

ハンドベル自動演奏装置の製作

奥田佳史*

On the Development of the Handbells Performance Robot

Yoshichika OKUDA

電子情報技術科・総合制作テーマとして「ハンドベル自動演奏装置の製作」の立案及び指導を行った。本稿ではテーマ設定意義と狙い、システム構成、要素技術、及びその成果について報告する。本システムはクライアント-サーバモデルとして実現されており、midi シーケンサを実装したクライアントと 1 サーバに 2 個のハンドベルを搭載した 14 台のサーバを TCP/IP 接続した構成となっている。通信プロトコルにはリアルタイム制御に適した UDP を採用し、複数の人間がハンドベルを演奏しているのと遜色のない演奏効果を持たせることを可能とした。4 声編曲の“さくらさくら”，”花(滝廉太郎作曲)“等の演奏曲目を目標として製作に取り組み、その演奏能力は近畿ポリテックビジョン 2015 作品展示部門において、来場者投票による最優秀作品賞受賞として認められた。

Keywords : 自動演奏, ハンドベル, クライアント-サーバモデル, UDP, midi シーケンサ, ソレノイド

1. はじめに

機械が楽器を自動制御して人間に匹敵する演奏を可能にすることは人類の一つの夢であるが、まだ実現するに至っていない。歴史的にはロールピアノがその始まりであり、コンピュータの誕生により自動制御の可能性が飛躍的に向上した。今回は電子情報技術科の総合制作の技術的範囲内で作成可能な演奏ロボットを開発したのでその報告を行う。

一般に音楽を作るためには一定の可聴範囲の周波数を生成するための振動源が必要となる。

アコースティック音を主な振動源とその操作方法を大きく分類する次の 3 つになる。

- ① 弦を弾く、擦る (弦楽器系)
 - ② 空気の気中共鳴を発生させる (管楽器系)
 - ③ 木、金属等を叩く (打楽器系)
- 楽器として成立するためにはさらに
- ④ 音階を創れること
 - ⑤ 各音に表情を付加できること

の 2 点が必須となる。この二つの機能は振動源に対するコントローラとみなすことができる。一般に楽器は音源+コントローラとしてモデル化できる。

音源としてはコンピュータのデジタル演算から DAC を通して任意の波形をリアルタイムに生成する方式があるが、最終的にスピーカーを通す必要があることから音響特性を犠牲にするため今回はアコースティックに限定した。

2. アコースティック制御

今回アコースティック音源として採用したのはハンドベルである。ハンドベルは最初に述べた楽器成立の条件を満たす打楽器系の楽器である。筆者は四

国職業能力開発大学校における開発課題として、リコーダー四重奏ロボットとびギター自動演奏ロボットの開発を行ったが、両テーマとも生産機械システム技術科の加工能力が必要である。

リコーダーはふいごまたはコンプレッサーによる息の生成装置が必要であり、ギターには押弦位置を微調整できる保持装置が必要となる。今回は電子情報技術科の単独テーマであることから、メカの複雑さは最小であり、かつリアルタイム制御できる唯一の対象楽器としてハンドベルを選択した。アクチュエーターとして既存のソレノイドを採用することによりドライバ回路の製作だけでベルを叩くことが可能となる。またハンドベルの支持台としてはレゴブロックを用いることで機械加工の必要性をなくした。

ハンドベルはシステムの動作検証が目的であるため本格的なものは必要なく、キョーリツコーポレーション Bell Chorus MB20K/MU 及びその拡張キットを採用した。

2.1 システム概要

midi シーケンサを用いてハンドベルの自動演奏装置を製作する。ハードウェアは 27 個のハンドベルと、ソレノイドを LEGO ブロックで固定するモジュールを作成する。また、ソレノイドを駆動させるためのドライバ回路、mbed 同士を繋ぐ通信モジュールも合わせて作成する。midi シーケンサは mbed で実装し、midi データを読み込み、演奏に必要なデータを選択してモジュールへ引き渡すプログラムを実装する。図 1 にハンドベル自動演奏装置の全体図を示す。

