

Airstic Drum：実ドラムと仮想ドラムを統合するためのドラムスティックの構築

菅家 浩之^{1,a)} 竹川 佳成^{2,b)} 寺田 努^{1,3,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

受付日 2012年6月26日, 採録日 2013年1月11日

概要：ドラムセットはさまざまな打楽器の組合せから構成されるが、個々の打楽器は大きく重いため、持ち運びが不便であったり、設置に広いスペースを必要としたりする。一方、モーションセンサを搭載したドラムスティックを用いて空間上の仮想打面を叩打することで擬似的にドラム演奏を行う仮想ドラムは、高い可搬性を持つが、叩打時のフィードバックがなく演奏しにくかったり、演奏法や音色が再現できないことから、実ドラムに慣れているドラム演奏者が仮想ドラムを使う場合、演奏性や表現力が著しく低下するため満足のいく演奏をすることは難しい。本研究で提案する Airstic Drum は実ドラムと仮想ドラムを統合することで、高い可搬性と演奏性を実現する。Airstic Drum は仮想ドラムの叩打と識別したときのみ、仮想ドラムに割り当てた音色の音を出力することで、仮想ドラムと実ドラムの利点をあわせ持つドラムを実現する。本研究では仮想ドラムと実ドラムの叩打動作を加速度および角速度の特徴量から識別することにより両者の統合を可能にした。また、プロトタイプを開発し、ドラム演奏者による実運用を行い、システムの有用性を検証した。

キーワード：ドラム, モーションセンサ, 電子楽器

Airstic Drum: Construction of a Drumstick for Integration of Real and Virtual Drums

HIROYUKI KANKE^{1,a)} YOSHINARI TAKEGAWA^{2,b)}
TSUTOMU TERADA^{1,3,c)} MASAHIKO TSUKAMOTO^{1,d)}

Received: June 26, 2012, Accepted: January 11, 2013

Abstract: Drums consists of various kinds of percussion instruments. As each percussion instrument is large and heavy, it is inconvenient for drummers to carry and set it up. Virtual drums, which includes motion sensors and enables drummers to imitate playing drums by stroking a virtual drum, has high portability, but drummers have difficulty in demonstrating their drum skills with virtual drums because of the lack of feedback from stroking, low sound quality, and so on. Our proposed *Airstic Drum* achieves high portability and performance quality by integration of real and virtual drums. *Airstic Drum* has a function to distinguish stroking virtual drums from stroking real drums, and it outputs digital sound only when the drummer strokes virtual drums. We have developed a prototype system and evaluated its effectiveness by actual use.

Keywords: drums, motion sensor, electronic music instruments

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan
² はこだて未来大学システム情報科学部
Faculty of System Information Science, Future University
Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan
³ 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda,
Tokyo 102-0076, Japan

1. はじめに

ドラムセットはスネアドラム, バスドラム, シンバルな

a) h-kanke@stu.kobe-u.ac.jp
b) yoshi@fun.ac.jp
c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
d) tuka@eedept.kobe-u.ac.jp

どさまざまな打楽器の組合せから構成される。ドラム演奏者は楽曲に合わせてそれらを自由に組み替え演奏を行う。しかし、個々の打楽器は大きく重いため持ち運びが不便であったり、設置に広いスペースを必要としたりする。

SPD-S [1] は複数の電子パッドを平面上に並べ、各パッドに固有の音色が割り当てられている省スペースな電子ドラムであり、これまでもドラムセットと電子パッドを組み合わせた演奏が実践されてきた。しかし、既存のドラムと異なるデザインであることからドラム演奏で培った演奏技術を活かすことが難しいといったことや、演奏者が好む位置に電子パッドが配置できないという問題がある。たとえば、実ドラムのスネアドラムの上に電子パッドを配置して演奏することは難しい。また、演奏者の周囲に電子パッドを並べることによって、視覚が遮られ他の演奏者との連携がとりにくいという問題もあげられる。一方で、物理的に打面のあるドラム楽器（以降、実ドラムと呼ぶ）だけではなく、近年では Wii Music [2] や WorldBeat [3], V-beat Air Drum [4], Virtual Xylophone [5], Lightning [6] などといったように、空間上の仮想打面を叩打することで擬似的にドラム演奏を行う仮想ドラムが提案されている。仮想ドラムは実打面を必要としないため設置場所の制限が少なく、出力音には電子音源が用いられているため、ユーザは豊富な音色を選択できる。しかし、空間上の仮想打面を叩打する仮想ドラムでは実打面を叩打したときのような物理的なフィードバックがないため、演奏者はスティックを振った後に自力でスティックを止める必要があり、正確なリズムでの演奏は難しい。また、ドラムロールやリムショットといった実ドラム特有の演奏法が再現できないため、演奏における表現力が低下する。したがって、実ドラムに慣れているドラム演奏者が仮想ドラムを使う場合、演奏性や表現力が著しく低下するため満足のいく演奏をすることは難しい。このように、仮想ドラムおよび実ドラムともにそれぞれ利点欠点があるが、ドラムセットの各打楽器は使用頻度に偏りがあるため、使用頻度の少ない打楽器に対して仮想ドラムを適用すれば性能の低下を最小限に抑えたいうえで可搬性を高められ、仮想ドラムと実ドラムの両者の利点をあわせ持たせることができる。

