

ヴァーチャルドラムの作成 (行列とユークリッド距離の利用)

北海道大学情報科学研究科 外山 淳

学生実験について

本校工学部情報エレクトロニクス学科コンピュータサイエンスコースでは 3 年生の後期に学生実験Ⅱという科目が用意されている。この科目は3~5人で一つのグループを構成し、グループ毎に自由な課題を設定して半期(16週)をかけて取り組む科目である。当期はあるグループがヴァーチャルドラムの作成に取り組んだため、その中から主に数学的な要素を取り出してヴァーチャルドラムの概要と共に報告する。

ヴァーチャルドラムを作成するという発想に至った動機は手軽にドラムの練習をしたいという点にある。ドラムセットを自宅に置き、練習する際には非常に大きな音が発生し、家族や近所に迷惑がかかってしまう。この欠点を補うために電子ドラムが発売されている。これは電子ピアノの延長線上にある考え方に基づくものである。パッドとよばれるパーツをドラムセットに似せて並べはするものの、それぞれのパーツ自体からドラムの音やシンバルの音が出るのではなく、ヘッドフォンを通してドラムの音を聞く楽器である。しかしながら、これも物体を叩くことには違いがないため、隣室への音漏れは生じてしまう。また、ドラムセットとほぼ同じサイズの大きさであるため、部屋に置く際には場所がとられるという欠点がある。

これらの欠点を補い、加えてヴァーチャルであるが故に可能となる付加機能を持ったヴァーチャルドラムの作成を行なった。

Wii リモコンとドラムセット

任天堂社製の家庭用ゲーム機に Wii という機械がある(図 1 右)。ゲームの操作にあたっては Wii リモコン(図 1 中央)というコントローラを用いる。この Wii リモコンはゲーム機本体と Bluetooth により接続する。そのため、原理的には Bluetooth の通信機能を有した装置であれば、この Wii リモコンと接続することができる。すなわち、パソコンが Bluetooth の通信機能を持っていれば、この Wii リモコンをデバイスとして利用可能となる。Wii リモコンは Bluetooth の機能だけでなく、赤外線受信部や加速度センサ、角速度センサなどを内蔵している。

また、Wii バランスボード(図 1 左)と呼ばれるコントローラを Wii の操作

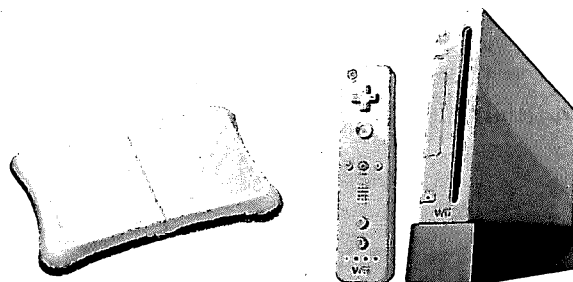


図 1 家庭用ゲーム機 Wii. 左からバランス Wii ボード, コントローラ, 本体

に用いる場合もある。これはユーザーが台の上に乗ってゲームの操作を行うためのものであり、四隅に圧力センサを内蔵した体重計と考えるとほぼ近い。

また、一般的なドラムセットの構成を図2に示す。それぞれのパーツは図中の番号の順にハイハット(HH)、ライドシンバル(RC)、スネアドラム(SD)、ハイタム(HT)、ロータム(LT)、フロアタム(FT)、クラッシュシンバル(CC)、バスドラム(BD)と呼ばれる。

実際の演奏時には二本のスティックでタムやシンバルを叩きながら、右足でペダルを踏むことによりバスドラムを叩き、左足ではハイハットと呼ばれるシンバルの開閉を行う。そこで、ヴァーチャルドラムでは二本のスティックの代わりに二つのWiiリモコンを用い、足の操作にはWiiバランスボードを用いることとする。

