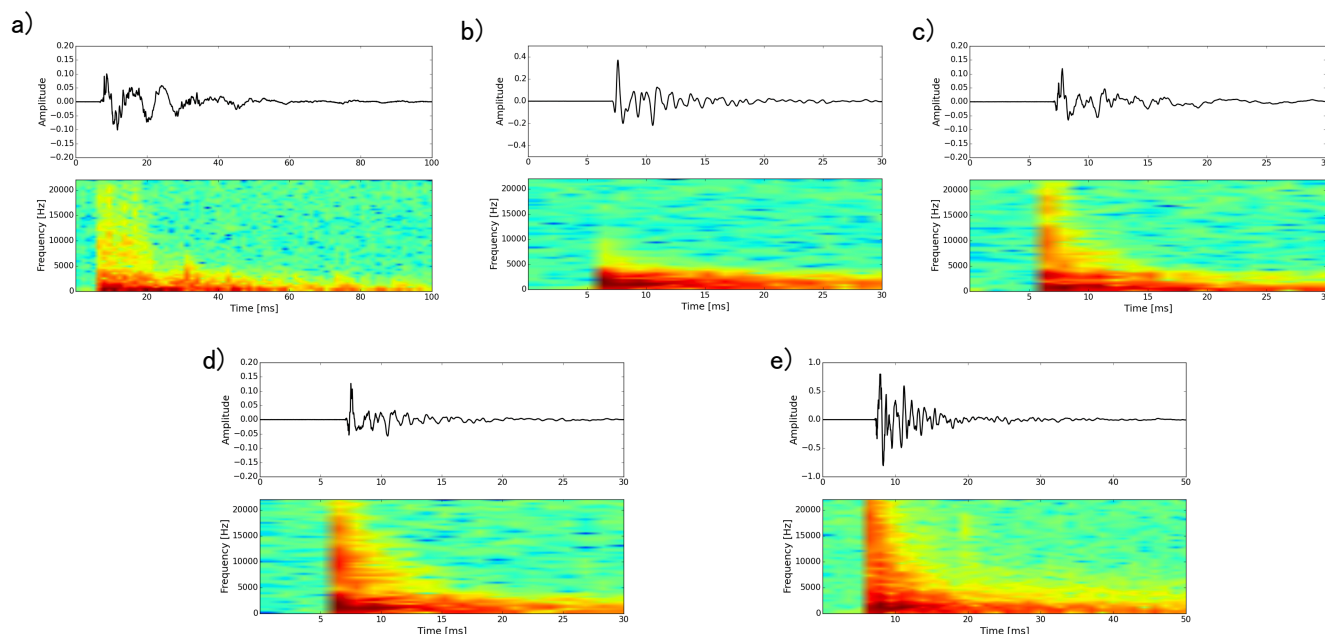


図 5 各叩打音の波形とスペクトログラムの例

a) 拳 (Fist), b) 指関節 (Knuckle), c) 指先の腹 (Pad), d) 爪 (Tip), e) 複数本指の腹 (Fingers)

Fig. 5 Wave forms and spectrograms for each hand posture for tapping.

a)fist , b)Knuckle , c)Pad , d)Tip , e)Fingers.

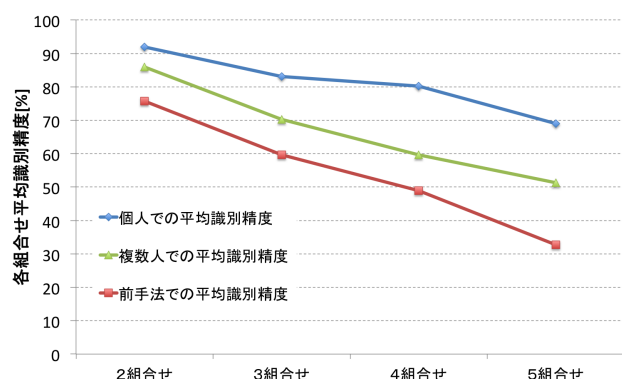


図 6 各叩打音組合せの平均識別精度

Fig. 6 Averages of classification accuracy for each tapping combination.