そこで、本研究では実ドラムおよび仮想ドラムの叩打動作を加速度および角速度の特徴量から識別することで実ドラムと仮想ドラムを統合する Airstic Drum を構築する。

Airstic Drum はドラムスティックにモーションセンサを搭載し、加速度および角速度の変化の違いから実ドラムの叩打および仮想ドラムの叩打をリアルタイムに識別する。また、仮想ドラムの叩打と識別したときのみ、仮想ドラムに割り当てた音色の音を出力することで、仮想ドラムと実ドラムの併用を実現している。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で設計について述べる。4章で実装について説明し、5章で評価実験

とその考察について述べる。6章で実運用とその考察について説明し、最後に7章でまとめを述べる。

2. 関連研究

近年、空間上の仮想打面を叩打することで擬似的にドラム演奏ができるさまざまな仮想ドラムが開発されている。仮想ドラムの事例として任天堂社の Wii Music はモーションセンサを搭載したコントローラを振る加速度によって叩打の認識を行い、ドラム音を出力する。ユーザはコントローラを振る角度を変えて音色を制御する。これらの仮想ドラムは打面を配置する必要がないため、場所の制約を気にすることなく演奏を楽しめる。しかし、実打面を叩打したときのような物理的なフィードバックがなく、ドラムロールやリムショットといった実ドラム特有の演奏法が再現できないため、演奏における表現力が低下する。

仮想ドラムを利用した場合における演奏性の低下も指摘されている。Patola [7] は実打面と空間中の仮想打面を叩打した場合における演奏性を評価しており、実打面を叩打した場合と比べて仮想打面を叩打した場合の方が正確なリズムで叩くことが難しいと報告している。Collicutt ら [8] は実ドラムと仮想ドラムを演奏したときの演奏者の動作変化量を調査した。アコースティックドラムや仮想ドラムなど4種類の異なる打楽器を用いて、シングルストローク（1振りですく動作）とダブルストローク（1振りですく動作）を行った実験では手の高さの変化は実ドラムおよび仮想ドラムとも同じような動きで、シングルストロークにおいては実ドラムも仮想ドラムと同じ演奏性であるが、ダブルストロークは仮想ドラムでは打面の跳ね返りが存在しないため演奏が低下したと述べている。このように、仮想ドラムは空間を叩打するという特性上、演奏性の低下は免れない。本研究では、実ドラムと仮想ドラムの叩打動作を識別し、使用頻度の少ない打楽器に対して仮想ドラムを適用することで、演奏性の低下を最小限に抑える。

3. 設計

1章で述べた持ち運びの不便さや設置スペースを必要とするといった実ドラムの問題および仮想ドラムを利用したときの演奏性の低下を解決するために、以下の方針をもとに Airstic Drum を設計した。

(1) 実ドラムの補助としての位置づけ：本研究で提案する Airstic Drum はあくまで実ドラムを構成する一部の打楽器を補完するためのものとして使うことを想定する。これまでにさまざまな仮想打楽器が提案されてきたが、実ドラムとの併用は想定していなかったため、ライブやコンサートでの演奏においては、仮想打楽器の可搬性よりも、実ドラムの高い演奏性、特に、アコースティックな打楽器が持つ豊かな音色が選ばれてきた。一方、実ドラムを構成する打楽器は使用頻度が異なる。ドラムセットの基本構成を例に

説明すると、ハイハットシンバル、スネアドラム、バスドラムは使用頻度の高い打楽器である一方で、シンバルやカウベルといったように楽曲中で数回しか使われない打楽器も存在する。このような使用頻度の低い打楽器を仮想的な打楽器に置き換えることによって、演奏性の低下や音色の劣化を上回る可搬性の利点が生まれると思われる。また、叩打のフィードバックという点においては、仮想ドラムは電子パッドに比べ性能は劣るが、本研究では、仮想ドラムは単打で使用し、使用頻度の少ない楽器に対してのみ用いることを想定し、ダブルストロークなど、複雑な奏法を必要とする楽器においては実ドラムを使用する。したがって、本研究では、このような連続した叩打は行わず使用頻度の低い打楽器の仮想化を対象とし、実ドラムと併用可能な仮想ドラムの構築をめざす。

