

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

秋 田 純 一†

マイコン (MCU) や表示デバイス, センサデバイスとブロック間通信機能を持つインテリジェントなブロックを接続してシステム全体を構成し, その動作を制御やプログラムできるブロック型のシステムは, その応用分野も含めて広く研究されている. しかしそれらの基本ブロック自身の機能は固定であり, これがブロック型システムの可能性の制限要因の一つとなる.

本稿では, 著者が開発した, 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るパターン描画・表示機能と, ブロック間通信機能による連結拡張性, およびインタラクション機能をもつブロック型デバイスをベースとし, デバイスへのパターン描画によってブロック自体の機能を動的に設定・再構成可能な平面状ブロックデバイス, およびその応用例について述べる.

LED Tile Block: Connectable Block Device with Function Definition by Pattern Drawing

JUNICHI AKITA†

Block systems with intelligent building blocks with microcontroller, display, sensors, and communication units for building entire system are widely studied, whose global behaviour can be controlled or programmed. However, the functions of each building block can not be dynamically changed, which may restrict the possibility of block systems.

In this paper, the block device system with the matrix LED unit which has the functions of pattern drawing, display, communication, and interactions is described, which enables the user dynamically to configure the functions of each block by drawing, as well as its applications.

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. 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^{1)~5)}. そのようなインテリジェントなブロックでは, 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.

一方, 各ブロック自体の機能が, 動作前または動作中に設定・再構成が可能であるならば, システムとしての動作・挙動が大きく増すだけでなく, 物理的には

1 種類のブロックから多種多様な機能を持つブロックを動的に作成できるため, システムとしての再利用性や応用可能性が大きく広がることが期待される.

著者は, 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 Tile⁶⁾を開発してきた. 本稿では, この LED Tile システムを拡張し, パターン描画によって機能を動的に設定・再構成可能な平面状ブロックデバイス LED Tile Block の設計と実装, およびその応用例について述べる.

2. LED Tile Block の設計と実装

2.1 デバイスの設計方針

まず LED Tile Block の設計方針として, 以下の 3 つを設定する.

- (1) ブロックのパターン描画 (入力) 機能とパターン表示機能 (出力) をもつこと
- (2) 各ブロックが電源やコントローラをもち, 自立

† 金沢大学
Kanazawa University

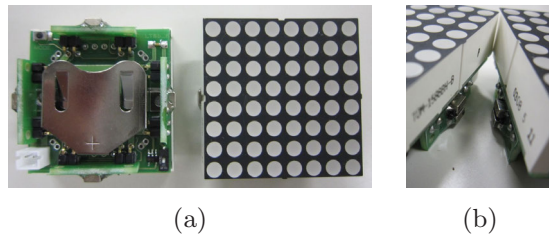


図 1 LED Tile Block の単位デバイス (a) と、その連結部分 (b)。

的に動作すること

- (3) 隣接ブロック間の相互通信機能を持ち、着脱が容易であること

(1) はブロックの機能を独立かつ動的に設定、再構成可能とし、またブロックに設定された機能の表示や動作中の情報提示のために必要となる。(2) は各ブロック単体で動作をするために必要となる。(3) はブロックデバイスの接続によって動作するシステムを構築するため、およびその操作性を高めるために必要である。

2.2 LED Tile Block のハードウェア

著者は、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、レーザーポインタや赤色 LED 等の光源によるパターン描画が可能であり、またブロック間通信機能による連結拡張性をもつ平面状ブロック型デバイス LED Tile⁶⁾を開発してきた。本稿で述べる LED Tile Block の設計に際しては、この LED Tile に以下の 2 点の改良を加えた。