図6のグラフでは、各組合せでの平均識別精度を示している。図6から、5パターンではユーザインタフェースに用いるのは難しそうということが分かる。3パターンでの平均識別精度は71%程度だが、特定の組合せを見ると80%を超えるものがあり、3パターンの特定の組合せを用いれば実用に耐えられると考察できる。このことから、後述するアプリケーションでは3パターンの叩き方を用いて実装している。また、個人での識別精度結果が複数人での識別精度結果より高精度であることから、個人宅の浴室での利用を考えているため基本的には4・5人のテンプレートを登録しておき、テンプレートを切り替えることにより識別精度の確保ができるのではないかと考えられる。

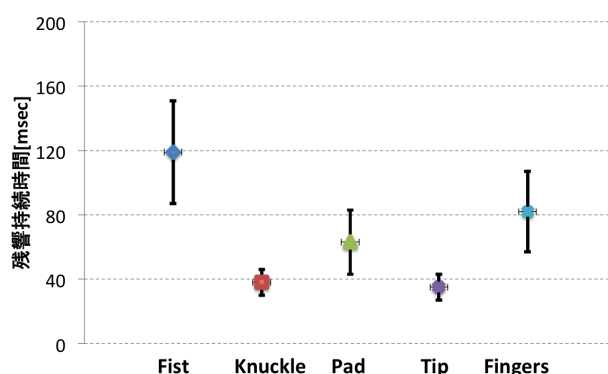


図 7 各叩き方の平均残響持続時間

Fig. 7 Duration averages of reverberation for each tapping hand form.

4.2.2 連打性能

連打に関しての大きな問題は、叩打後の残響成分である。叩打後は浴槽内で共鳴するため残響成分がピエゾセンサからの音響信号に含まれる。また、その残響成分は叩き方によって持続時間が異なる。そのため、叩打音検知後の不検知時間を適切に設定しないと1回の叩打で2回検知することとなり、これはユーザインタフェースでは致命的な欠陥である。このことから、複数人に各叩打音色10回ずつ強く叩いてもらい各叩打音色での残響持続時間を測定を行う。それらの実験結果を図7に示す。結果より、叩き方によって残響持続時間が異なることが分かる。長いもので平均0.13秒程度で、短いもので平均0.004秒程度となっている。このことから、全ての叩き方で同じ閾値を用いて不



図 8 BathDrum の演奏の様子
Fig. 8 Playing BathDrum.

検知時間を設定すると残響持続時間が短い叩き方での連打回数の低下を招き、もしくは残響持続時間が長い叩き方の意図しない連続叩打検知が発生する。これらの問題を防ぐために、本研究では叩打音検知、フィルタ処理、識別処理を行った後、識別結果によって結果に対応する事前に用意した個別の不検知時間の閾値を設定することで、各叩き方の連打回数の確保と意図しない連続検知を回避することでシステム全体としての連打性能を確保する。

5. アプリケーション例

本研究で構築した叩打音色識別処理システムを用いて、実際の浴室内で動作するアプリケーション例について述べる。これらは実験住宅 B Home の浴室天井裏に設置されたプロジェクタから浴槽縁に画面投影し、動作するものとなっている。投影する画面は Processing で描画処理を用い、叩打音色識別処理システムとは OSC (Open Sound Control) プロトコルで識別音色 ID などのメッセージを送受信して処理を行っている。

5.1 BathDrum

先行研究で開発した BathDrum で利用していた浴槽縁上の叩打位置検出処理に、本研究の叩打音色識別を組み合わせた、浴槽打楽器アプリケーションである。伊藤らの先行研究 [10] では、叩打音色の識別精度が低かったため、2種類の叩き方の識別として処理を行っていたが、それでも誤検出が多かった。本研究ではその識別処理性能が全般的に改善されており、2つの叩き方のみだと高い識別精度で打楽器として利用できる。また叩き方の組合せによっては3音色でも高い精度が出せ、それを利用した打楽器演奏も可能となっている。

5.2 機器などのメニュー操作

榎原らによる浴槽 UI の先行研究 TubTouch[8]で行っていた浴槽縁での機器操作について、叩打音でも行えるよう適用した。識別精度から考慮して、叩き方の組合せは3つが適切だが、それだと入力に利用できる操作イベントが3



図 9 機器操作メニュー展開時の様子
Fig. 9 Menu buttons to operate facilities.

種類のみとなる。それ以上にイベント種別を増やすには、ダブルタップやトリプルタップのような叩く回数によるイベント検出も併用することができる。

5.3 文字入力

様々なコンピュータ環境・状況での文字入力手法が提案されているが [18] - [20], 本研究では叩き方の違いのみで文字入力を行う操作手段を作成した。3パターンの叩き方の違いを用いて、1つ目の叩き方では子音の選択、2つ目の叩き方では母音の選択、3つ目の叩き方で決定処理を行い、子音・母音を選択していない状態で3つ目の叩き方を行うと消去処理を行うといったシステム設計を行っている。またその他の入力アプリケーションとして、叩き方の違いを利用したモルス信号入力アプリケーションも実装した。1つ目の叩き方に「・」を、2つ目の叩き方に「ー」を割り当てて3つ目の叩き方で決定処理を行うといったアプリケーションとなっている。

6. おわりに

本研究は、浴槽に設置したピエゾセンサによって検出する浴槽を叩くといった行為に着目し、その中でも叩き方についての識別精度向上を行い、叩き方の違いを用いたユーザインタフェースの提案を行った。本稿では、本システムのハードウェア構成と叩打音色識別処理システムの概要について述べ、叩打音色を利用したアプリケーションの実装例を示した。