(2) 演奏技術の転用：既存の複数の電子パッドを搭載した電子楽器は省スペースであり持ち運びも手軽であるが、電子パッドを導入することでドラム構成が変わるため、実ドラムの演奏に慣れた演奏者は新たなドラム構成のために訓練し直す必要がある。また、電子パッドを用いた場合、配置という観点においては演奏者が好む位置に電子パッドが配置できないという問題があるが、仮想ドラムでは実打面を必要としないため、演奏者の意図する箇所において叩打を行うことができ、電子パッドのように配置の制約がない。事例として実ドラムの上部に仮想ドラムを配置できるという点がある。電子パッドを用いた場合、物理的に打面が存在するため実ドラムと電子パッドを上下に並べることは難しいが、仮想ドラムを用いた場合、打面が存在しないことから打点を実ドラムの上部に配置できる。使用例としては実ドラムのスネアドラムの上部に仮想ドラムを配置し、タンバリンなどのスネアドラムと異なる音を出力し、叩打ごとに音色を使い分けて演奏できる。電子パッドを使う演奏と異なり、平面でスティックを移動させて音色を使い分ける必要がないため、よりスムーズな演奏が行える。また、電子パッドを用いることで物理的な打面が存在し、演奏者の周囲の視覚が遮られるという問題があるが、仮想ドラムでは打面が存在しないためこの問題を防げる。そこで、提案システムでは実ドラムで培った演奏技術をそのまま活かせるような設計をめざす。たとえば、図 1 に示すようにドラムセットにおいてクラッシュシンバルが存在しない場合、仮想的にクラッシュシンバルがあると想定して仮想打面を叩打するとクラッシュシンバルの電子音は出力される。また、図 2 に示すように実ドラムと仮想ドラムの叩打動作をそれぞれ識別しており、実ドラムを叩いた場合、仮想ドラムの電子音は出力されない。このようにすることで、ドラム演奏者は提案する仮想ドラムを使うための特別な訓練を必要とせず、既存の演奏技術を最大限活かせる。



図 1 仮想ドラムの使用例
Fig. 1 An example of virtual drums.



図 2 出力の制御
Fig. 2 Control of outputs.

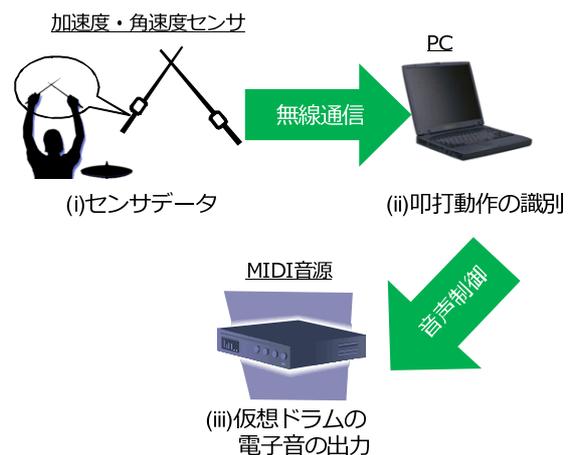


図 3 システム構成
Fig. 3 System structure.

3.1 仮想ドラムの構成

図 3 に Airstic Drum の構成を示す。提案システムは、無線通信機能を持つ加速度および角速度センサを搭載したドラムスティック、PC および MIDI 音源から構成される。

演奏中の加速度および角速度のデータは無線通信を用いて PC に送信される。PC は、受信したセンサデータから叩打動作を認識し、仮想ドラムを叩く動作と認識した場合のみ MIDI 音源へメッセージを送信し音声を出力する。

3.2 叩打動作の識別手法

提案する仮想ドラムは実ドラムとの併用を実現するために実打面の叩打と仮想打面の叩打を識別する必要がある。また、楽器演奏という特性上、叩打後に認識を行い電子音を発音すると、発音までにタイムラグが生じるためリズムに合わせた正確な演奏が行えないことからできるだけ早い段階で叩打を識別する必要がある。実ドラムの叩打において仮想ドラムの誤認識を防ぐために実ドラムのハイハット、フロアタムおよびライドシンバルを叩打したときの加速度および角速度データの解析を行った。図 4 は実ドラムの各打楽器および仮想ドラムを叩打したときにおける加速度および角速度の波形を示している。

ハイハットを叩打した場合の加速度の波形に着目すると、仮想打面と実打面を叩打した場合で加速度データの振舞いが大きく異なることが分かる。ハイハット叩打後のスティックの振動(図 4 上の枠線 (i))は実打面特有の現象であるため識別に有効であるが、音の出力までにタイムラグが生じる。本研究ではドラム演奏という特性上、叩打した瞬間に音声を出力する必要があるためスティックの振動だけを利用した識別は行わない。実ドラムの叩打における振動以外の部分に着目すると、実ドラムを叩いた場合はドラムスティックの跳ね返りを利用できることから振る動作を止める必要がないため、叩打する瞬間まで加速度は減速しないことが分かる。また、叩打した後はスティックの跳ね返りにより加速度が急に変化する。一方で、仮想ドラム

の場合、打面が存在しないことから自力でスティックの動きを止めるため叩打する直前に加速度が減速する。このため、加速度があらかじめ定めた閾値(以降、これを基準強度と呼ぶ)を超え、再度、基準強度を下回るまでの時間(以降、これを通過時間と呼ぶ)は両者で異なる。たとえば、基準強度を 4,000 mG としたとき、実打面を叩打した場合の通過時間は 5 ms~15 ms であるのに対し、仮想打面を叩いた場合は 25 ms~40 ms である。

