



# プロジェクトによる一斉制御が可能なユビキタス光 デバイスの設計と実装

中田, 眞深 ; 児玉, 賢治 ; 藤田, 直生 ; 竹川, 佳成 ; 寺田, 努 ; 塚本, 昌彦

---

(Citation)

情報処理学会論文誌, 50(12):2871-2880

(Issue Date)

2009-12-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002106>



## プロジェクタによる一斉制御が可能な ユビキタス光デバイスの設計と実装

中 田 眞 深<sup>†1,\*1</sup> 児 玉 賢 治<sup>†1,\*2</sup> 藤 田 直 生<sup>†1</sup>  
竹 川 佳 成<sup>†2</sup> 寺 田 努<sup>†1</sup> 塚 本 昌 彦<sup>†1</sup>

近年、発光ダイオード（LED: Light Emitting Diode）を用いた電飾アートは電子技術の発展にともないその表現力の幅を増している。しかし、従来の電飾アートの動作は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。電飾アートにおいて柔軟な動作変更や複数デバイスの協調動作を行うためには、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する必要がある。そこで本研究ではプロジェクタによる一斉制御が可能なユビキタス光デバイスを構築する。提案手法では光センサを搭載したデバイスにプロジェクタの光を照射し、LEDの動作を制御する。また、提案デバイスは、光センサの感度の自動的調整機能や、光コマンドによる制御機能を持つ。評価実験、実運用を通して、提案手法の有用性を確認した。

### Design and Implementation of a Ubiquitous Optical Device Collectively Controlled with a Projector

MAMI NAKATA,<sup>†1,\*1</sup> KENJI KODAMA,<sup>†1,\*2</sup>  
NAOTAKA FUJITA,<sup>†1</sup> YOSHINARI TAKEGAWA,<sup>†2</sup>  
TSUTOMU TERADA<sup>†1</sup> and MASAHICO TSUKAMOTO<sup>†1</sup>

Illumination decorated with Light Emitting Diodes (LEDs) increases its expressive power by technological advances in lighting devices. However, the behavior of conventional illumination is limited to simple patterns such as repeated blinking. In addition, it is difficult to realize expressing large figures with many LEDs' cooperation and synchronization due to the difficulty in identification of each device. In response to this problem, we construct a ubiquitous optical device collectively controlled with a projector, which has an LED, an optical sensor, and a microcomputer to react to the light illuminated from a

projector. Moreover, it has functions to adjust the threshold by itself and to recognize optical commands, which are required for collective control. We discuss effectiveness of our proposed device based on several performance studies and field tests done at actual events.

#### 1. はじめに

近年、発光ダイオード（LED: Light Emitting Diode）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<sup>1)–3)</sup>などの電飾アートは、デバイスの電子技術向上にともない表現力を増している。

しかし、大規模な電飾アートを構築する際に一般的なドットマトリクスLEDやロープ型LED<sup>4),5)</sup>は複数のLEDを一括して制御する装置を中心とした中央制御方式を採用しており「この領域を別の領域へ移動させたい」「ある領域の解像度を増やしたい」といったLEDの配置変更に対して各LEDの位置を再設定する必要があり、柔軟な位置変更が難しかった。また、「クリスマスツリーのような凹凸がある面に配置させたい」といった要求に対して物理的に設置が難しかったり、LEDの配置と凹凸を考慮した映像変換が求められ、設置面に対する制約も大きい。このような電飾アートにおける柔軟なLEDの配置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<sup>6)–8)</sup>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が困難である。また、こ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。

そこで本研究ではこれらの問題を解決するために、LEDの配置や位置変更が柔軟に行う

<sup>†1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>†2</sup> 神戸大学自然科学系先端融合研究環  
Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

\*1 現在、株式会社日本アイ・ビー・エム  
Presently with IBM Japan

\*2 現在、株式会社島津製作所  
Presently with SHIMADZU Corporation

ことが可能な大量の LED の一斉制御方式を提案する。提案手法では、光センサおよび LED を搭載したデバイスに対してプロジェクタを用いて情報を送信することで、大量の LED デバイスの一斉制御や LED の配置などをプログラミングすることなく図形や文字の再現を可能にしている。また、プロジェクタから点滅パターンを送信するだけでなく、照射されたパターンの記録・再生、閾値の自動調整、コマンド制御なども可能にする。さらに、実運用および評価実験により提案手法の有用性を確認した。

