

光コマンドにより制御可能なイルミネーションデバイスの開発

中田眞深[†] 児玉賢治[†] 藤田直生[†] 竹川佳成[‡] 寺田 努[†] 塚本昌彦[†]

[†] 神戸大学大学院工学研究科
[‡] 神戸大学自然科学系先端融合研究環

近年、発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) を用いたイルミネーションが多くみられるようになった。しかしその動作は非常に単純で点滅パターンの組合せやマイコンによる簡単なインタラクションの導入にとどまっている。筆者らの研究グループではこれまでに、光センサとプロジェクタによる LED の一斉制御方式を提案し、提案手法を実現するためのデバイスのプロトタイプ的设计と実装を行った。実装した小型デバイスは光センサ、LED およびマイコンを搭載しており、プロジェクタによって照射された光を光センサが感知し、その情報に基づいてマイコンが LED を動作させる。また照射された光に応じて LED を点滅させるだけでなく、光のパターンの記録、再生、閾値の自動調整、光によるコマンドの実行などの機能をもつ。実運用を通して、容易に大量の LED を用いた文字や絵の再現ができることを確認した。しかし、LED が単色であることや、コマンドのパターンが少ないなどの問題点も確認された。そこで本研究ではこれまで、ON/OFF など単純な動作の制御にとどまっていたコマンドを拡張することによって、フルカラー制御を可能にし、大量のデバイスに対する動作モードの一斉制御や表現力の向上を図る。

Design and Implementation of an Illuminations Device Controlled by Optical Commands

Mami NAKATA[†] Kenji KODAMA[†] Naotaka FUJITA[†]
Yoshinari TAKEGAWA[‡] Tsutomu TERADA[†] Masahiko TSUKAMOTO[†]

[†] Graduate School of Engineering, Kobe University
[‡] Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

Recently, we can see illuminations using LED (Light Emitting Diode). In current illuminations, the behavior of illumination is simple and it is difficult to control illumination devices flexibly and dynamically. In response to these problems, we have proposed a method to control a lot of LEDs collectively by using projector and optical sensor equipped small devices. Each device has a LED, an optical sensor, and a microcomputer to react to the light illuminated from a projector. The device has various functions such as self adjustment in threshold and optical commands recognition. We confirm the effectiveness of our proposed method in the evaluation study. On the other hand, from the result we found a problem that the color of LED is single and there is few patterns of optical commands. In this study, we improve the function of optical commands to perform many kinds of functions and enable the device to control full color LED.

1 はじめに

近年、発光ダイオード (LED) は、低消費電力で長寿命、低発熱であるというメリットを活かし、街頭のサイン、信号機から照明機器まで、生活の様々な場面で利用されるようになってきている。特に、クリスマスツリーのオーナメントなどの街頭イルミネーションや LED を利用したファッションなどの電飾アートは、デバイスの技術向上に伴い表現力を増している。しかし、現在の電飾アートにおける LED の制御は非常に単純で、ON/OFF の切り替えやマイコンを用いた簡単なインタラクションにとどまっている。また、大量の LED を連携させた図形や文字の再現や、動的な動作変更などには対応しておらず、特に LED が数百個、数千個あるような大規模な電飾アートの場合、各の LED の動作を別々に設定し、周期を考慮しながら制御することは困難

である。

このような電飾アートにおける柔軟な動作変更を実現するためには、ユビキタスコンピューティング技術を用いた無線による制御などが考えられる。しかし、従来のユビキタスデバイスでは、多数のデバイスの光を組み合わせることで図形を表現するなど、複数デバイスを協調的に動作させるためには、各デバイスを識別し、それぞれに対して位置を考慮した個別のプログラムを用意し送信する必要があり実現や機能修正が困難である。また、それらの目的を実現するシステムプラットフォームは存在していない。

そこで筆者らの研究グループでは、大量の LED を柔軟に一斉制御する方式として光センサを搭載したデバイスとプロジェクタを用いた手法を提案し、提案手法を実現するためのデバイスの開発を行った [1]。この方法は光センサと LED を搭載した小型デ