したがって、基準強度の通過時間の違いを活用し、仮想ドラムと実ドラムのハイハットの叩打動作を識別する。また、仮想ドラムの叩打においてスティックを振り下ろす動作と振り上げる動作で加速度の波形の位相が反転(図 4 上の枠線 (ii))するため、通過時間だけで実叩打か仮想叩打かを判断する場合、スティックを振り上げた場合においても仮想ドラムの叩打と識別される。この問題を解決するために本研究では角速度データも同様に用いた。図 4 の枠線 (iii) で示すようにスティックを振り上げた場合における角速度データは振り下ろした場合と異なる。

フロアタムおよびライドシンバルの叩打に着目すると、図 4 の枠線 (iv) で示すようにスティックが実打面を叩打する直前の加速度データは仮想叩打した場合よりも変動が小さいことが分かる。これらの実叩打において、叩打する直前の加速度は基準強度に到達しないため、動作の認識に影響しない。叩打した後に加速度の振動が生じるが、実ドラムの叩打における基準強度の通過時間は仮想叩打の場合に比べ短いため、この特性は識別に影響しない。

また、仮想叩打において演奏者が意図するタイミングと発音タイミングにおける時間差を調査した。調査では 60 bpm, 90 bpm, 120 bpm のテンポでメトロノームのクリック音に合わせて、仮想ドラムの叩打を繰り返し行った。

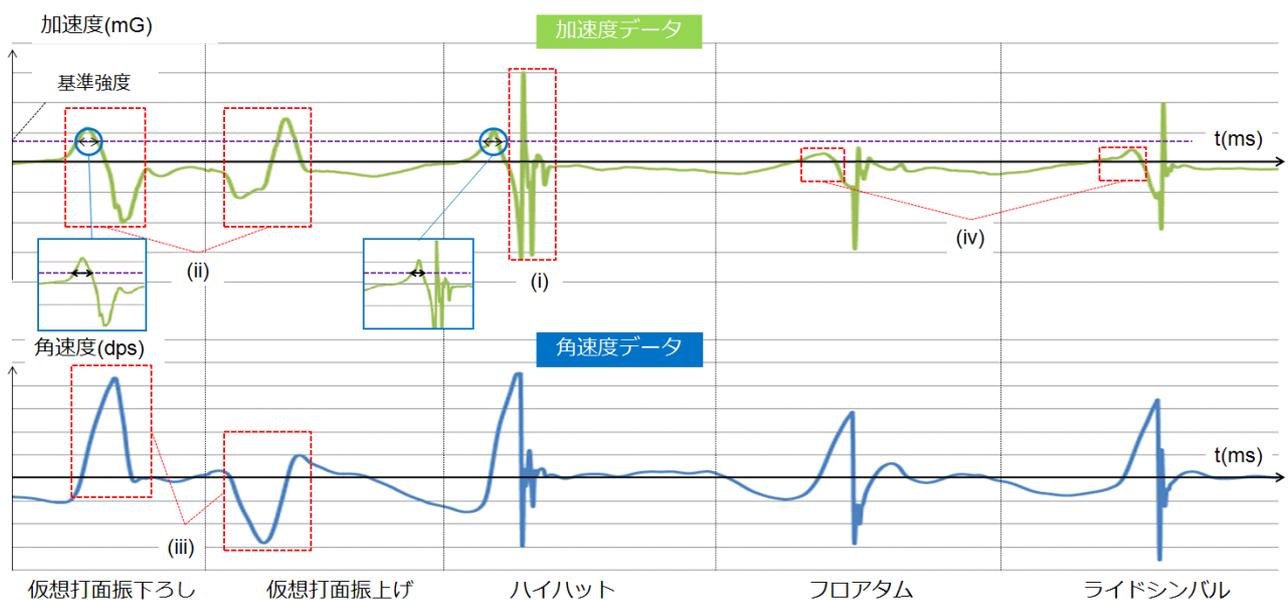


図 4 叩打時の加速度および角速度データ
Fig. 4 Acceleration and gyro data of stroking.

表 1 発音に関わる応答性

Table 1 The response of output sounds.

	60 bpm	90 bpm	120 bpm
応答性 (ms)	36.2	25.8	15.3

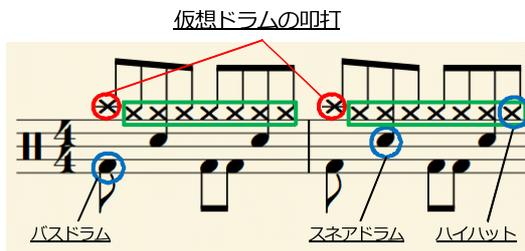


図 5 ハイハットを実叩打する場合の 8 ビート

Fig. 5 8 beat in stroking hi-hats.

