

パターン描画と連結拡張機能を持つ マトリクスLEDユニットを用いた電子オルゴール

秋田 純一 (正会員)

金沢大学 理工学域 電子情報学類

Music Box using Matrix LED Unit with Drawing and Extending Capabilities

Junichi Akita

School of Electric and Computer Engineering, Kanazawa University

akita @ is.t.kanazawa-u.ac.jp

概要

本稿では、著者が開発してきた、LEDを情報入力と表示の双方に用いることによるパターン描画機能とユニット間通信による連結拡張性を備えるマトリクスLEDユニットLED Tileを拡張した、オルゴール型の簡易型電子楽器LED Tileオルゴール(LTO)について述べる。LTOは、光源でマトリクスLED上に描画したパターンによって演奏パターンを設定でき、またユニットの接続によって時間方向とオクターブ方向に演奏パターンを拡張可能である。ユニット間の接続部はマグネット型コネクタを用いることでユニットの着脱を容易とし、またユニットが備える加速度センサによる振る、傾けるなどのインタラクティブな機能設定操作も可能である。

Abstract

In this paper, an electronic music box (the orgel) system, based on the LET Tile System the author has been developing, which has the abilities of pattern drawing by light on dot matrix LED and exteing by connecting multiple units. In this system, the user can define the music score by drawing dot patterns on dot matrix LED, and each drawn dot represents the music note, whose the horizontal and the vertical positions are correspinging to the time line and the music scale, respectively. The unit has the connectors with magnet for both physical and electrical connections. Both the time line and the music scale can be extended by connecting the units in the horizontal and the vertical directions, respectively. The unit can also be configured by the user's motion, such as shaking for clear patterns or tilting for chaning play speed.

1 はじめに

正方形や立方体などの形状のブロック状の構成単位を組み合わせて種々の形状を構成するシステムは、LEGO などの構造物のみのものが古くから玩具や教材として広く用いられていた。ところが近年の電子技術や通信技術の進歩や普及により、基本ブロックにマイクロコントローラ (MCU) や LED 等の表示デバイス、各種センサ等を搭載し、またブロック間の通信機能を持たせてインテリジェント化したものが現れてきた。このようなインテリジェントなブロックでは、それを組み合わせて構成される構造物の動作を動的に制御したり、プログラムしたりすることが実現できるようになり、ブロック型システムの用途が大きく広がってきた。また近年の、いわゆるフィジカルコンピューティングの発展と普及によって、このようなインテリジェントなブロック型システムのますますの多様な進化が期待される。

著者は、格子状に小型 LED が配置されたマトリクス LED ユニットの、受光素子と表示素子の両者に用いた、可視光によるパターン描画機能をもち、ブロック間通信機能による連結拡張性と加速度センサによるインタラクション機能をもつ平面状ブロックユニット LED Tile[1, 2] を開発してきた。本稿では、この LED Tile システムを拡張し、描画パターンによって演奏パターンを設定可能であり、また複数ユニットの接続によって時間軸・音階の拡張が可能なオルゴール型の簡易型電子楽器 LED Tile オルゴール (LTO) について述べる [3]。

2 関連研究

楽器の楽曲入力のインタフェースに関しては多くの研究があるが、その中で、格子状のパターンを楽曲の入力に用いる試みとして TENORI-ON[4] がある。TENORI-ON は、 16×16 個の LED ボタンを備え、ボタンを押すことによって設定する LED の点灯パターンによって楽曲の入力を行う電子楽器である。またループやレイヤ表示等の機能も備え、楽曲の合成などにも電子楽器の機能が拡張されている。その一方で、独特の演奏方法を採用しているため、初心者が直感的に使用することは困難である。また複数のデバイスを連結拡張する使い方はできず、単体での使用を想定しており、楽譜の直接入力と複数デバイスの接続による楽曲生成の拡張を目指す本研究とは目的が異なる。

Block Jam[5] は、 16×16 画素の LED ディスプレイと相互通信機能をもつブロック型のデバイスからなるシステムであり、これは各ブロックに演奏手順を設定し、それらの接続形態によってシステム全体の楽曲の生成を行うものである。各ブロックの機能はダイアルによって選択するインタフェースをもつが、各ブロックは楽曲生成の中での機能単位である点が、各ブロックを楽譜の一部として楽曲生成を目指す本研究とは異なる。