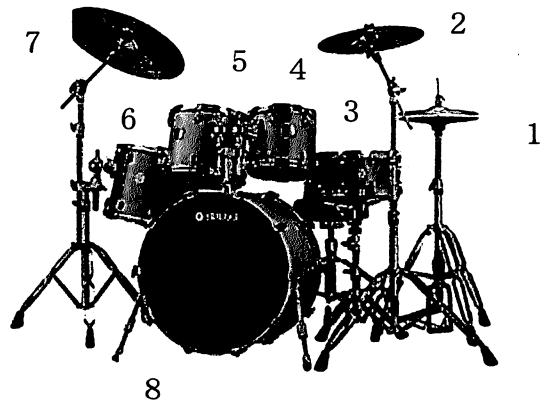


図2 ドラムセットの外観

ヴァーチャルドラムを作成するためには

ヴァーチャルドラムを作成する上では 1) いつドラムを叩いたか、2) どの程度の強さで叩いたか、3) どのドラムパーツをたたいたか、の三つの情報が揃わなくてはならない。そのためには、コントローラの動きを知る必要がある。

Wiiリモコンには加速度センサと角速度センサが内蔵されているため、理論上は初期位置が決まると、角速度の積分や、加速度の二階積分により、それ以後のWiiリモコンの動きが全てわかる。しかしながら、実際には誤差が大きいため、静止状態から動作を起こし、また静止状態に戻ったとしても、計算上は速度が零にならないことが頻繁に生じる。そこ

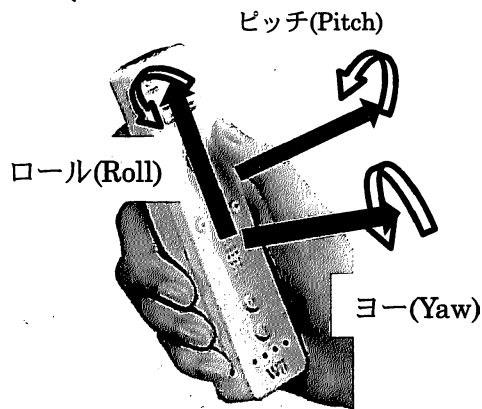


図3 コントローラとヨー、ピッチ、ロールの関係

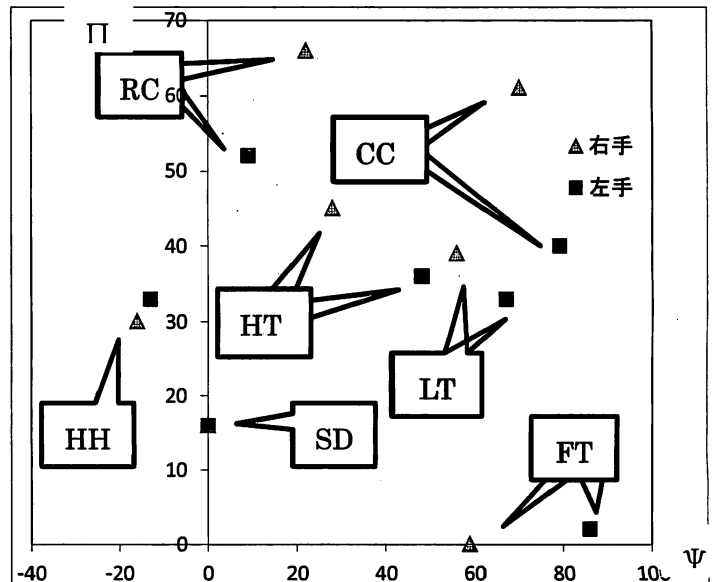


図4 Ψ-Π平面上におけるドラム要素の配置

で、このヴァーチャルドラムでは、Wii リモコンの位置情報を得ることはせずに、コントローラの傾きに注目して音を鳴らすことを考える。

Wii リモコンには三種類の回転方向が定義されている(図3)。これらのうち、ヨーとピッチのみに注目してヴァーチャルドラムを作成する。以下では時刻 t におけるヨー、ピッチ、ロールの角速度をそれぞれ ψ_t, π_t, ρ_t とする。