以下、2 章で関連研究について述べ、3 章で提案する LED の一斉制御方式について説明する。4 章でデバイスの設計と実装について述べ、5 章で評価実験について説明し、6 章でデバイスの実運用について述べる。最後に 7 章で本稿のまとめを行う。

## 2. 関連研究

LED を用いた大規模な電飾アートを実現するための様々な電飾アクセサリが販売されているが<sup>4),5)</sup>、これらはいずれも中央制御方式を採用する一方、分散制御方式により大規模な電飾アートの構築を目指す本研究と異なる。

動的な動作変更や柔軟な配置変更が可能な制御方法についての事例として光センサを持つ LED を敷き詰め、これと光源の間に遮光物を挟むことで LED の光を制御する実用新案<sup>9)</sup>が出願されている。基本的な着想は同じであるが、実用新案はアイデアにとどまっている一方、本研究では実際に使うときに生じる問題や要求を整理したうえでデバイスの設計、実装および評価を行っている。また、Lee<sup>10)</sup>らは本研究と同じ手法で LED 制御を実現している類似研究であるが、提案手法は IR（赤外線）プロジェクタの使用を前提としている一方、本研究ではエンドユーザの利用の敷居をできるだけ下げるためそのような特殊プロジェクタの使用を避け、赤外線の光量が少ない通常のプロジェクタで実現できるよう感度自動調整機能（詳しくは 4.2 節で説明する）を提案している。また、本手法はすでに文献 11) で発表をしており Lee らの先行研究である。e-textiles construction kit<sup>12)</sup>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、このような部品を組み合わせることで LED を用いた回路を構成し、服や靴、帽子などに縫い付けることで、様々な電飾服を製作できる。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、動的な動作変更はできない。一方、遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリ<sup>13)</sup>の開発もなされている。アクセサリにはスピーカが内蔵されており、遠隔地から超音波を送信しそれをスピーカが受信することで 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 LED を制御できるが、音を用いているため多くのデバイスを細かに制御

することが難しい。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が可能な LED 明滅プログラミング方式<sup>14)</sup>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。

通信機能を持ち小型軽量なユビキタスデバイスとして AhroD<sup>15)</sup>や Smart-Its<sup>7)</sup>などが開発されているが、これらは個別の制御やいっせいに同じ内容の制御を行うことはできるが、いっせいに別々の制御を行うことは難しい。

プロジェクタに関する研究も多数行われている。Projector-Guided Painting<sup>16)</sup>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上にプロジェクタで投影することで絵を描く人を補助をする。また、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できるシステム<sup>17)</sup>も開発されている。再帰性光通信技術<sup>18)</sup>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ト状のデータで文字情報を重畳して投射する。さらに、空間分割可視光通信<sup>19)</sup>は DMD (Digital Micromirror Device) ベースの変調方式を提案し高速かつ高精度な可視光通信を実現している。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が、特殊なデバイスを用いずに多数の LED を制御することを目的とする本研究とは異なる。ただし、これらの方式は本研究において制御の高度化を行うにあたり有用であり、これらの変調方式を組み込むことでロバストなシステムになると考えられる。また、不可視光である赤外線を投影可能なプロジェクタによる情報の提示に関する研究<sup>20)</sup>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 をビジュアルマーカ<sup>21)</sup>として利用し、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 の点滅パターンによって情報を送信する可視光情報通信<sup>22)</sup>も提案されている。この方式では複数デバイスに対していっせいに通信できるが、各機器に個別設定を行うことはできない。

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<sup>23)</sup>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<sup>24)</sup>があげられる。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 一斉制御方式

本章では提案手法について述べ、既存の電飾アートで用いられる中央制御方式と対比しながら提案手法の有効な利用シーンについて説明する。

#### 3.1 提案手法

本研究では、光センサを搭載したデバイスとプロジェクタによる LED の一斉制御方式を提案する。提案手法で用いるデバイスは図 1 に示すように光センサと LED、マイコンで構成される。デバイスに可視光や赤外線や紫外線が照射されると、光センサがそれを感知し、入力されたセンサ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 の動作を制御するため、点滅パターンをあらかじめマイコンにプログラミングする必要はない。また、動作変更は照射する光のパターンを変更するだけでよく、動的な動作変更は容易である。制御には可視光だけでなく不可視光である赤外線や紫外線も用いることができるため、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。また不可視光での制御は LED の光を妨げないという利点もある。

このような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いっせいに光を照射することで、LED の連携動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とおり 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できる。この方法を用いれば、MPEG などの動画や静止画、Flash などのアニメや図形の再生が可能になり、プログラムの知識がない人でもパソコンで描画するだけで簡単にイルミネーションで文字や図形の表示ができる。

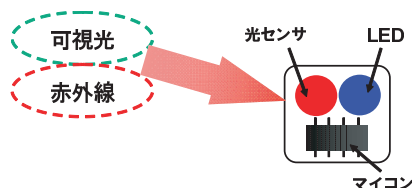


図 1 LED 一斉制御のためのデバイス  
Fig. 1 A device for collectively control.