Victor ら [6] は、仮想空間内に配置する、触覚フィードバック機能を持つ各種操作ユニットを用いた新たな

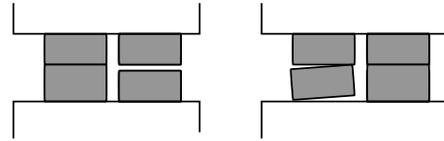


図 1: 2つのマグネットを用いる端子の接触不良状態

作曲システムを提案している。これは仮想空間内での楽曲生成・演奏を目指すものであり、実空間でのユーザ操作によって楽曲生成を目指す本研究とは異なる。

Pin&Play&Perform[7] は、自由に配置できる各種操作ユニットを用いた作曲・演奏システムである。このシステムは作曲・演奏のためのインタフェースデバイスが、平面上に自由な配置が可能であることを特徴とするものであり、楽譜そのものを操作する本研究とは異なる。

3 LED Tile オルゴールの設計

本節では、オルゴール型の簡易型電子楽器 LED Tile オルゴール (LTO) の設計と実装について述べる。

3.1 ハードウェア設計

LTO のハードウェアは、著者が開発してきたパターン入力機能と連結拡張機能を持つマトリクス LED ユニット “LED Tile” [1] を基礎とする。LED Tile は、以下のような特徴をもつ。

- LED を表示デバイスだけでなく光センサとしても利用し、レーザーポインタや LED ライトによるパターン描画機能をもつ
- 上下左右に物理的に連結でき、ユニット間の相互通信機能をもつ
- マトリクス LED と同一サイズの基板とし、マトリクス LED が隙間なく敷き詰められる
- 加速度センサを備え、振る・傾けるなどの操作が可能

この LED Tile を用いて、オルゴール型電子楽器 LTO を実現するためには以下の機能が不足している。

1. ユニット単体での動作のための独立した電源
2. ユニットの容易な着脱機構
3. 音を発するデバイス

これらの機能を補うため、LED Tile に以下のような拡張を加える。

まず 1. に対しては、ユニット裏面にコイン型 Li ボリマ電池 (3.7V, 110mAh) を備えることで、ユニット単体での動作を可能とした。

次の 2. に対しては、マグネットを用いるコネクタ機構を設計した。ユニット単体で電源を持つため、ユニッ

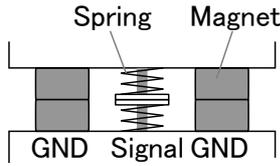


図 2: マグネットとバネを用いる端子の構造

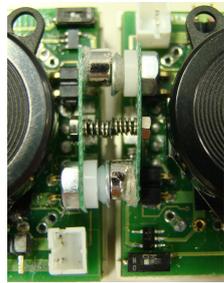
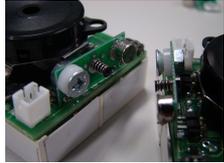


図 3: ユニット間のコネクタ部

ト間の相互通信に必要な信号線は通信信号 (Signal) と基準電位 (GND) の 2 本となる。ただしこれら 2 本の信号線の端子のそれぞれをマグネットとすると、2 個のマグネットの高さのズレや実装時の傾き等 (図 1) により、安定な接触を確保することが困難である。そこで Apple 社の MacBook などの充電端子 MagSafe の構造を参考に、図 2 のように一方の端子に小型のバネを用いる端子を設計した。実際に試作した端子とユニット間の接続の様子を図 3 に示す。

最後の 3. に対しては、 piezo素子を用いる圧電ブザーを用いる。ただし LED Tile で用いているマイコン (Cypress PSoC CY8C29466) の未使用ピンが不足するため、図 4 のようにモード切替スイッチ用のピンと兼用の接続として圧電ブザーを High レベルに保