* 電子情報技術科

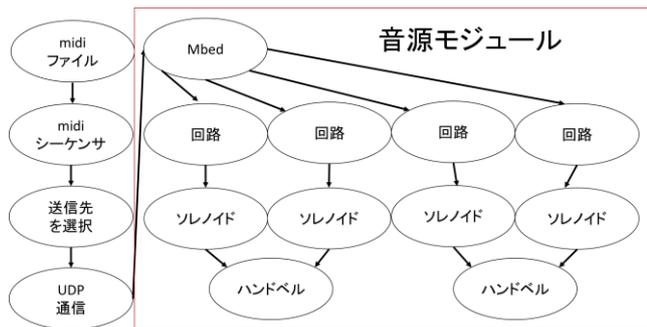


図 1 ハンドベル自動演奏装置の全体図

ハードウェアの実装には LEGO ブロックを使用し、ソレノイド 2 つとハンドベルを固定した。ハンドベル 2 音と回路、mbed を 1 つのモジュールとし、これを 14 個(27 音)作った。

動作方法は midi シーケンサから音源モジュールへ信号が届いた場合にソレノイドを駆動しハンドベルを叩き鳴らす。

仕様

音域：27 音(F3-G5) 2 オクターブと 2 度

クライアント：midi シーケンサとして演奏情報をサーバに送信する。mbed を使用

サーバ： 1 サーバにつき 2 個の連続する音階のハンドベルの演奏を制御する。mbed を使用

通信プロトコル：UDP 通信

通信パケット：UDP ヘッダ、音階 (2Byte)、音量 (2Byte)

出力ポート：mbed の出力ポート (p17~p20) を使用。

演奏能力：トレモロと和音の演奏，PWM 制御による音量制御

仕様を満たすために必要となる要素技術は電子情報技術科のカリキュラムにすべて含まれており、ハードウェアとソフトウェア開発のバランスの取れたテーマ設定となっている。

2.2 ハンドベル支持装置

ハンドベルは LEGO ブロックで上から吊り下げるように固定し、ソレノイドが横から叩く仕様となっている。これは叩いた後のハンドベルが横に動き、音の余韻が心地よいものになったためこの固定方式を採用した。しかし、吊り下げることによりハンドベル内部に付いていた振り子が振動し不規則に揺れることがあった。内部の振り子の振動と相殺してハンドベルの揺れが遅くなり、結果的に音が途中で止まってしまう問題が発生していた。この問題に対しては中の振り子を取り去ってしまうことにより対処した。図 2 にハンドベル支持装置のレゴブロック設計を示す。図 3 にはハンドベルを取り付けた上体でのハンドベル支持装置を示す。

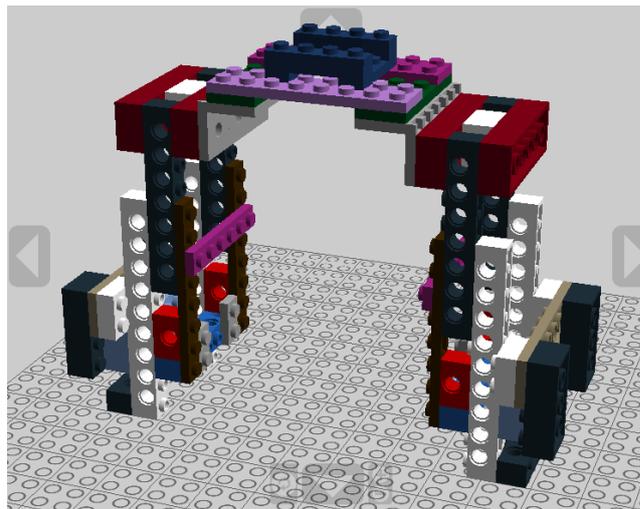


図 2 ハンドベル支持装置レゴブロック

2.3 ドライブ装置

mbed からの信号は微弱なものであるため、ソレノイドを駆動させるために一般的なドライバ回路を作成し、これを用いることで mbed の信号でソレノイドを駆動した。