クリック音出力されるタイミングを演奏者が意図するタイミングと見なし、クリック音の発音タイミングと MIDI 音源にメッセージが送信されるタイミングの時間差を計測した。仮想叩打はドラム演奏歴 10 年の著者が行った。表 1 に仮想叩打を 50 回行った場合のそれぞれのテンポにおける時間差の平均値 (ms) を示す。結果より、テンポにかかわらず、MIDI メッセージが送信されるタイミングからクリック音の発音タイミングまでの時間は 15 ms~40 ms であった。仮想ドラムの電子音を出力すべきタイミングより前の段階で認識を行い、演奏者が意図するタイミングと差が生じるが、これまでの実験や実運用において、演奏者が発音のタイミングに違和感を持たなかったため、システムでは意図的な遅延を用いずに使用している。意図的に遅延を起こす場合は、認識後の音声の出力タイミングを調整するための遅延を発生させる機能も使用する。メトロノームの周期に 5 ms から 10 ms 程度の誤差があることや、演奏自体にずれが生じていたこと、認識後から MIDI 音源から音声までに出力される時間を考慮すると、演奏者が意図するタイミングに近い時間で音声出力されていると考えられる。

3.3 閾値の選定

ドラム演奏において叩打動作は演奏者によって異なり同時に演奏はやり直しがきかないためできるだけ正確な識別が求められる。したがって、演奏者ごとに最適な基準強度と通過時間を設定する。適切な閾値を決定するために提案システムではあらかじめ演奏者の叩打時における加速度データを計測し、正しく識別されたときの基準強度と通過時間を閾値として設定する機能を持つ。たとえば、図 5 に示すように 8 ビートの先頭の拍にクラッシュシンバルを想定して仮想叩打を挿入するフレーズを 10 回行った場合における識別結果を表 2 に示す。基準強度および通過時間の組合せごとに、仮想ドラムの認識率 (左の値、仮想叩打した場合に正しく電子音出力された割合) および実ドラム

表 2 基準強度および通過時間を変化させたときの識別率

Table 2 Recognition ratio of each standard strength and through time.

基準強度(mG)	通過時間(ms)							
	10	15	20	25	30	35	40	
2000	90.0-54.3*	90.0-55.0	90.0-56.4	90.0-57.9	90.0-58.6	90.0-63.6	90.0-69.3	
2500	95.0-60.0	95.0-61.4	95.0-64.3	95.0-69.3	95.0-75.0	95.0-81.4	95.0-87.1	
3000	95.0-71.4	95.0-73.6	95.0-77.1	95.0-82.9	95.0-87.9	95.0-95.0	90.0-97.9	
3500	100-80.0	100-87.1	100-91.4	100-95.0	100-97.1	95.0-100	65.0-100	
4000	100-95.0	100-95.0	100-100	100-100	90.0-100	70.0-100	45.0-100	
4500	100-98.6	100-100	100-100	95.0-100	75.0-100	60.0-100	15.0-100	
5000	100-100	100-100	100-100	85.0-100	65.0-100	35.0-100	5.0-100	
5500	100-100	100-100	90.0-100	75.0-100	55.0-100	20.0-100	0-100	
6000	100-100	95.0-100	85.0-100	60.0-100	25.0-100	5.0-100	0-100	
6500	90.0-100	80.0-100	65.0-100	45.0-100	15.0-100	0-100	0-100	
7000	85.0-100	80.0-100	50.0-100	20.0-100	5.0-100	0-100	0-100	

* 仮想叩打の認識率-実叩打の認識率

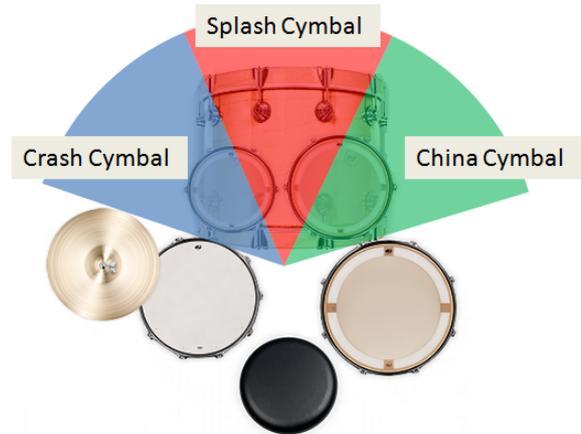


図 6 叩打位置の検出による音色拡張の例

Fig. 6 An example of extension of sounds in detecting stroking position.