バイスをプロジェクタで制御することにより、面倒な光パターンのプログラミングをしなくても LED の動作連携による図形や文字の再現を可能にしている。また実装したデバイスは図形の再現だけでなく、閾値の自動調整機能や光のパターンの記録や再生、光によるコマンドの実行などの機能をもつ。しかし、これらの動作モードの切り替えはスイッチを用いていたため、大量のデバイスに対してこの操作を行うことは容易ではなかった。また、LED が単色であるという点で他のイルミネーションデバイスに表現力が劣っていた。そこで本稿では、これまで単純な ON/OFF などの制御にとどまってきたコマンド機能を拡張することで、大量のデバイスに対する動作モードの一斉制御や表現力の向上を図る。

以下、2 章で関連研究について述べたのち、3 章でこれまでに提案した LED の一斉制御方式について説明する。4 章ではプロタイプデバイスの問題点を述べ、それを解決するための光コマンドによる制御方法について述べる。5 章では機能を拡張したデバイスの実装について説明し、6 章ではデバイスの光アクセサリへの応用について述べる。最後に本稿をまとめる。

2 関連研究

LED を用いたイルミネーションについてはさまざまな電飾アクセサリや電飾アイテムが開発されており、また動的な動作変更を行うための制御方法についての研究が行われている。e-textiles construction kit[2] は布に縫い付けることのできる電子部品で構成されており、このような部品の組み合わせで LED を用いた回路を作り服や靴、帽子などに縫い付けることで、さまざまな形のウェアブルファッションを実現できる。しかしこのキットでは、LED の動作の制御についてはあらかじめプログラムを書き込む方法をとっており、動的な動作変更を行うことはできない。一方、遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリ [4] の開発も行われている。アクセサリにはマイクが内蔵されており、遠隔地から超音波を送信しそれをマイクが受信することで LED の動作が変化する。この方法ではプログラムを書き換えることなく遠隔地から LED の制御が可能となっている。また、筆者らのグループでは LED の明滅パターンの動的な書き込みを行うことが可能な LED 明滅プログラミング方式 [3] を開発した。この方式では無線通信を用いることでプログラムの書き換えを動的に行い、また通信により他のデバイスとの連携動作を行うことも可能である。

無線通信のできる汎用的なユビキタスデバイスとして AhroD[5] などが開発されている。これらは個別の制御や一斉に同じ制御を行うことはできるが、一斉に別々の制御をおこなうことは難しい。

プロジェクタに関する研究も多数行われている。

Projector-Guided Painting[6] はプロジェクタを用いた描画のガイドシステムで、既存の絵をキャンバスへとプロジェクタで映し出しことで絵を描く人を補助を行う。小型のプロジェクタとペンを用いることで、どんな場所でも大きな画面で情報を閲覧したり操作することが可能なシステム [7] も開発されている。再帰性光通信技術 [8] ではプロジェクタから出す光に映像情報だけでなく目に見えないグリッド状のデータで文字情報を重畳して投射する。これらの研究においてはプロジェクタを単に映像を投射するものとしてだけでなく、情報の送信側として利用している。また、赤外線を投影可能なプロジェクタを用いた不可視光による情報の提供に関する研究 [9] も行われている。

LED による情報送信についての研究も行われている。LED を用いたビジュアルマーカ [10] は LED をマーカとし、マーカをカメラが検知することでマーカを身に着けているユーザの位置を特定する。また LED の点滅によって情報を送信する可視光情報通信 [11] の開発もされている。しかしこの方式では一斉通信が行えるが、一斉に各機器に個別設定を行うことはできない。

また、プロジェクタとカメラを用いた通信に関する研究としてはユーザが白い板にペンライトを使ってパターンを描く様子をカメラで撮影し、描かれたパターンをプロジェクタで投影するというシステム [12] やカメラで物体に付けられているマーカを読み取り、それに基づいてプロジェクタが情報を映し出すシステム [13] が挙げられる。これらは、カメラによって情報を受信し、プロジェクタを使って情報を送信するという構成をとっている。