ドラムはいつ、どんな大きさでたたかれたか

「たたく」動作には手首の動きが伴うことに注目した。Wii リモコンを持ってドラムを叩く動作をした際に手首の動く方向は、Wii リモコンのピッチ方向の回転運動にほぼ対応する。スティックを振り下ろし、叩いたのち、振り上げて止める一連の動作におけるピッチの時間変化は正弦関数のようなふるまいとなる。ピッチ方向の角速度は徐々に増加した後、低下に転じ、叩いた瞬間に角速度は正の値から負の値へと転じる。そこで、「たたく」動作の判定には時刻 t において $\pi_t \pi_{t+1} < 0$ が満たされた場合に「たたいた」と判定する。また、「たたいた」時刻前後の角速度の差分をとることにより近似的に加速度を求め音量に対応させる。

どれがたたかれたのか

どのドラムパーツが叩かれたかは前述のように実際の位置情報を取得することは難しいため、Wii リモコンによりたたく動作をした際のヨー、ピッチ方向の角度を用いてどのドラムパーツが叩かれたかを判断することとした。その上で、ヨー-ピッチ平面におけるドラムパーツとの対応関係を知らなくてはならないため、実際のドラムセットを前にして一人の被験者がWii リモコンを持って叩く動作をした際のデータを採取した。その結果を図4に示す。

リモコンを用いて叩く動作を続ける限り、Wii リモコンの向きは時々刻々と変化する。ドラムを叩いた瞬間のヨーとピッチを得るためには、この時々刻々変化する座標系を追従する必要がある。Wii リモコン上の時刻 t における局所座標系 (X_t, Y_t, Z_t) と時刻 $t-1$ における局所座標系 $(X_{t-1}, Y_{t-1}, Z_{t-1})$ 関係は

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_t^T \\ \mathbf{Y}_t^T \\ \mathbf{Z}_t^T \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \frac{\pi_t}{N} & -\sin \frac{\pi_t}{N} \\ 0 & \sin \frac{\pi_t}{N} & \cos \frac{\pi_t}{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\rho_t}{N} & 0 & -\sin \frac{\rho_t}{N} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \frac{\rho_t}{N} & 0 & \cos \frac{\rho_t}{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\psi_t}{N} & -\sin \frac{\psi_t}{N} & 0 \\ \sin \frac{\psi_t}{N} & \cos \frac{\psi_t}{N} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^N \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{t-1}^T \\ \mathbf{Y}_{t-1}^T \\ \mathbf{Z}_{t-1}^T \end{bmatrix}^T$$

により随時更新される。ただし、 N は十分大きな自然数である。これにより、「叩いた」という動作が判定された際には $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, y_3)^T$ とし、ピッチとヨーを Π, Ψ としたとき

$$\Pi = \arccos\left(\frac{y_2}{\sqrt{y_1^2 + y_2^2}}\right)$$

$$\Psi = \arccos\left(\frac{y_1}{\sqrt{y_1^2 + y_2^2}}\right)$$

により得られる。

局所座標系の時刻 0 と時刻 t におけるなす角がわかり、ピッチとヨーが得られる。この値を前述のヨー-ピッチ平面上の点とみなし、各ドラムパーツに対応した点との間でユークリッド距離を計算して、最も距離が小さかった点に対応した音を鳴らすこととする。すなわち、

$$D = \arg \min_{j=1,2,\dots,7} \left((\Psi_j - \Psi)^2 + (\Pi_j - \Pi)^2 \right)$$