の認識率 (右の値、実叩打した場合に電子音出力されなかった割合) を表 2 にそれぞれ示す。識別率が 100% になる閾値を見ると基準強度は 4,000 mG~6,000 mG、通過時間は 10 ms~25 ms の範囲となった。なお、提案手法では、基準強度と通過時間において識別率が 100% となる範囲の中間値を閾値として用いるようにした。この場合では基準強度を 5,000 mG、通過時間を 15 ms と設定する。

3.4 仮想叩打の音色拡張

図 6 に示すように演奏者は仮想叩打において叩打する方向を変化させることで、出力音を制御できる。提案システムは角速度データを用いることでスティックの方角を算出する。また、叩打位置の検出によって実ドラムの位置を計算できるため、識別率の向上を図れると同時に音色のバリエーションを増やせる。たとえば、図 6 に示すように、仮想ドラムとしてチャイナシンバルが配置されるエリアでは実ドラムのハイハットが配置されることはないため、誤認識を防げる。

3.5 音量の制御

仮想ドラムの表現力を高めるために、提案システムでは

仮想叩打による出力音量を制御する。一般的に大きい音を出したいときは、ドラムスティックを速く振り下げる。これは仮想叩打においても共通して見られる傾向で、振り下ろす速度の違いは、加速度のピーク値に反映される。そこで、加速度のピーク値をもとに出力音量を決定する。

3.6 誤認識における出力音の切断

提案システムはスティックを振り下ろす直前までの動作の変化に基づき、出力の認識を行う。この認識において、実ドラムの叩打において仮想ドラムの出力音が誤って出力された場合、演奏を妨げる可能性がある。したがって、提案システムは実ドラムの叩打において誤って出力された仮想ドラムの出力音を瞬時に切断する機能を持つ。3.2節に示すように、実ドラムを叩打した後に現れる加速度データの振動は特徴的な現象である。提案システムはこの特性を用いて誤って出力された出力音を切断する。この機能によって、仮想叩打における誤認識の影響を最小限に抑えられる。

4. 実装

著者らは図7の左側に示すように Airstic Drum のプロトタイプを実装した。図7の右側はプロトタイプのだらみスティックの内部を示している。プロトタイプでは、ドラム演奏で一般的に使われる木製のドラムスティックを用い、演奏者がドラムスティックを握ったときに指に接触しない位置にワイヤレステクノロジー社の加速度センサおよび角速度センサを内蔵する WAA-010 をスティックに搭載した。表3は WAA-010 のスペックを示す。出力音源は Roland 社の MIDI 音源モジュール SD-20 を使用した。PC 上のソフトウェアの開発は Windows 7 上で



図7 Airstic Drum のプロトタイプ
Fig. 7 A prototype of Airstic Drum.

Microsoft Visual C++ 2008 を使用した。図8はプロトタイプアプリケーションのスクリーンショットを示す。演奏者はアプリケーション上で基準強度および通過時間の値の設定や、仮想ドラムの電子音の選択、叩打におけるドラムスティックの方向と加速度・角速度データの波形の確認などが行える。

5. 評価

5.1 実験方法

実装したプロトタイプの有効性を示すために識別正答率を調査した。評価実験では、ドラム演奏においてよく用いられるリズムパターンの8ビートを演奏した場合における識別率を調査した。8ビートの演奏は先頭の拍にクラッシュシンバルを想定して仮想叩打を行い、それ以外の箇所はハイハット、フロアタム、ライドシンバルを実叩打する3種類の演奏データを調査した。図9はハイハットを実叩打して8ビートを演奏するフレーズの楽譜を示している。フロアタム、ライドシンバルの実叩打においても図9の緑色の枠線が示す箇所をフロアタム、ライドシンバルに置き換えて演奏する。図中の赤色で囲む箇所は実ドラムのクラッシュシンバルを想定して仮想叩打する。フレーズ中のスネアドラムおよびバスドラムは実叩打する。実験では、図9のフレーズを10回繰り返す。演奏テンポは100 bpm (beats per minute) で行った。被験者は2年から10年のドラム演奏歴を持つ大学院生および大学生の5名である。

表3 WAA-010 のスペック
Table 3 Specification of WAA-010.

通信規格	Bluetooth Ver 2.0 + EDR Class 2
通信速度	2.1 Mbps
通信距離	Up to 10 m
サイズ	39(W)×44(H)×12(D) mm
重さ	20 g
電源	230 mAh Lithium polymer battery

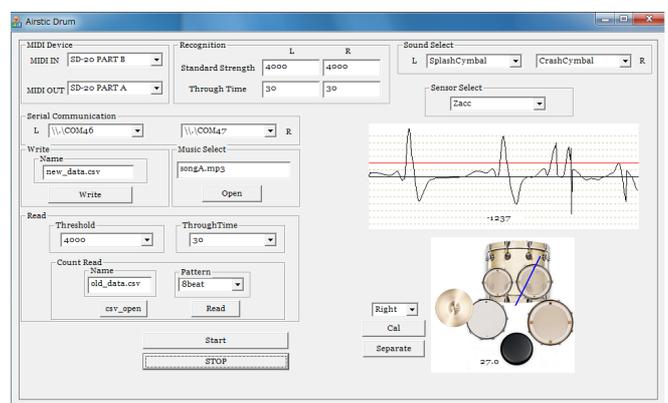


図8 アプリケーションのスクリーンショット
Fig. 8 Screenshot of the proposed application.