3 LED の一斉制御方式

本章では、筆者らの研究グループが提案したプロジェクタによる LED の一斉制御方式 [1] の概要について述べる。

3.1 システム概要

照射光による動作制御 提案手法で用いるデバイスは図 1 のように光センサーと LED、マイコンで構成される。デバイスに可視光や赤外線が照射されると、光センサーがそれを感知し、入力されたセンサー値がしきい値を超えていればマイコンが LED を点灯させる。照射された光によって LED の動作を制御することで、点滅のパターンをあらかじめマイコンにプログラミングをする必要はない。制御には可視光だけでなく赤外線を用いることができ、赤外線は可視光ではないため、あたかも自律的に動作しているように見せることができる。また赤外線での制御は LED の光を妨げないという利点もある。

このデバイスを大量に用いることで LED の一斉制御が可能となる。設置した LED に対してプロジェクタで一斉に光を照射することで、LED の連携動

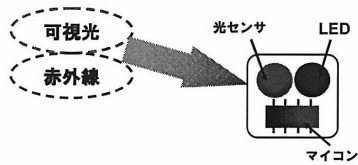


図 1: LED 一斉制御のためのデバイス

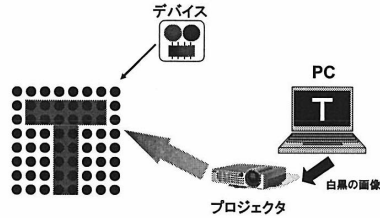


図 2: LED の連携動作

作による文字や絵の再現が可能となる。具体的には図 2 に示すようにデバイスを大量に敷き詰め、そこにプロジェクタで白黒の画像を投影することで、白が投影されている範囲、つまり光が当たっている範囲は LED が点灯し、黒が投影されている範囲は光が当たっていないので LED は消灯する。したがって、白黒で描画した画像の通りに LED を点灯させることができ、LED の連携動作による図形や文字の再現が行える。従来の方法でこのような制御を行う場合、個々のマイコンに設置場所を考慮した個別のプログラムを用意し、周期をとりながら実行するという煩雑で手間のかかる作業を行わなければならないが、提案手法を用いることで LED の設置場所にかかわらず動作パターンの設定が行える。

記録再生機能 照射された光のパターンに合わせて即時に LED の点灯を行えるほか、照射された光のパターンを記録・再生することも可能である。周りの明るさや設置する状況によってプロジェクタでの投影ができない場合、この機能を用いて事前に光のパターンを記録しておくことが有効である。

閾値の自動調整 照射された光の明暗はしきい値によって判定しているが、これはプロジェクタからの距離や周囲の明るさによって変化する。可変抵抗のボリューム調整で対応することもできるが、大量のデバイスを扱う場合、すべてのデバイスを調整するのは現実的ではない。そこで環境に合わせたしきい値を決定するための自動調整の機能も実装した。自動調整では、プロジェクタから黒が照射されている状態のセンサ値を検出と明るい状態のセンサ値を順に取得することで設定している。そして暗い状態、明るい状態の検出が終了すると $base$ と top からしきい値 $threshold = (top - base)/4 + base$ とする。

コマンド認識 デバイスに送信したい情報を 1 と 0 のビット列に変換し、プロジェクタで白の画面を 1、黒の画面を 0 として照射することでコマンド送信を行う。デバイスは受け取った光の点滅を 1、0 としてマイコンで処理し、コマンドを実行する。コマンドを用いることですべてのデバイスを一括管理することが可能となる。

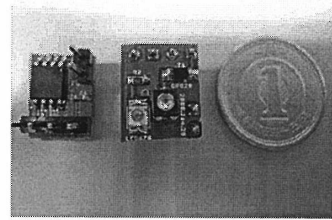


図 3: プロトタイプデバイス

3.2 プロトタイプ

プロトタイプデバイスを図 3 に示す。基板の大きさは $1.0\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ でマイコンは ATTEL 社の ATTINY85、光センサとしては TT Electronics 社のフォトトランジスタ OP520 を使用した。光センサとしてフォトトランジスタを用いることで赤外線、可視光の両方に対応している。