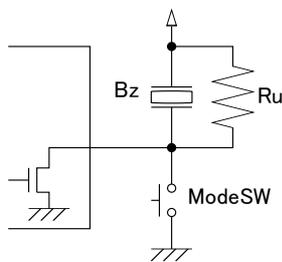


図 4: 圧電ブザーとモードスイッチの接続回路

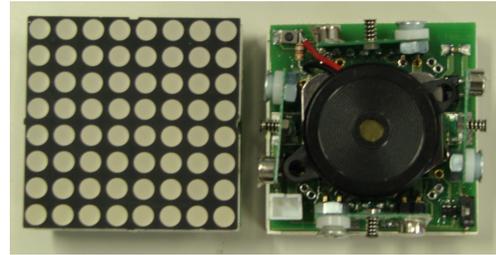


図 5: 試作したマトリクス LED オルゴールユニット LTO

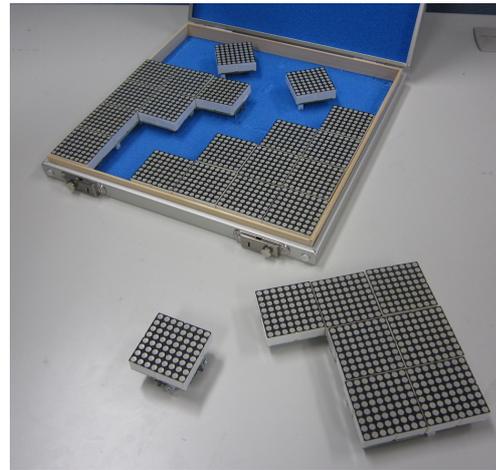


図 6: LED オルゴールユニット LTO を接続した状態

つ抵抗 ($1k$) を付加し、また音を鳴らすときの駆動をオープンドレイン型として音が鳴っているときにスイッチを押した場合でもショートが起こらないような回路構成とした。

以上のような機能拡張とそれに伴う回路構成の変更により、LTO の機能を実現するためのハードウェア要件を満たすことができた。実際に試作した LED Tile オルゴールユニット LTO を図 5 に、またそれらを複数接続した状態を図 6 に示す。

3.2 楽曲情報の入力・表示方法の設計

LED Tile オルゴール LTO では、 8×8 個の LED があるため、これを情報入力・表示デバイスとして用いる。楽曲の表現としては、最も単純な「時間軸に沿った音程の変化」を対象とし、これをマトリクス LED のパターンに対応させることとする。すなわち、機械式オルゴールの突起をもつ回転円筒の構造を考え、図 7 のように、マトリクス LED の横軸を時間軸、縦軸を音程に割り当てる。ここで演奏パターンを入力単純化のため、時間軸の 1 ドット分は単位演奏時間 δT とし、また縦軸の音程は、下から順にド、レ、…シ、ド

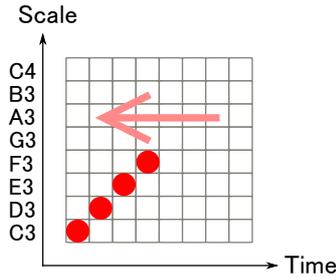


図 7: マトリクス LED への楽曲情報の割り当て

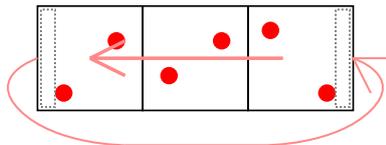


図 8: 複数ユニットの接続による時間軸の拡張

の 1 オクターブ分を割り当てる。なおパターン描画は、各 LED に光をあてるごとに点灯・消灯をトグルするようにすることで、描画パターンの修正を可能とする。

ユニットに楽曲情報を描画パターンとして入力後、演奏開始を指示すると、ユニットの左端の列のパターン (Sound Play Zone と呼ぶ) が点滅し、そのパターンに応じた音階の音が発声される。なお複数の音階に対応するパターン描画がある場合は、和音の発声とみなし、時分割発声による擬似的な和音を発声する。描画パターンは右から左に流れていき、また左端のパターンは右端に戻るようにすることで、楽曲のリピート演奏が可能となる。この演奏速度、すなわちパターンが流れる速度は、3.3 節で述べるような本体に対する操作によって変更できるようにする。

ただし LTO ユニット単体では 8 音分の楽曲しか演奏できないため、LTO がもつ複数ユニットの連結拡張性を活用し、演奏可能楽曲の拡張を実現する。

まず時間軸方向の拡張は、複数の LTO を横方向に接続することで実現する。なおユニット間の相互通信によって、ユニット間をまたがった楽曲の演奏を可能とする。またタイムアウトによってユニット接続の有無検出を伴うユニット間の通信プロトコルを実装することで、図 8 のように、連結されたユニットの端どうしが相互につながっているようにリピート演奏できるようにする。