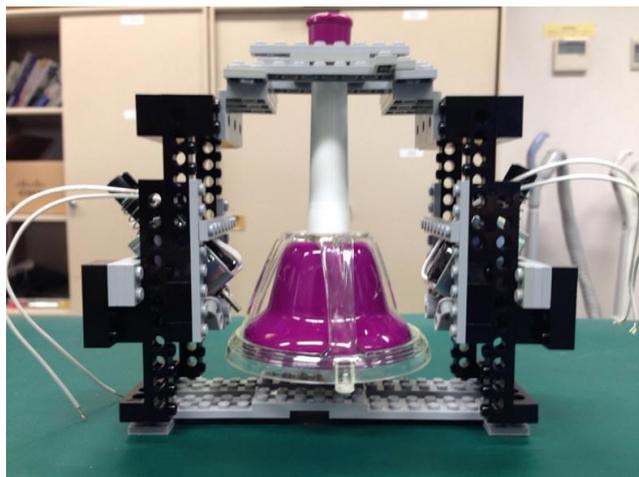


図 3 ハンドベル支持装置

各モジュールは 6V 電圧, 2A 電流で駆動させている。電圧は mbed が 4.5~9.0V で動作し、ソレノイドが 6V で常時動作することができるため、ソレノイドに合わせて 6V を使用している。電流は 1 つのモジュールにおいてソレノイドが最大 2 つ同時に駆動し、その際の必要電流が 1.2A 前後だったため、これより大きい 2A を使用している。

2.4 音源モジュール

今回はハンドベルを 27 音使用するためモジュールを 14 個製作したが、ハンドベルの数が奇数のため 1 モジュールだけ 1 音になる。



図4 ハンドベル自動演奏装置全景

1モジュールに対して2音にする理由は、今回使用できる mbed の出力ポートが4つであることに加え、1つのハンドベルにソレノイドを2つ割り当てているためである。また、ハンドベル1音に対してソレノイドを2つ割り当てる理由は、交互にハンドベルを叩きトレモロを再現するためである。図4にハンドベル自動演奏の装置全景を示す。

2.5 midi シーケンサ

midi データは図4に示すようなバイトストリームとして作成されている。

midi シーケンサをC言語で実装するためには、midi データをバイトストリームみなし、音データの構造体定義とストリームのポインタ操作が必要となることからC言語の実践的課題として適している。midi ファイルを構成するバイトストリームはヘッダチャンクとトラックチャンクの構成される。図5にmidi バイトストリーム例を示す。

ADDRESS	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
00000000	4D	54	68	64	00	00	00	06	00	00	00	01	01	E0	4D	54
00000010	72	6B	00	00	01	6A	00	F0	05	7E	7F	09	01	F7	00	FF
00000020	51	03	07	A1	20	00	FF	58	04	04	02	18	08	00	FF	59
00000030	02	02	00	00	FF	59	02	02	00	00	FF	51	03	0F	42	40
00000040	00	B0	07	64	00	B0	0A	40	00	B0	5D	00	00	B0	5B	00
00000050	00	B0	0B	6E	00	C0	00	00	00	B0	0B	6E	00	B0	0B	6E
00000060	B0	0B	6E	00												
00000070	B0	0B	6E	00	B0	0B	6E	00	90	47	58	83	30	80	47	00
00000080	30	90	47	58	83	30	80	47	00	30	90	49	58	86	60	80
00000090	49	00	60	90	47	58	83	30	80	47	00	30	90	47	58	83
000000A0	30	80	47	00	30	90	49	58	86	60	80	49	00	60	90	42
000000B0	58	83	30	80	42	00	30	90	43	5C	83	30	80	43	00	30
000000C0	90	49	61	81	58	80	49	00	18	90	47	64	81	58	80	47

図5 midi バイトストリーム例

ヘッダチャンクは先頭から順に、チャンクタイプ(4Byte)・ヘッダチャンクのデータ長(4Byte)・midi のフォーマット(2Byte)・トラック数(2Byte)・分解能(2Byte)が格納されている。分解能とは4分音符の長さを決めるもので、実際に演奏する音の長さを計算する場合に使用するデータである。