一方、提案方式はプロジェクタに対面している方向での利用に限定されており、立体的に配置した電飾アートへの適用が制限されてくる。また、プロジェクタ投影範囲に観客が侵入すると原理的に機能しなくなるため、電飾に近付くことが禁止される。したがって、提案手法の利用シーンとしては、プロジェクタと LED の間を人やモノが遮らないようなショーウィンドウやステージパフォーマンス、街頭テレビのような空中に設置された電飾アートなどが考えられる。また、電飾アートのデザインが完全に決まっておらず何度も修正が必要なプロトタイピングの段階での利用など人やモノが多少遮っても問題のない場合においても利用できる。

#### 3.2 中央制御方式との対比

これまでの大規模 LED の制御手法である中央制御方式と比較して提案方式が有効に機能する利用シーンとして、2m~3m 程度の高さのクリスマスツリーの前面に LED を 300 個程度取り付け映像コンテンツを表示させる場合、中央制御方式の製品は平面や緩い曲面での利用を想定しているため、クリスマスツリーのような凹凸がある面に対して設置した場合、歪んだ映像になってしまう。また、これを解決するためには各 LED の位置を把握する必要があり大変な手間と労力が求められる。さらに、ある部位に対して解像度が不足するため LED の密度を濃くしたいという要求などデザインの調整に対しても柔軟に対応することができない。一方、提案方式は個々の光デバイスが自律的に動くように設計されており、ユーザーが必要と思う箇所に光デバイスを取り付けるだけでよく位置の登録が不要で細かいデザインの修正に対し容易に対応できる。しかし、提案方式はプロジェクタ投影範囲に障害物がある場合は動作しなくなる。

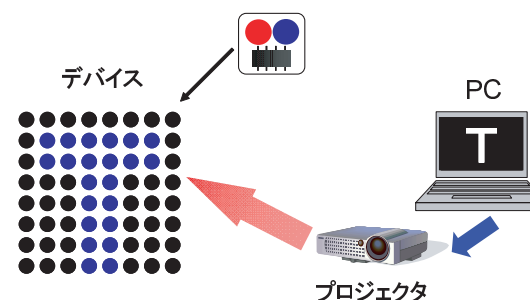


図 2 LED の連携動作  
Fig. 2 Cooperation among a large amount of LEDs.

また、提案方式はコンテンツ制作側にとって利用しやすい設計になっている。中央制御方式は、コンテンツを中央制御装置のデータフォーマットに変換する必要がある、専用のアプリケーション上で制作したり、データ変換用アプリケーションを利用したりしなければならない。一方、本方式はコンテンツをプロジェクタで投影するだけでよくプログラムの知識などがない人でも簡単に扱える。また、コンテンツの拡大・縮小・移動などもプロジェクタの位置を調整するだけでよく直観的に行える。さらに、たとえば、クリスマスツリーに映像が提示されている状況で、「プロモーションビデオを重ね合わせてほしい」「リアルタイムに描画されているコンテンツを重畳させてほしい」といった突然の要求に対し、中央制御方式では映像コンテンツをあらかじめ統合する必要があるが、提案方式は受信側が送信側を選ばないような設計になっているため、映像コンテンツごとにプロジェクタを用意するだけでよく、コンテンツの組合せが容易に行える。

## 4. デバイスの設計と実装

### 4.1 デバイス要求仕様

3.1 節で述べた手法を実現するデバイスを構築する。また、3.2 節で述べた利用シーンで実運用を行うにあたっては、単純に手法を組み込むだけでなく下記の要求事項を満たす必要がある。