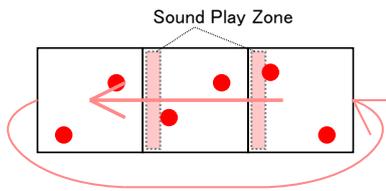


図 9: スレーブユニットでの発声による輪唱

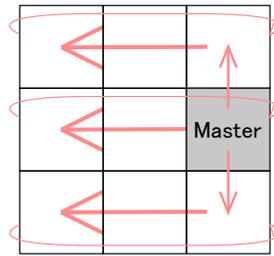


図 10: 連結拡張された複数ユニットの全体の動作

また楽曲の演奏は、1 つのユニットに対して演奏開始を指示することで、そのユニットが「マスタ」となって他のユニット (「スレーブ」) に対してコマンドを発行して連結されたユニット全体の動作を制御する構成をとる。この際、他のスレーブとなるユニットのうち、動作前に 3.3 節で述べる方法で「発声スレーブモード」に設定されたユニットでも、マスタと同様に流れてきた楽曲パターンに応じて Sound Play Zone において発声するようにする (図 9)。これにより、輪唱のような演奏も可能となる。

また音程方向の拡張としては、複数の LTO を縦方向に接続することで実現する。すなわち上側に接続されたユニットでは 1 オクターブ上の音程を、また下側に接続されたユニットでは 1 オクターブ下の音程を発声する。

ユニットの連結拡張と制御コマンドの流れ、および発声オクターブの関係を図 10 に示す。

なお「スレーブ」として動作するユニットは、4 方向の区別はなく、「マスタ」ユニットとの位置関係によって、時間軸と音程軸を定義するように動作する。

LED Tile システムは、マトリクス LED を表示デバイスに用いているため、輝度階調表現が可能であり、また原理的には、複数色のマトリクス LED を用いることで複数色の入力・表示も可能である。マトリクス LED の可視光による入力では、受光感度が極めて低いために輝度濃淡情報の感知は困難であるが、光をあてるごとに表示濃度が変わるなどの機能の実装は十分に可能である。これらの入力・表示機能を活用することで、通常の機械式オルゴールでは実現が困難な音の強弱や音色などの入力・演奏を実現することも可能である。

3.3 ユニット本体の機能設定操作の設計

LTO ユニットは 3 軸加速度センサを備えるため、これを用いた機能設定などの操作を実装する。

まず演奏前の状態は、すべてのユニットは「スレーブ」状態にあるが、ユニットを持って軽く振る操作によって「発声スレーブモード」に設定され、マトリクス LED の周囲を点滅表示する。なお「マスタ」からの演奏開始後は、マスタとの位置関係に応じて、時間軸上の左端の列のみを点滅表示させる。

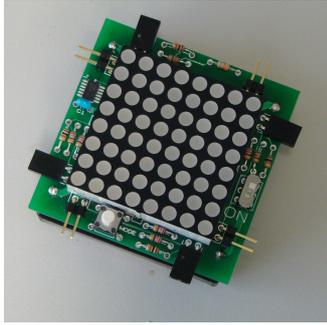


図 11: 電子工作キット版の LED Tile オルゴール

またユニットを 1 秒間ほど振り続けると、描画パターンをクリアし、ユニットを左右に傾けると、「マスタ」として動作するときの演奏の速度を変更できるようにする。その設定された演奏速度は、数秒間表示される 1 列分の LED の点滅位置によって確認できるようにする。

連結接続されたユニットでの楽曲の演奏を開始するためには、1 個のユニットを「マスタ」として設定する必要があるが、この設定は、複数のユニットが連結接続された状態で行う必要があるため、振るなどの加速度センサを用いるインタラクションは適切ではない。そこでパターンを用いて「マスタ」の設定・解除を行うこととする。具体的には、 8×8 のマトリクス LED のうちの 4 隅のうちの 1 か所を、光をあてることによって点灯・消灯を 2 回繰り返すことで、「マスタ」に設定されるようにする。同様に「マスタ」の解除は、演奏中に「マスタ」ユニットの LED に光を当てて行う。