パターンの記録再生については、記録は内部 EEPROM に行い、サンプリング周期 200ms で 13 分の記録が可能となっている。また、コマンド機能としては LED のすべての LED の一斉点灯、消灯、点滅を実装した。

3.3 実運用

実装したデバイスを 2008 年 12 月に開催された神戸ミナリエのイベントステージにて実運用した。図 4 にステージでの実運用の様子を示す。図のように実装したデバイス 300 個を高さ約 180cm のツリーに設置し、約 2m の距離からプロジェクタで制御を行った。光の照射は PLUS 社のプロジェクタ U5-112 に、富士フィルムの赤外線フィルタ IR76 を用いることで可視光を遮断し赤外線での制御を行った。こうすることで可視光で制御を行った場合に比べ LED が点灯していることがわかりやすくなった。ステージでは白黒の動画の投影を約 1 分間行い、大きな文字や絵の再現を確認した。

4 デバイスの機能拡張

3 章で実装したプロトタイプの問題点をあげ、改良したデバイスの設計について述べる。

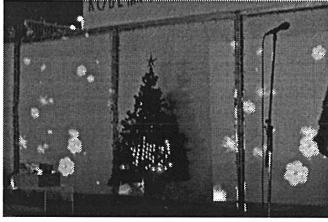


図 4: 神戸ルミナリエでの実運用の様子

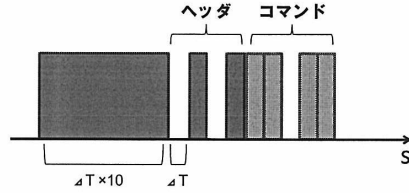


図 5: コマンドの構成

4.1 プロトタイプデバイスの問題点

3章で述べたプロトタイプデバイスによって大きな文字や図形の再現など、これまで困難だったLEDの連携動作が容易に行えるようになった。しかし、LEDが単色であるという点で他のイルミネーションデバイスに表現力が劣っている。また、記録や再生、キャリブレーションなどのモードの切り替えについては、すべてのデバイスの入力端子に対して直接信号を与えることで実現していた。そのため、通信線の断線によってそれらの機能が正常に動作しないことがあり、ステージの実運用では用いることができなかった。

4.2 拡張設計の方針

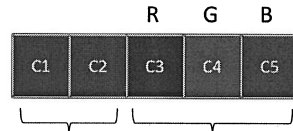
前節で述べたプロトタイプの問題点を踏まえて、以下の3点を中心にデバイスの機能を拡張する。

- コマンドの拡充
これまで、簡単なLEDの全点灯、全消灯、点滅などの制御にとどまっていたコマンドを拡張する。
- フルカラーLEDの搭載
フルカラーLEDを搭載することでより表現の幅を広げる。
- デバイス間の通信
デバイスに赤外線を送信モジュールを搭載することでデバイス間の通信を可能にする。

4.3 コマンドの拡充

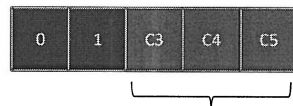
コマンドの構成を図5に示す。図のように、送信側であるプロジェクタは $\Delta T \times 12$ 秒間白の画面をデバイスに照射したのち、ヘッダ4ビット(0101)とコマンドを送信する。デバイス側では、 $\Delta T \times 10$ 秒間以上白の画面が照射されている状態を感知すると、次に0に変化するタイミングを見て、そこから ΔT 秒ごとにサンプリングを行うことで、ヘッダのチェックを行い、正しくヘッダが認識されればコマンドを実行する。

コマンドの割り当てを図6に示す。図に示すように、コマンドは大きく2つに分けられる。図6(a)は色の指定のコマンドを示している。まずはじめの



モードの指定
00:単色モード
01:カラーモード

(a) ツリーモードの切り替え



000~111: 8パターン

(b) その他の機能の実行

図 6: コマンドの割り当て

2ビットで単色モード、カラーモードの指定を行い、単色モードの場合は指定された色でこれまで実装してきたデバイスと同様に照射されたモノクロの映像を再現する。カラーモードの場合は指定された色を再現する。