- ブロックデバイスごとに独立した電源を持ち、単体動作を可能とする
- ブロックの着脱を容易とするために、連結部分にマグネットを用いる

開発した LED Tile Block を図 1 に示す。電源には充電可能なボタン型の Li ポリマ電池を用い、連続で 5 時間程度の単体動作が可能である。またブロック間の接続に必要な端子は GND 端子と双方向通信端子の 2 個であることから、ブロック間の連結部分には $3 \times 3 \times 5\text{mm}$ の強力ネオジム磁石 2 個を用いてブロックの着脱を容易としつつ、平面上に配置した状態での接続動作時の十分な機械的強度を確保している。なおブロック間接続端子の磁石が 2 個であるため、磁石の高さの精度がそれほど高くなくても、端子が接続しない問題は発生せず、バネで端子の接触を確保するスプリングコンタクトの機構は必要ない。

2.3 描画によるブロック機能設定アルゴリズム

LED Tile Block へのパターン描画は、レーザーポインタ等を用いてユーザが手描きで行うため、描画されるパターンは図 2 のように曲がりや途切れなどをもつ不完全なパターンとなる。また LED Tile Block

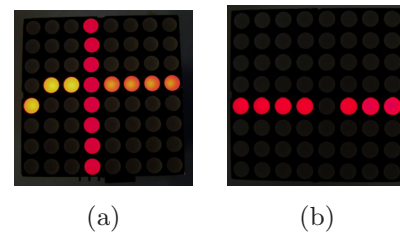


図 2 不完全な描画パターンの例。(a) 十字、(b) 横線。

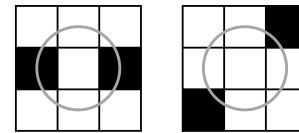


図 3 途切れたパターンの補完処理。丸印の画素を補完する。

4	3	2
5	0	1
6	7	8

図 4 8 近傍画素 x_i の添え字 i の定義

のマトリクス LED の画素数が 8×8 と非常に少ないため、描画されたパターンは低解像度の荒い図形となる。そのため、LED Tile Block に対する機能設定を、描画するパターンの認識で行うアルゴリズムは、低解像度な不完全画像であることを考慮する必要がある。また LED Tile Block に搭載される MCU の性能の制約から、境界探索やパターンマッチング等の計算負荷の高い処理は避けるべきである。

そこで描画されたパターンに対して、(1) 補完処理、(2) 特徴点抽出、(3) 形状認識の段階を経て、描画されたパターンを認識するアルゴリズムを構築する。

まず (1) 補完処理としては、一般には膨張・収縮、または細線化処理が用いられる。しかし LED Tile Block 上の描画パターンは画素数が 8×8 と極めて少ない低解像度な画像であるため、描かれた線分同士が近くに存在する場合が多くあり、通常の膨張処理ではパターンがつぶれてしまう。そこで、描画パターンは基本的に「線」(直線、曲線)であることを考慮し、図 3 のように、垂直水平または斜め方向に一直線上に途切れている画素のみを補完する処理を行う。これにより、途切れたパターンのみを効率よく補完することができる。

続く (2) 特徴点抽出は、描画パターンが「線」であることを考慮し、線分の端点を特徴点として抽出し、その数や位置を描画パターンの認識に用いることとする。線分の端点は、次式で定義される二値画像の 8 近傍連結数 $N_C^{(8)}$ が 1 となる点と定義できる。

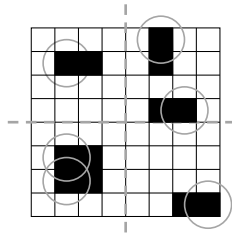


図 5 連続する端点の消去アルゴリズム. 図中の丸印の端点を残す.