今後は、体や手足が浴槽に当たった際の音など含む雑音への対処が必要である。また、4種以上の叩打音識別精度の向上を図ると共に、浴槽縁への手指での叩打だけでなく、入浴中に浴槽の内壁を意図的に「蹴る」行為などもユーザインタフェースイベントとして処理する予定である。そして、アプリケーションも増やすことも含め、より実用的な操作インタフェースシステムとして構築していきたい。

参考文献

- [1] S. S. Intille, K. Larson, J. Beaudin, E. Munguia Tapia, P. Kaushik, J. Nawyn, and T.J. McLeish, The Place- Lab: a live-in laboratory for pervasive computing research (Video), Proc. of Pervasive2005, 2005.
- [2] B.de Ruyter, et al. Ambient Intelligence Research in HomeLab: Engineering the User Experience, Ambient Intelligence, Springer, pp.49-61, 2005.
- [3] 椎尾一郎, 元岡展久, 塚田浩二, 神原啓介, 太田裕治. Ocha House とユビキタスコンピューティング, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.12, No.1, pp.7-12, 2010.
- [4] 上田博唯, 山崎達也. ユビキタスホーム: 日常生活支援のための住環境知能化の試み, ロボット学会論文誌, Vol.25, pp.10-16, 2007.
- [5] 高橋賢一. 浴室リモコン端末 GUI におけるデザイン視点. デザイン学研究特集号, Vol.11, No.2, pp.3942, 2003.
- [6] 馬場朗, 日比谷新平, 奈木野豪秀, 小笹詩織, 庄境誠, 竹原清隆. 浴室向け音声コントローラの開発. 情報処理学会研究報告 2008-SLP-73, pp.1922, 2008.
- [7] 林宏憲, 榊原吉伸, 早川聖朋, 平井重行. タッチセンサ内蔵浴槽による浴室のインタラクションデザインとその応用. ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.12, No.1. 2010.
- [8] 榊原吉伸, 林宏憲, 平井重行, TubTouch: 湯水の影響や自由形状への適用を考慮した浴槽タッチ UI 環境, 情報処理学会論文誌 Vol.53, No.4, 2013.
- [9] 伊藤大毅, 平井重行: 浴槽叩打音を利用したお風呂ドラム BathDrum の叩打位置検出, 情報処理学会研究報告 2013-EC-29-1, 2013.
- [10] 伊藤大毅, 平井重行: BathDrum2: 叩打位置と音色を利用した浴槽打楽器, 情報処理学会研究報告 2015-MUS-106-19/2015-EC-35-19, 2015.
- [11] Kazuhiko Yamamoto. Possessing Drums: An Interface of Musical Instruments that Assigns Arbitrary Timbres to Personal Belongings, Journal of Information Processing, Vol.21, No.2, pp.274- 282, 2013
- [12] 安部武宏, 佐古淳: ゲームの直感的なインターフェースに向けたリアルタイムでの打音検出-音のボタン-, 情報処理学会研究報告. 2014-MUS-104, pp.1-6, 2014.
- [13] Pedro Lopes, Ricardo Jota, Joaquim A. Jorge. Augmenting touch interaction through acoustic sensing, Proc. of ITS2011, pp.53-56, 2011.
- [14] Chris Harrison, Julia Schwarz and Scott E. Hudson. TapSense: Enhancing Finger Interaction on Touch Surfaces. Proc. of UIST ' 11, pp.627-636, 2011.
- [15] Shigeyuki Hirai, Yoshinobu Sakakibara and Seiho Hayakawa. Bathcratch: Touch and Sound-Based DJ Controller Implemented on a Bathtub, Proc. of ACE2012, pp.44-56, 2012.
- [16] 平井重行, 上田博唯. 京都産業大学の生活型実験住宅 Home(くすいーほーむ)について. 電子情報通信学会信学技報, Vol.110, No.35, MVE2010-12. pp.4350, 2010.
- [17] 平井重行, 上田博唯. 実験住宅 Home(くすいーほーむ)でのユーザエクスペリエンス研究へ向けて. 計測自動制御学会 SI2011 講演論文集, 2011.
- [18] 増井俊之. 携帯端末のテキスト入力手法. ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.4, No.3, pp. 131-144, August 2002.
- [19] 椎尾一郎, 増井 俊之, 塚田 浩二. MouseField: ユビキタスコンピューティングのための入力デバイス. 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 7, pp. 1661-1670, July 2005. 情報処理学会論文誌.
- [20] 平山健一, 小枝正直: スマートフォンにおける片手親指特性を考慮した文字入力方式の提案と実装, 全国大会公園論文集. 2013(1),73-75,2013-03-06