表 4 被験者および各打楽器における閾値

Table 4 The threshold value of each tester and each percussion instrument.

	被験者 A			被験者 B			被験者 C			被験者 D			被験者 E		
	HH	FT	RD												
基準強度 (mG)	5,000	4,500	4,500	4,500	3,500	3,500	3,000	3,000	2,500	2,500	2,500	2,500	2,000	2,500	2,000
通過時間 (ms)	25	25	25	20	20	15	30	30	25	25	25	25	20	20	20

表 5 各被験者の閾値を使用した場合における識別率 [%]

Table 5 The recognition ratio using the threshold value for each tester [%].

		被験者ごとの閾値			被験者 E の閾値		
		HH	FT	RD	HH	FT	RD
被験者 A	HH	100-100*	100-100	100-100	100-57.3	100-65.0	100-57.3
	FT	100-100	100-100	100-65.0	100-82.9	100-65.0	95.0-100
	RD	100-100	100-100	100-100	100-95.7	100-98.6	100-95.7
被験者 B	HH	85.0-100	70.0-100	70.0-100	100-70.7	100-75.0	100-70.7
	FT	95.0-100	90.0-100	90.0-100	100-97.9	100-100	100-97.9
	RD	95.0-100	90.0-100	90.0-100	100-93.6	100-100	100-93.6
被験者 C	HH	100-100	100-100	100-100	100-99.3	100-99.3	100-99.3
	FT	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100
	RD	95.0-100	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100
被験者 D	HH	85.0-99.3	85.0-99.3	85.0-99.3	85.0-98.6	85.0-99.3	85.0-98.6
	FT	95.0-100	95.0-100	95.0-100	95-100	95.0-100	95.0-100
	RD	95.0-100	95.0-100	95.0-100	95.0-99.3	95.0-99.3	95.0-99.3
被験者 E	HH	95.0-99.3	80.0-100	95.0-99.3	-	-	-
	FT	90.0-100	90.0-100	90.0-100	-	-	-
	RD	90.0-100	80.0-100	90.0-100	-	-	-

* 仮想叩打の認識率-実叩打の認識率

HH：ハイハット， FT：フロアタム， RD：ライドシンバル

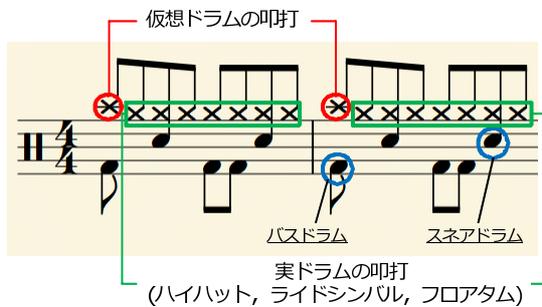


図 9 課題フレーズの譜面

Fig. 9 A score of challenge phrase.

被験者は提案システムを使用したことのない，ドラム演奏者が対象であり，被験者には，仮想ドラムの叩打を行い電子音が出力されるようになるまで仮想ドラムの練習時間を設けた．練習時間は各被験者で5分ほどであった．また，実験中，被験者は仮想ドラムの音声を聞きながら演奏を行った．

5.2 結果と考察

各被験者が図9のフレーズにおいて各打楽器（ハイハット，ライドシンバル，フロアタム）を実叩打した場合の識別率が100%となる最適な閾値を表4に示す．この表4で

示す被験者ごとの閾値を用いて各被験者および各打楽器を実叩打した場合における識別率を表5の左に示す．また，異なる被験者の閾値を用いた場合の識別率を比較するために，基準強度が最も低かった被験者Eの閾値を用いて実叩打した場合における識別率を表5の右に示す．

表5の各値は，仮想ドラムの認識率（左の値，仮想叩打した場合に正しく電子音が出力された割合）および実ドラムの認識率（右の値，実叩打した場合に電子音が出力されなかった割合）を示している．

表5で示すように，被験者Aの閾値を用いて被験者Aが演奏した場合，すべての打楽器において識別率が100%であることが分かった．また，演奏者Eの閾値を用いて演奏した場合，被験者Aや被験者Bでは実叩打の誤認識がみられた．これは被験者Aや被験者Bの閾値において総じて基準強度が被験者Eに比べ高いことと，被験者Eの閾値において通過時間が短いことが要因としてあげられる．被験者Eにおける演奏データを検証したところ，被験者Eは仮想叩打においてスティックの振りが小さいことが分かった．演奏者間における叩打動作の特性の違いから，演奏者ごとに最適な閾値が存在することが分かる．また，被験者B, C, D, Eではハイハットを実叩打したときの閾値を使用した場合に実叩打の誤認識がみられた．フロアタムおよ



図 10 イルミネ神戸 2010 における実運用

Fig. 10 Actual performance at Illumine Kobe in 2010.