- 小型で軽量である。  
大規模なイルミネーションを想定しているため、デバイスの重量が大きいと設置が困難になる。大量にデバイスを設置しても設置対象に影響がないようにデバイスは小型で軽量であることが望まれる。
- 光センサの感度を自動的に調整できる。  
デバイスが受ける光の量はプロジェクタからの角度や距離によって異なるため、デバイスに搭載された光センサの感度はそれぞれは異なる。プロジェクタからの距離や角度はイルミネーション設置する環境によって変化し、クリスマスツリーなどの凹凸のある場所に設置する場合には各デバイスごとに距離や角度に差がある。光センサの感度は、たとえば可変抵抗によるボリューム調整などで対応できるが、それをすべてのデバイスに対して行うのは現実的ではない。そこで光センサの感度を自動的に調整できる機能が必要である。
- 一括管理が可能である。  
パターンの記録や再生、全点灯・消灯などのモード切替えはスイッチによって容易に実

現できるが、大量のデバイスをいっせいに扱うので各デバイスのスイッチの切替えを行うことは困難である。そこで、各デバイスのスイッチの切替えの役割も光を用いていっせに行う必要がある。

- 光のパターンの記録・再生ができる。

周囲の明るさや設置場所によって、プロジェクタによるパターン照射が行えない場合が考えられる。そこで、光の照射によるリアルタイム制御だけでなく、あらかじめ記録したパターンを再生する機能によりプロジェクタでの照射が行えない状況でもシステムを利用できるようにする。

### 4.2 デバイスの機能

前節で述べた要求仕様をふまえて以下の機能を提案する。

#### 4.2.1 自動調整機能

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。デバイス上にある可変抵抗のボリューム調整やスイッチなど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を提案する。自動調整の流れを図 3 に示す。図に示すようにまずはじめに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し、100 回の測定の平均値を *base* とする。暗い状態の値の検出が終了すると LED が点滅し、白の画面が照射されていることが確認できれば、明るい状態のセンサ値の検出に移行し、暗い状態の検出と同様に明るい状態の平均値 *top* を計算する。ここで 30 秒以内に明るい状態が確認できなければデバイスを OFF モードにする。これにより、角度や距離により制御が不安定なデバイスは OFF モードとなり、他のデバイスの動作を妨げない。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  $threshold = (top + base)/2$  とする。

#### 4.2.2 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・再生する機能を持つ。周囲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で対応できる。記録は内蔵メモリを用いる。

#### 4.2.3 コマンド制御

プロジェクタからの光に応じて LED を点灯させるだけでなく、光の点滅によるコマンド制御も可能にした。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

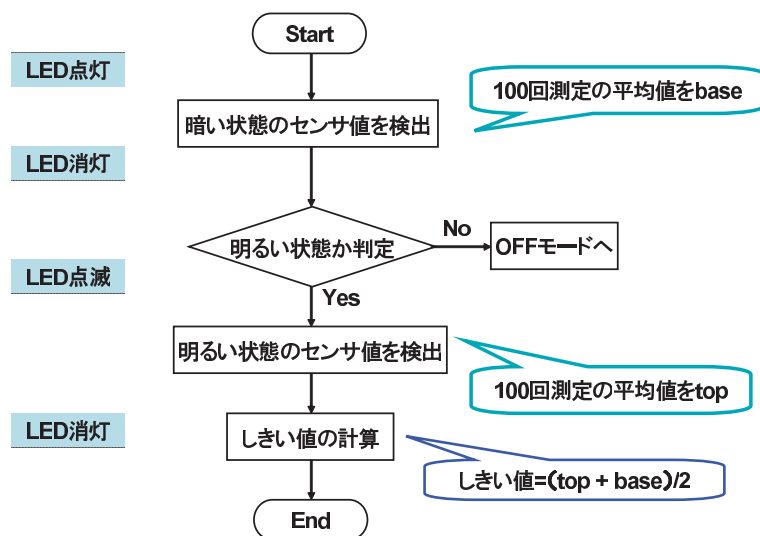


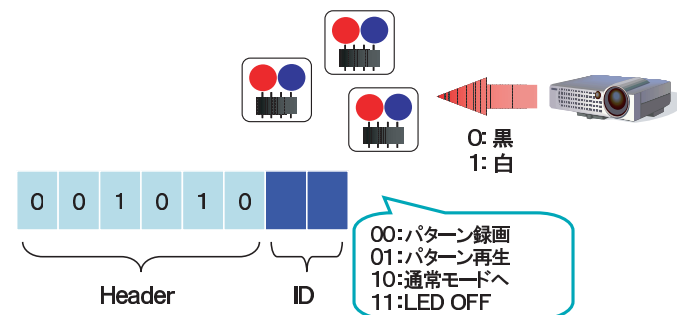
図 3 自動調整の流れ  
Fig. 3 Flow of calibration.