図6(a)はその他の機能を実行するためのコマンドを示している。機能IDと機能の対応を表1に示す。このように、これまで実装されていたLEDのON/OFFなど単純な機能に加え、単色モードまたはフルカラーモードにおいてデバイスに送信された点滅のパターンの記録・再生、動作の停止、しきい値の再調整などをすべてのデバイスに対して一斉に行える。

4.4 フルカラー出力

フルカラーLEDの利用方法としてはフルカラーの画像の再現を行うモードと色を固定してこれまでのような制御を行うモードが考えられる。フルカラーの再現を行うことで、より高度なイルミネー

表 1: 機能一覧

ID	動作
0	すべての LED を消灯
1	点滅パターンの記録
2	記録したパターンの再生
3	パターンの一時停止
4	閾値の自動調整
5	現在の動きを停止
6	すべての LED を点滅
7	すべての LED を点灯

ションを実現できるが、単色モードに比べると制御が複雑になる。そこでそれらのモードの切り替えをコマンドをによって実現することで、単一のデバイスで用途に合わせて適切なモードを選択をできるようにした。

フルカラーの再現のための手法としては、次の3つの手法が考えられる。まず1つ目にはカラーセンサを使う方法で、可視光でカラー画像をデバイスに照射し、照射された光の色情報をカラーセンサで分析し、LEDを点灯させる。この方法では容易にカラーの再現を行うことができるが、可視光を照射する必要があり、LEDの光を妨げるという欠点がある。2つ目の手法として波長の違う3台の赤外線プロジェクタを用いてRGBを分けて照射する方法が考えられる。デバイスではそれぞれに対応した3つのセンサでRGBの強さを感知し、再現を行う。この方法ではセンサを3つ用いることでデバイスが大きくなってしまふほか、プロジェクタを3台必要とするため、システムが大掛かりになってしまうという問題がある。3つ目の手法としてコマンドによってRGBのそれぞれの階調情報をデバイスに送信することでフルカラーの出力の制御を行う。このようにすることで、デバイスの構成を変更することなくRGBの制御が可能となるための本研究ではこの手法を採用した。しかし、コマンドを用いて色の制御を行う場合、コマンド認識するのに時間を要するためリアルタイムに色の変更を行うことができないという問題点がある。そのような処理が求められる場合は固定色での制御を行う。

4.5 デバイス間の通信

4.2節で述べたものと同様のコマンドを赤外線LEDの点滅で他のデバイスに送信することで、デバイス間の通信が可能になる。この機能を用いることで、これまでの利用方法に加えてデバイス単体で、他のデバイスと通信可能なイルミネーションデバイスとして使用できる。

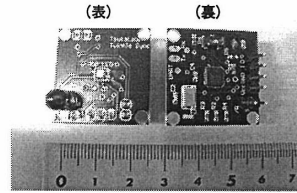


図 7: フルカラー LED を搭載したデバイス

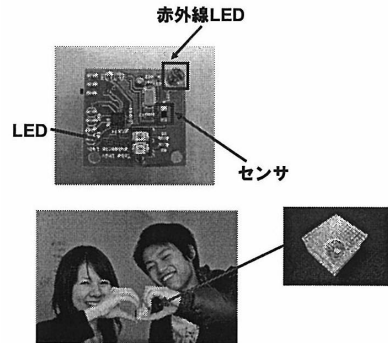


図 8: 光るアクセサリ

5 デバイスの実装

フルカラーLEDを搭載したデバイスの実装を行った。実装したデバイスを図7に示す。基板の大きさは25mm×25mmでマイコンはATMEL社のAVRマイコン ATmega168、光センサとしてはプロトタイプと同様に TT Electronics 社のフォトトランジスタ OP520 を使用した。また、フルカラー LED および赤外線 LED を搭載することで、フルカラーの出力および赤外線によるコマンド送信が可能である。

また、コマンド機能の応用として光るアクセサリを開発した。実装したデバイスを図8示す。光るアクセサリはこれまでのデバイスに加え2つのLEDと赤外線LEDを搭載しており、赤外線LEDの点滅によって他のデバイスにコマンドを送ることができ、図に示すように2つのデバイスを向い合わせることで、点滅パターンを同期させることができる。