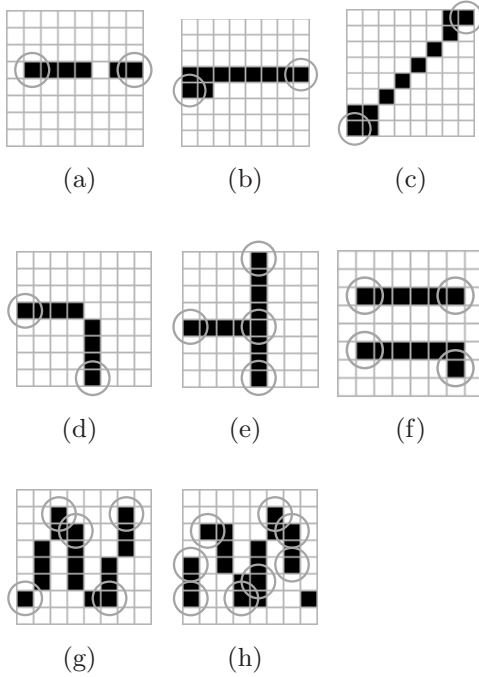


図 6 実際に描画したパターンと、求められた端点 (丸印) の位置の例

$$N_C^8 = \sum_{k=1,3,5,7} \{\bar{f}(x_k) - \bar{f}(x_k)\bar{f}(x_{k+1})\bar{f}(x_{k+2})\}$$

ここで $f(x_i)$ は画素 x_i の値 (1 または 0), $\bar{f}(x_i) = 1 - f(x_i)$ とし, 図 4 で定義される添え字 i は 8 で除した余り (mod 8) とする. この $N_C^8 = 1$ となる画素を特徴点とした 8×8 画素の平面を求める.

この特徴点は, 元のパターンで 2×2 画素でかたまった領域などでは連結して求められるため, 端が 2×2 画素分に太くなった線分などでは意図しない特徴点が求められてしまう. そこでパターンの特徴点が描画領域の端付近に存在するという仮定をおき, 4 近傍で連結している特徴点に対して, 図 5 のように, 端に近いほうの特徴点のみを残す処理を行い, 本質的な特徴点のみを残すとする.

なお LED Tile Block は 3 軸加速度センサを備えるため, ブロックに設定した機能の消去は, ブロックを振る操作によって行うこととする.

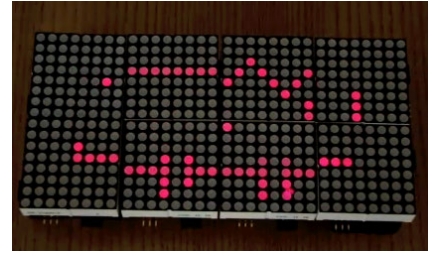


図 7 LED Tile Block 上に実装した電子回路シミュレータ

3. LED Tile Block の応用例: 電子回路シミュレータ

以上で述べた LED Tile Block の応用例として, 電子回路シミュレータを試作した. まずブロックに描画したパターンによって, 配線や電源, 抵抗などの回路素子の機能を設定する. それらのブロックを, 電子回路の回路図のように接続することで, 実際の電子回路の挙動をシミュレーションによって求める. 設定可能な回路素子は直流電源と抵抗, 配線を定義する.

まずブロックへの機能設定としては, 描画されたパターンに対して 2.3 節のアルゴリズムによって特徴点の位置とその数 N_C^8 を求め, 以下のアルゴリズムによって, 描画されたパターンと回路素子とを対応づける.

- $N_C^8 = 2$ ならば, 直線, 折れ線, 斜め線のいずれかとする. この 3 者の識別は, 特徴点が存在する領域 (上下左右の辺付近, または四隅付近) によって行う.
- $N_C^8 = 4$ ならば, 特徴点が端付近に 3 つ存在する場合は分岐とし, そうでない場合のうち並んだ特徴点間の長さの差が 1 以下の場合はコンデンサ, それ以外の場合は直流電源とする.
- $N_C^8 \geq 5$ ならば, 4 辺付近の領域のすべてに特徴点が存在する場合は交差を持つ配線とし, それ以外の場合は抵抗とする.

実際に LED Tile 上に描画された元画像に対して, 以上の (1)(2) 処理で求められた特徴点の例を, 元画像とともに図 6 に示す.

以上の LED Tile Block 回路シミュレータを実装し, 実際にパターンを描画したところ, 定量的な評価実験はまだ十分には行っていないものの, 実用上は十分な認識精度を得ることができた. パターンを誤認識した場合でも, ブロックを振って機能設定を再度行うことができるため, 実用上は問題がないと考えられる.