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を送信する。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。

コマンドとしてはパターンの記録・再生の開始, LED の動作の停止, 照射された光に基づいて LED を点滅させる通常モードへの移行があげられる。コマンドの構成を図 4 に示す。図のようにコマンドは 8 ビットで構成されており, 前 6 ビットがヘッダ, 残りの 2 ビットがコマンド ID となっている。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。大量のデバイスを扱う場合, 各デバイスのモード切替えをスイッチなどにより制御するのは難しいが, この機能により, デバイスが大量にある場合でもモードを一括管理できる。

#### 4.3 実 装

実装したデバイスを図 5, デバイスの回路構成を図 6 に示す。基板の大きさは 1.0 cm × 1.5 cm でマイコンは ATMEEL 社の ATTINY85, 光センサは TT Electronics 社のフォトトランジスタ OP520 を使用した。OP520 は 900 nm を最大感度波長とし 700 nm から 1,100 nm の赤外線波長に反応するフォトトランジスタである。また, 通常イルミネーションにはある



※通常モード: 照射光にもとづいて LED を点滅

図 4 コマンド構成

Fig. 4 Command format.

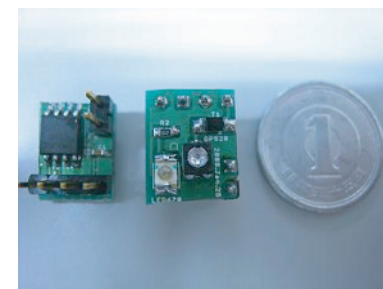


図 5 ユビキタス光デバイス

Fig. 5 Ubiquitous optical device.

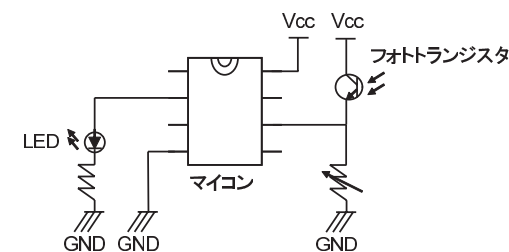


図 6 回路構成

Fig. 6 Circuit chart.

程度の暗さが必要となり、プロジェクタの光をそのまま照射すると LED の点滅が分かりにくくなってしまう。そのため光によるパターン送信と LED の点滅を同時に行う場合、赤外線による LED の制御が適当だと考えられる。赤外線の照射については、IR プロジェクタを用いる方法があるが特殊なプロジェクタとなる。また、一般的なプロジェクタでも照射光に微量の赤外線を含むため、一般的なプロジェクタの照射光に可視光を吸収する IR フィルタをかけることで赤外線の照射を実現する。IR フィルタとして、760 nm 以下の波長を吸収する富士フィルム社の赤外線フィルタ IR-76 を使用した。

原理的に提案手法は赤外線および紫外線のどちらでも適用できる。また、近年のプロジェクタでよく使われている超高圧水銀ランプの発光スペクトル<sup>26)</sup>は 365 nm 付近の波長をピークとする紫外線領域の強度が高く、たとえば、365 nm の紫外線を最大に透過するように設計された五鈴精工硝子株式会社の紫外線透過フィルタ (IUV-365) および 370 nm の紫外線を最大感度波長とする浜松ホトニクス社の紫外線センサ (G5842) を用いることで紫外線による実現も十分可能である。さらに、赤外線領域の発光スペクトルに関しては公開されていないものの、水銀を使用しているというランプの素材の特性上、赤外線領域の強度は紫外線領域と比べ弱いと推測され、提案手法の実現においては、本来なら、紫外線の利用の方が適している。しかし、紫外線センサは赤外線センサより高価で、本研究では、提案デバイスを 300 個程度利用することを考えており、実際の利用を考えた場合、この価格差は無視できず、コストパフォーマンスの観点から赤外線での実装を選択した。

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・再生する機能も実装した。光の記録は内部 EEPROM に行い、サンプリング周期 200 ms で 13 分の記録が可能となっている。さらに光コマンドの認識機能も実装した。コマンドは各ビットの幅を 800 ms とし、200 ms ごとにサンプリングすることでコマンドを認識する。

## 5. 評価実験

実装したデバイスの有用性を確認するために、プロジェクタとの距離とプロジェクタに対する角度を変化させてデバイスの光認識率を測定した。実験の様子を図 7 に示す。実験は暗室で行い、光の照射は PLUS 社のプロジェクタ U5-112 に、富士フィルム社の赤外線フィルタ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。測定の方法を図 8 に示す。図のように板に固定した 10 個のデバイスに対して、白黒の画像を交互に 10 回投影し、正確に点灯したデバイスの個数と回数を数え、それらの数値から認識率を計算した。プロ