トラックチャンクは先頭から順に、チャンクタイプ(4Byte)・トラックチャンクのデータ長(4Byte)・演奏データ(可変長)となる。

- ・ ノートオン(0x90) ノートナンバー(1Byte)・音量(1Byte)・音の長さ(1~4Byte)のデータが順に

格納されており、音を演奏する。今回のシーケンサではこのデータを音源モジュールへ送信して演奏する。

- ・ ノートオフ(0x80) ノートナンバー(1Byte)・音量(1Byte)・次の音までの長さ(1~4Byte)のデータが格納されている。対応する音階を指定して音を消すことができる。また、音量の数値は常に0になる。次の音までの長さがここに格納されているので、今回製作したシーケンサではここで指定時間待つようプログラムを組んでいる。
- ・ テンポ(0xFF5103) 3Byteのデータがテンポとして格納されている。ここで得たデータと分解能を用いて実際の音の長さを計算する。

midi シーケンサの流れは、midi ファイルを読み込む、ヘッダチャンクを読み込む、トラックチャンクを読み込む、1byteずつ演奏データを走査する、メタイベントを感知した時にイベントを解決する、ノートオンを感知した時に指定の音を鳴らす、ノートオフを感知した時に指定の時間待つ、と、これをデータの終端まで繰り返す。

3. 通信プロトコル

通信プロトコルにはリアルタイム制御にてきしているUDPを採用した。サーバが複数になるため、クライアント側で13個のモジュールに対して通信を行う必要がある。このとき音名毎に固定IPアドレスを割り振った。表1に対応表を示す。

サーバ側は送られてきた信号からどちらのハンドベルを鳴らすのかをパケット情報から判断し、ソレノイドに出力する。

4. 動作検証

演奏を効果的に行うにはハンドベルが同時になることによるハーモニーが必要となることから、4本マレット用に編曲されたマリンバ曲をもとにハンドベル音域に収まるように編曲した楽譜を演奏対象とした。UDP送信による和音の再現には問題ないことを確認した。検証に用いた曲は「さくらさくら」(作者不詳)、「春」(滝廉太郎作曲)、「夏は来ぬ」(小山作之助作曲) [1]の3曲である。

5. まとめ

サーバに接続された機器をUDPプロトコルによって人間の聴覚レベルに対してはリアルタイムに制御できることが実証することができた。総合制作としてC言語、ネットワークプログラミング、アナログ回路製作等の知識を実践的に使用し学生の理解を深めることができた。本テーマを熱心に取り組み担当してくれた現生産情報システム技術科1年生の松岡健裕君と広瀬黎明君に感謝します。また本課題の

成果として近畿ポリテックビジョン 2015 作品展示部門において、来場者投票による最優秀作品賞の受賞として認められた。

表1 音名と IP アドレスの対応表

音名		IP アドレス
F3	F#3	192.168.1.53
G3	G#3	192.168.1.55
A3	A#3	192.168.1.57
B3	C4	192.168.1.59
C#4	D4	192.168.1.61
D#4	E4	192.168.1.63
F4	F#4	192.168.1.65
G4	G#4	192.168.1.67
A4	A#4	192.168.1.69
B4	C5	192.168.1.71
C#5	D5	192.168.1.73
D#5	E5	192.168.1.75
F5	F#5	192.168.1.77
G5		192.168.1.79

6. 今後の展開

演奏装置の基盤となるアコースティック音源が完成したことから、今後革新的なヒューマンインタフェースを接続することによって、人と対話的に演奏をリアルタイムに制御することが可能となる。非接触型3次元ポインティングデバイスを活用することにより、両手の指先の動きだけで演奏の開始と終了、演奏中のテンポのゆらぎ、ダイナミックスの変化を演奏装置に伝えることにより更に人間の感性に近づいた演奏が可能となる。

文献

[1] 「4本マレットのためのソロ・マリンバ50曲集」(全音)