びライドシンバルを実叩打する場合に比べ、8ビートのように連続してハイハットを叩打する場合、1回のストロークでハイハットのエッジとトップを叩打する奏法（アップダウンストローク）がよく用いられる。この演奏法より叩打動作が変化しやすいフレーズにおいては閾値に偏りが生じる。したがって、さまざまな演奏フレーズに対するデータの解析が求められる。被験者 B や被験者 D では仮想叩打における未認識がみられた。これは仮想叩打したときのスティックの振りが小さく加速度が基準強度を超えなかったことが要因であり、叩打ごとにおける閾値の設定を変更することで未認識を防げる。

6. 実運用

図 10 に示すように 2010 年 12 月に行われたイルミネ神戸 2010 [9] のイベントステージにおいてプロトタイプを実運用した。ステージでは、プロトタイプを用いて、エレキベースとのセッションによるパフォーマンスを行った。パフォーマンスではセンサを固定した 2 本のスティックを用い、仮想叩打した場合にはスティックごとに異なる電子音を出力した。実ドラムと仮想ドラムを併用することで、打楽器の補完や音色の拡張といった新たなパフォーマンスを行えた。一方で、仮想ドラムを叩打した場合において、仮想ドラムの音出力されないという未認識が生じた。この原因としては、本番での演奏は、緊張や興奮から叩打動作が平常時と異なることが考えられる。本番演奏におけるセンサデータを解析し、平常時との共通点や相違点を明らかにし、汎用性の高い認識アルゴリズムを提案していきたい。また、2012 年 9 月に行われたエンタテインメントコンピューティング 2012 では Airstic Drum のデモ展示を行い、実際にシステムを約 30 名の来場者に使用してもらっ

た。来場者のうちのドラム経験者は 3 名であり、仮想ドラムの発音における遅延は感じなかったという意見が得られた。

7. おわりに

本研究では、実ドラムと仮想ドラムとの併用を実現する Airstic Drum を構築した。提案する Airstic Drum は従来の単体でしか演奏できない仮想ドラムに対し、仮想ドラムと実ドラムの叩打動作を加速度および角速度の特徴量から識別することにより両者の統合を可能にした。これにより、実ドラムの叩打において仮想ドラムの電子音を出力させないため、演奏者は通常のドラム演奏と異なる特殊な動作を行うことなく実ドラム演奏で培った技術を活かせる。提案システムは仮想叩打の音色拡張のための叩打位置の検出を行った。また、演奏者は叩打動作を変化させることで仮想ドラムの音量を制御できる。プロトタイプシステムの評価結果では、演奏者間において最適な閾値を用いることで実ドラムと仮想ドラムを併用できることが明らかになった。

今後の課題としては、さまざまなドラム演奏のパターンを対象とした評価実験、視覚や触覚を用いた仮想叩打のフィードバックの提示などがあげられる。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）、文部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）（20240009）および文部科学省科学研究費補助金若手（B）（21700198）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] SPD-S, available from (<http://www.roland.com/products/en/SPD-S/>).
- [2] Wii Music, available from (<http://www.wiimusic.com/launch/>).
- [3] Borchers, J.O.: WorldBeat: Designing a Baton-Based Interface for an Interactive Music Exhibit, *Proc. International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI97)*, pp.131–138 (Mar. 1997).
- [4] Silverlit V-beat AirDrum, available from (<http://www.silverlit.com/product.04.htm>).
- [5] Patola, T.M., Kanerva, A., Laitinen, J. and Takala, T.: Experiments with Virtual Reality Instruments, *Proc. International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME05)*, pp.11–16 (May 2005).
- [6] Lightning, available from (<http://www.buchla.com/lightning3.html>).
- [7] Patola, T.M.: User Interface Comparison for Virtual Drums, *Proc. International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME05)*, pp.144–147 (May 2005).
- [8] Collicutt, M., Casciato, C. and Wanderley, M.M.: From Real to Virtual: A Comparison of Input Devices for Percussion Tasks, *Proc. International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME09)*, pp.1–6 (June 2009).
- [9] Illumine KOBE 2010, available from (<http://cse.eeddept.kobe-u.ac.jp/illumineKOBE2010/main.html>).



菅家 浩之

2011年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。同年より同大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程。現在に至る。



竹川 佳成 (正会員)

2003年三重大学工学部情報工学科卒業。2005年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。2007年より神戸大学大学院工学研究科助教，CrestMuseプロジェクト共同研究員を兼任。2012年より公立ほこだて未来大学システム情報科学部助教。現在に至る。2011年にはMIT Media Lab.にて客員研究員を兼務。博士(情報科学)。音楽情報科学，ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事，2005年には同機構事務局長を兼務。2004年には英国ランカスター大学客員研究員を兼務。博士(工学)。アクティブデータベース，ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE，電子情報通信学会，日本データベース学会，ヒューマンインタフェース学会各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師，1996年同専攻助教授，2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授，2004年神戸大学電気電子工学科教授となり，現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM，IEEE等，8学会各会員。