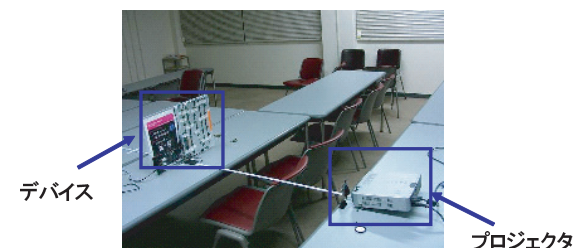


図 7 実験の様子  
Fig. 7 A snapshot of experiment.

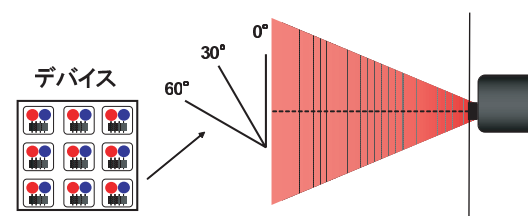


図 8 実験方法  
Fig. 8 Configuration of experiment.

ジェクタとの距離は 1.0 m, 1.25 m, 1.5 m, 1.75 m, 2.0 m, 2.25 m, 2.5 m, 2.75 m, 3 m の 9 カ所、角度は 0 度、30 度、60 度の 3 パターンについて実験を行った。また、しきい値の自動調整機能を持つデバイスと、固定のしきい値で制御を行うデバイスについてそれぞれ実験を行った。

距離および角度と認識率の関係を図 9 に示す。図 9-(a) より自動調整機能を用いた場合、1.75 m まで 100% 認識することができた。2 m からは角度が大きいものから次第に認識率は下がり 3 m では 0% となった。これは通常のプロジェクタの光に含まれる赤外線が少なく、距離が大きくなるにつれてデバイスが受ける光量が減少するためであると考えられる。また角度による認識率の差は光センサの指向性による影響が考えられる。

図 9-(b) の固定のしきい値で制御を行った場合の実験結果と図 9-(a) の結果を比較すると、特に大きな角度での認識率が自動調整を行った場合よりも低くなっていることが分かる。このことから、デバイスが様々な角度を持つイルミネーションにおいて自動調整の機能は有効であるといえる。実験では白黒の画像を 10 回交互に照射させて認識率を計算したが、自動

調整が正確に行えたデバイスは 10 回の点滅すべてを正確に認識した。このことから自動調整が有用であるといえる。

さらに、サンメカトロニクス社の赤外線投光器 L-light を用いて、同様に距離と認識率の関係を測定した。実験結果を図 10 に示す。図 10 より、赤外線投光器を用いることでプロジェクタによって制御を行う場合よりも遠距離から制御できることが確認できた。この結果からより強い赤外線を出すプロジェクタを用いることで、遠距離からの制御も可能であるといえる。

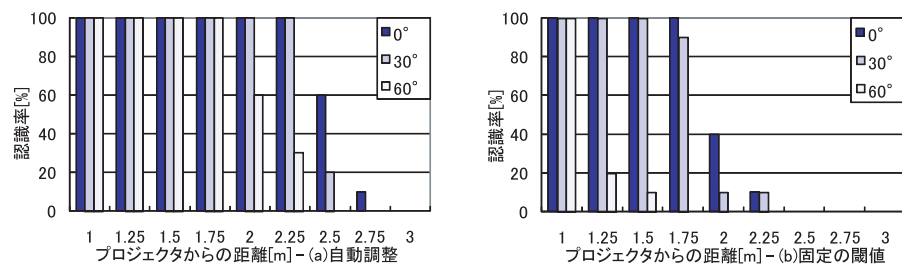


図 9 距離・角度と認識率の関係

Fig. 9 Relationship between the recognition rate and the distance/angle.

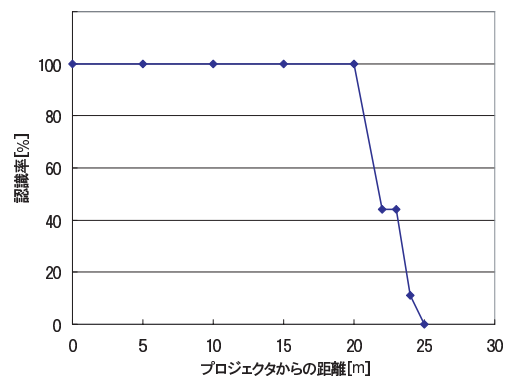


図 10 赤外線投光器を用いた場合の距離と認識率の関係

Fig. 10 Recognition rate by using infrared projector.