アクセサリの動作を図9に示す。図のように、アクセサリはまず4ビットのパターンIDを赤外線LEDで送信し、次に送信したパターン番号の点滅パターンを実行し、点滅が終了したらコマンドを約1秒間受け付けるという動作を繰り返している。ここで他のデバイスからコマンドを受信すると、デバイスは受信した点滅パターンを実行し、送信側のデバイスと点滅パターンが同期する。

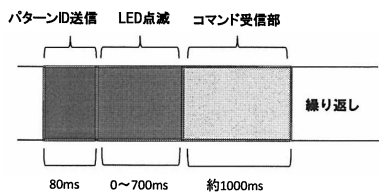


図 9: アクセサリの動作

6 おわりに

本研究では光コマンドによる制御が可能なイルミネーションデバイスの開発を行った。これまでに実装したプロトタイプでは単純な ON/OFF などの制御に留まっていたコマンド機能を拡張することにより、より複雑な動作の制御やフルカラーの出力を可能にした。また、赤外線を送信部を各デバイスにつけることにより、デバイス間の通信を可能にし、それをコマンドにより点滅パターンを同期可能なアクセサリに応用した。今後、RGB の階調を増やすことでより高度な画像な再現を可能にすることを考えている。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(20240007)、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(20240009) および中山隼雄科学技術文化財団研究助成の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Mami Nakata, Kenji Kodama, Naotaka Fujita, Yoshinari Takegawa, Tsutomu Terada, Masahiko Tsukamoto, Shinichi Hosomi and Shojiro Nishio : Design and Implementation of a Ubiquitous Optical Device Controlled with a Projector, Proc. of International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2008), pp. 130-135 (2008)
- [2] Leah Buechley : A Construction Kit for Electronic Textiles, Proc. of IEEE Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC06), pp. 83-90 (2006).
- [3] 細見心一, 塚本昌彦, 西尾章治郎 : ユビキタス環境における LED 明滅プログラミング方式, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No. 6, pp. 1367-1374 (2007).
- [4] 岸野泰恵, 藤原礼征, 田中敏之, 下須賀滋穂, 義久智樹, 塚本昌彦, 板生知子, 大江瑞子, 西

尾章治郎 : 遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリの実現, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 37, pp. 65-70 (2004).

- [5] 塚本昌彦 : ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング—超小型コンピュータと人, 物, 実世界のシンビオシス, 情報処理, Vol. 47, No. 8, pp. 836-843 (2006).
- [6] Matthew Flagg, James M. Rehg : Projector-Guided Painting, Proc. of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2006), pp. 235 - 244 (2006).
- [7] Xiang Cao, Ravin Balakrishnan : Interaction with Dynamically Defined Information Spaces using a Handheld Projector and a pen, Proc. of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2006), pp. 225-234 (2006).
- [8] 稲見昌彦, 新居英明, 杉本麻樹 : 再帰性光通信技術の研究 (第三報), 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 104, pp. 25-28 (2004).
- [9] 白井良成, 松下光範, 大黒 毅 : 秘映プロジェクタ : 不可視情報による実環境の拡張, 第 11 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 115-122 (2003).
- [10] 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根 裕, 西尾章治郎 : 情報処理学会論文誌, ウェアラブル環境のための LED を用いたビジュアルマーカ, Vol. 44, No. 9, pp. 2334-2343 (2003).
- [11] 鈴木勝宜 : 可視光通信システムの ITS への応用, 東芝レビュー, Vol. 61, No. 8, pp. 20-23 (2006).
- [12] 伴 仁志, 斎藤英雄 : プロジェクタと 2 台のカメラを用いた手書きパターン入力・表示システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 572, pp. 7-12 (2005).
- [13] 狩塚俊和, 佐藤宏介 : プロジェクタ投影型ウェアラブル複合現実感システム, 情報処理学会研究報告, Vol. 140, pp. 141-146 (2003).
- [14] 塚本昌彦, 今井 明 : 赤外線データ通信技術の動向, 情報処理, Vol. 36, No. 9, pp. 874-880 (1995).