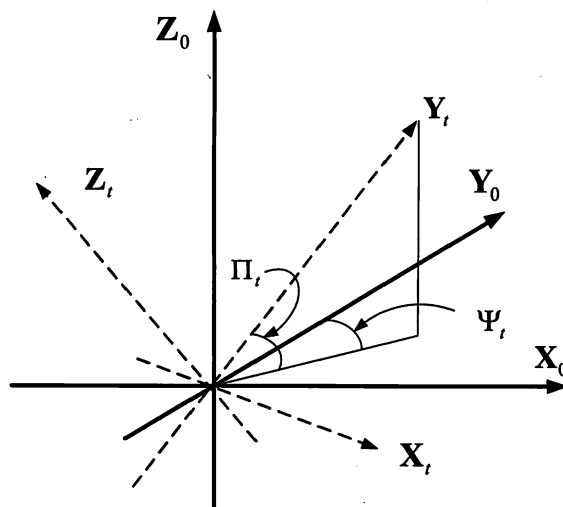


図5 局所座標系と得られる角度ヨー、ピッチの関係

となる。局所座標系と求められる角度 Π, Ψ の関係を示したのが図5である。

システムの構成

システムの構成を図6に示す。Wii リモコン同士の干渉を防ぐため、一つのWii リモコンに対して1台のパソコンを用いる。バランスボードとWii リモコンの間に干渉はないため、バランスボードはどちらかのパソコンに接続する。2台のパソコンはMIDI Dispatcher と呼ばれる機械に接続し、さらにそれはMIDI 音源と接続して、最終的にスピーカーにつないでいる。

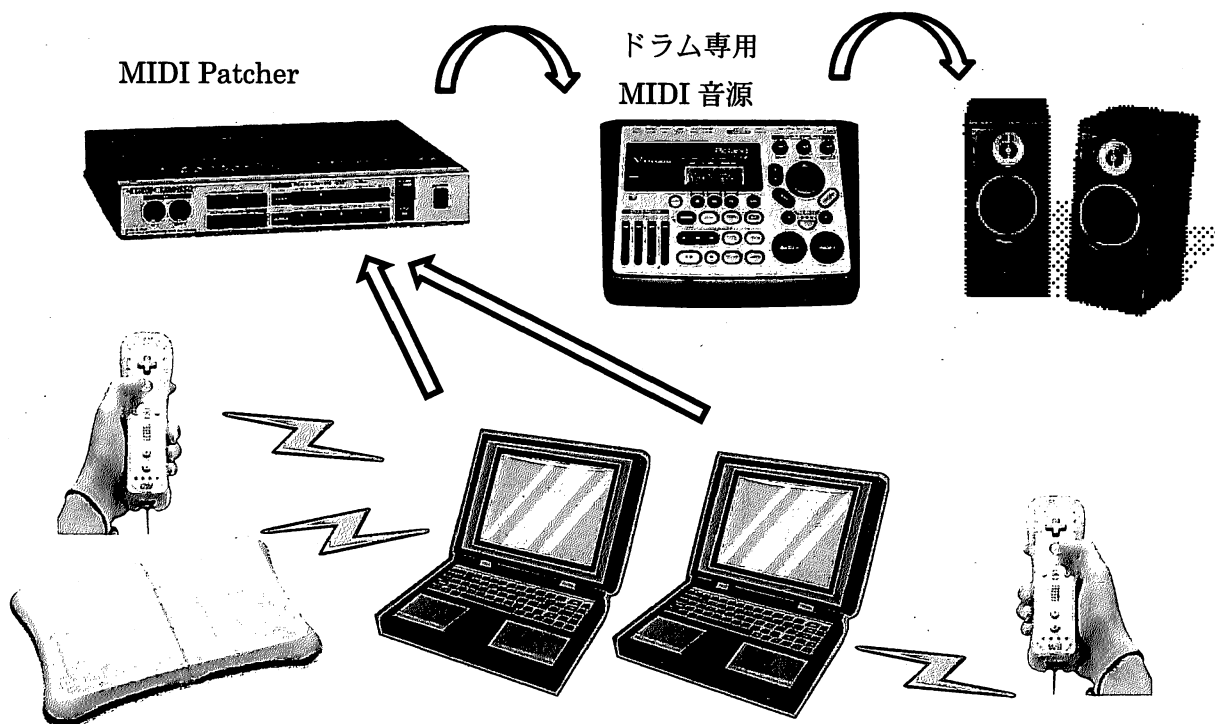


図6 システムの全体像