## 6. 実 用

実装したデバイスを 2007 年 12 月 8 日、9 日および 2008 年 12 月 13 日、14 日に開催された神戸ルミナリエのイベントステージにおいて実運用した。図 11 にステージでの実運用の様子、図 12 にステージ上での配置を示す。図 11 のように実装したデバイス 300 個を高さ約 180 cm のツリーに設置し、約 2 m の距離からプロジェクタで制御した。光の照射は PLUS 社のプロジェクタ U5-112 に、富士フィルム社の赤外線フィルタ IR-76 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。これにより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分かりやすくなった。ステージでは Flash を使って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。

屋内で明かりが入ってこない暗室状態をつくり動作させた場合、誤動作するデバイスは少なかったが、屋外で実運用を行った際は、街灯や屋台の明かりの影響を受けて本来点灯しないはずの範囲が点灯してしまうことがあった。また、今回の実運用では問題とならなかった



図 11 神戸ルミナリエでの実運用の様子

Fig. 11 A snapshot of using our devices at Kobe Luminarie.

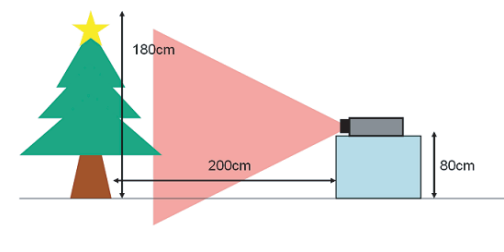


図 12 ステージの構成

Fig. 12 Stage arrangement.

がテレビのリモコンや携帯電話の赤外線通信などにも反応してしまう。さらに、プロトタイプに伝送可能な情報は2値で、階調表現やマルチカラーの伝送は難しく表現力に関しては従来の電飾アートの方が有利である。このような外乱光による動作の不具合や表現力の向上に関しては、変調光を用いることで解決できるが、映像のリフレッシュレートが落ちたり、特殊な機器を導入するため、コンテンツ制作者の敷居が高くなったりコンテンツに制限が出てくる。

今回のクリスマスツリーは1台のプロジェクタでの投影範囲に収まるようなサイズであったが、今後、より大きなクリスマスツリーや複数のクリスマスツリーを用いるなど面積の大規模化に対する要求も生じると考えられる。このような面積の大規模化に対する要求に対して、光デバイス群とプロジェクタを遠ざけることでより広い領域をカバーできるが、プロジェクタの光量が減少し認識精度が低下してしまう。また、複数台のプロジェクタを使うことで大規模化に対応できるが、プロジェクタ間の連携が求められ特殊な機器や専用のアプリケーションを使用する必要がある。

これらは利点欠点があるため実際の利用シーンによって使い分ける必要がある。具体的には、街頭の天井吊り電飾アート、ステージパフォーマンスのショーやショーウィンドウでの利用では、環境の変化がある程度予測できるため外乱光に関してはシビアな対応が求められるが、街角のイルミネーションにおいては様々な環境変化に対応できるよう外乱光に対して十分備える必要がある。表現力に関しては、街角の電飾アートのように単色のLEDしか搭載していない場合は、マルチカラーを考慮する必要はない。また、コンテンツの内容によって表現力の要求も変わってくる。ショーのようにキャラクタの絵などを表現したい場合はマルチカラーに対応している方がのぞましい。面積の大規模化に関しては、ショーにおいては必要な対策であるが、ショーウィンドウ、天井吊り電飾アート、街角イルミネーションのほとんどが1台のプロジェクタの投影面積で収まると考えられる。

## 7. ま と め

本研究ではプロジェクタを用いたLEDの一斉制御方式を実現するための小型デバイスとしてユビキタス光デバイスを構築した。デバイスは光センサ、LED、マイコンによって構成されており、センサが感知した光の情報に基づいてLEDを制御する。大量のデバイスにプロジェクタで白黒の画像を投影することでLEDの連携動作によって図形や文字を容易に再現することが可能となった。また、光のパターンの記録・再生、光の点滅によるコマンド制御やしきい値の自動調整の機能についても実装した。さらに、デバイスの評価実験およ