4 動作・運用と教材への展開

試作した LTO を 1×4 個、および 3×3 個連結した状態での演奏動作を行ったところ、正常動作を確認した。なお時間軸方向の連結可能なユニット数は、両端がつながるように制御する通信プロトコルにおいて、接続されたユニットの有無を検出するタイムアウト処理の待ち時間によって制限されるが、現在はこれを約 2ms に設定している。またユニット間の通信 (パケット送信と ACK 返信) にかかる時間は約 1ms であるため、描画パターンのスクロール時間が 500ms ごと、すなわち毎分 120 拍 (120bpm) の場合で原理的には 500 個程度までは接続可能であることになる。また音程方向の連結可能なユニット数は、圧電プザーの発声可能な周波数帯域によって制限され、8 段程度が事実上の上限となる。

またこの LTO と同等の機能を持ち、初心者でもはんだ付けが容易な DIP パッケージの部品を用いた電子工作キット版の LED Tile オルゴール (図 11) も試作した。またこれを 2011 年 8 月に小学 4 年生 ~ 中学 2 年生を対象として開催されるワークショップ「金沢大学ものづくり教室 2011」の題材として用い、学習

教材としての効果の検証を行った。このワークショップは、午前と午後の 2 回、各 15 名のグループに対して 2 時間 30 分実施し、機能の説明と製作作業、および完成した LED Tile オルゴールを使った遊びを通じた動作原理の理解などを予定していた。実際のワークショップでは、製作作業に予定を大幅に超えた時間を要し、大半の参加者が時間内に完成させるのが精一杯であったため、完成した LED Tile オルゴールを使った遊びとそれを通じた動作原理などの理解にはほとんど時間をとることができなかった。そのため、LED Tile オルゴールの学習教材としての効果の検証は今回のワークショップではできなかったが、今後、製作のあとの遊び・学習の時間を十分に確保した、学習教材としての効果の検証を合わせたワークショップの実施を計画する予定である。

5 まとめ

本稿では、著者が開発したマトリクス LED ユニットを受光素子と表示素子の両者に用いることでパターン描画機能と連結拡張性、加速度センサによるインタラクション機能をもつ平面状ブロックユニット LED Tile を拡張し、描画パターンによって演奏パターンを設定可能で、また複数ユニットの接続によって時間軸・音階の拡張が可能なオルゴール型の簡易型電子楽器 LED Tile オルゴールについて述べた。今後は、濃淡表示や複数カラー化を含めたインタラクティブ性の拡張を行い、またワークショップ実践を通じた効果の検証を通して、より電子楽器・玩具としての完成度を高める予定である。

参考文献

- [1] 秋田: パターン入力と連結拡張が可能なインタラクティブマトリクス LED ユニット, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.2, pp.733–736, 2011.2.
- [2] 秋田: LED Tile Block: パターン描画による機能設定可能な相互接続型ブロック型デバイス, インタラクション 2011 論文集, pp.699–702, 2011.3.
- [3] 秋田: パターン描画と連結拡張機能を持つマトリクス LED ユニットを用いた電子オルゴールインタテインメントコンピューティング 2010 予稿集 (USB メモリ), 02B-04, 2011.10.
- [4] Y.Nishibori and T.Iwai: TENORI-ON, Proceedings of the 2006 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-06), pp.172–175, 2006.
- [5] H.N.Dunn, H.Nakano, and J.Gibson: Block Jam: A Tangible Interface for Interactive Music, Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-03), pp.170–177, 2003.

- [6] V.Zappi et al.: Virtual sequencing with a tactile feedback device, Proceedings of the 5th International Conference on Haptic and Audio Interaction Design, pp.149–159, 2010.
- [7] N.Villar et al.: Pin & Play & Perform: a rearrangeable interface for musical composition and performance, Proceedings of the 2005 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-05), pp.188–191, 2005.

秋田 純一



1993年東京大学工学部電子工学科卒業．1998年東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了．博士(工学)．1998年金沢大学工学部電気・情報工学科助手．2000年公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科講師．2004年金沢大学大学院自然科学研究科電子情報科学専攻講師．2008年同准教授．2011年同教授．集積回路とその応用システムに興味を持つ．電子情報通信学会，情報処理学会，映像情報メディア学会会員，芸術科学会会員，ヒューマンインタフェース学会会員．