また設定された素子からなる回路の挙動を, 連結されたブロック間の電圧・電流のやりとりによってシ

ミュレーションする、いわゆるイベントドリブン型回路シミュレータを LED Tile Block 上も実装し、直流電源と抵抗からなる回路のシミュレーションを実現した (図 7. 接続した回路の動作は、直流電源ブロックに光をあててパターンを描画することで開始し、また回路を流れる電流を可視化するために、素子を流れる電流量に応じてパターンの点滅速度を変えるようにしてある。

4. 議 論

本稿で述べた LED Tile System デバイス自体に関しては、描画パターンの認識によって、あらかじめ定義したブロックの機能・モデルを設定する手法をとった。これにより、ブロック単体は同一のものを用意しておき、使用場面にあわせてブロックの機能を設定、あるいは消去後に再構成することが可能となり、システム構成要素の単純化、およびシステム全体として使用できるブロックごとの個数に関する制約を解消することができる。すなわちブロック型システムが持つ物理的な制限の一つを解消できたことになり、ブロック型システムの可能性を広げることができると考えられる。またブロック間の接続機構にマグネットを用いたことで、ブロックの着脱が格段に容易となり、ユーザが動的にブロックを着脱しながら用いるアプリケーションとの親和性が高まったと考えられる。

LED Tile System では描画パターンによってブロックの機能を設定する手法をとるため、パターン認識アルゴリズムの変更により、別の種類のブロック、例えば物理現象シミュレータのためのおもりやパネ、斜面などのブロックなどを設定することも、本稿で述べた手法を応用することで可能である。

ブロック型システム全体の挙動の設定としては、本稿で述べた回路シミュレーション以外にも、例えば前述のような物理現象シミュレーションや、それを応用した、いわゆる「ピタゴラ装置」の実現も可能であると考えられる。

また本稿で述べた電子回路シミュレータは、ブロックデバイスに設定される機能と、それらを組み合わせにくみ上げるシステム全体との関連・制限が非常に強いと、LED Tile Block の特長を生かし切っていないと考えられる。そこで、LED Tile Block がもつパターン描画と傾け操作という直接的なユーザとのインタラクシオン性を生かしたアプリケーションの模索を進めたい。

5. ま と め

本稿では、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たパターン描画・表示機能と、ブロック間通信機能による連結拡張性をもつブロック型デバイス LED Tile をもとにした、ブロックへのパターン描画によってブロック自体の機能を動的に設定・再構成可能な平面状ブロック LED Tile Block について述べた。またブロックへの機能設定をパターン描画によって行うためのパターン認識アルゴリズムについて述べた。またこのブロック型システムの応用として、種々の電子回路の素子として機能を定義するブロックを接続して回路の挙動をシミュレーションする電子回路シミュレータについて述べた。

今後は、LED Tile Block の特長を生かしたアプリケーションの検討と開発を進めたい。

謝辞 本稿で述べた描画パターン認識アルゴリズムの構築に際しては、公立はこだて未来大学の戸田真志氏に多大な助言をいただいた。ここに深く謝意を示す。

参 考 文 献

- 1) M.G.Gorbet, M.Orth and H.Ishii: Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography, *Proc. of CHI'98*, pp.49-56 (1998).
- 2) J.Lee, Y.Takehi and T.Naemura: Bloxels: Glowing Blocks as Volumetric Pixels, *ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies*, p. ET 331 (2009).
- 3) H.Suzuki and H.Kato: AlgoBlock: a Tangible Programming Language for Collaborative Learning, *Proc. of ED-Media*, p.770 (1994).
- 4) 伊藤雄一, 北村喜文, 河合道広, 岸野文郎: リアルタイム 3 次元形状モデリングとインタラクシンのための双方向ユーザインタフェース Active-Cube, *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.6, pp. 1338-1347 (2001).
- 5) 暦本純一, 大場晴夫, B.Ullmer: DataTiles: 物理操作と視覚的インタフェースとを融合したプラットフォーム環境, *インタラクシオン 2001 予稿集*, p.11 (2001).
- 6) J.Akita: Matrix LED Unit with Pattern Drawing and Extensive Connection (2010).
- 7) 鳥脇純一郎: 画像理解のためのデジタル画像処理 [II], 昭晃堂 (1988).