び実運用を行った。評価実験では距離と角度と認識率から、プロジェクタとデバイスの距離が2m以内であれば十分制御が可能であるということを確認した。また、一定のしきい値で制御を行う場合との比較を通して、しきい値の自動調整機能の有用性を確認した。実運用では神戸ルミナリエで180cmのツリーに300個のデバイスを設置し、白黒の動画を投影することで図形や文字の再現を確認した。

今後の課題としては、光によるコマンドを充実させることで複雑な命令をデバイスに送信できるようにすること、しきい値の調整方法を改良することで遠距離で制御できるようにすること、外部の光による誤動作をなくすこと、様々なアーティストに使ってもらい完成度を高めると同時に使い方の幅を広げることがあげられる。

**謝辞** 本研究の一部は、基盤研究(A)(20240007)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 板生知子, 塚本昌彦, 大江瑞子: ウェアラブルコンピューティングとファッションの融合に向けた取り組み, 情報処理学会研究会報告, Vol.2004, No.44, pp.59-64 (2004).
- 2) 牧 成一, 藤本 実, 花岡邦俊, 沖野将司, 池田朋大, 岡田量太, 細見心一, 中田眞城子, 塚本昌彦: 神戸イルミネプロジェクト: LEDを使ったブレイクダンスパフォーマンス, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2007), Vol.2007, No.1, pp.1207-1214 (2007).
- 3) 山本真史, 塚本昌彦, 義久智樹: ウェアラブルファッションにおけるLED明滅パターン作成・再生のための制御システム, ウェアラブルコンピューティング研究会研究報告, Vol.2, No.4, pp.1-8 (2006).
- 4) 株式会社コマデンプロダクツ. <http://www.komaden.co.jp/products/index.html>
- 5) ヒビノ株式会社ルーミックスライン. [http://www.hibino.co.jp/topics/pdf/Lumixxline\\_0711LJ013](http://www.hibino.co.jp/topics/pdf/Lumixxline_0711LJ013)
- 6) 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).
- 7) Beigl, M. and Gellersen, H.: Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects, *Proc. Smart Objects Conference (SOC2003)* (2003).
- 8) Kishino, Y., Terada, T., Tsukamoto, M., Yoshihisa, T., Hayakawa, K., Kashitani, A. and Nishio, S.: A Rule-Based Discovery Mechanism of Network Topology among Ubiquitous Chips, *Proc. IEEE Int'l Conf. on Pervasive Services (ICPS2005)*, pp.198-207 (2005).
- 9) 光センサー内蔵ディスプレイ装置, 特許庁公開実用新案公報 平 4-77190.
- 10) Lee, G. and Ahn, Y.: An LED Using Active Reflectors and Free-Space Optical

- Transmission, *Proc. ACM International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2008)*, Posters, Article No.46 (2008).
- 11) 中田眞深, 塚本昌彦: 光通信による大量の LED マイコンユニットの一斉制御方式, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2007) 論文集, Vol.2007, No.1, pp.339-346 (2007).
  - 12) Buechley, L.: A Construction Kit for Electronic Textiles, *Proc. IEEE Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC2006)*, pp.83-90 (2006).
  - 13) 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).
  - 14) 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).
  - 15) 早川敬介, 塚本昌彦, 寺田 努, 義久智樹, 岸野泰恵, 柏谷 篤, 坂根 裕, 西尾章治郎: ユビキタスコンピューティングのためのルールに基づく入出力制御デバイス, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.5, No.3, pp.341-354 (2003).
  - 16) Flagg, M. and Rehag, J.M.: Projector-Guided Painting, *Proc. 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2006)*, pp.235-244 (2006).
  - 17) Cao, X. and Balakrishnan, R.: Interaction with Dynamically Defined Information Spaces using a Handheld Projector and a pen, *Proc. 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2006)*, pp.225-234 (2006).
  - 18) 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).
  - 19) 北村匡彦, 苗村 健: DMD を用いた空間分割可視光通信: メタメディア情報を埋め込んだ映像投影, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.381-388 (2007).
  - 20) 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 (WISS2003), pp.115-122 (2003).
  - 21) 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根 裕, 西尾章治郎: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.9, pp.2334-2343 (2003).
  - 22) 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).
  - 23) 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).
  - 24) 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).
  - 25) 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-

88 (1995).

- 26) 杉谷晃彦, 成田光男: データプロジェクター用ランプと技術, 月刊ディスプレイ 7 月号, pp.85-90 (2002).

(平成 21 年 3 月 18 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



**中田眞深**

2007 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業. 2009 年同大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了. 同年より株式会社日本アイ・ビー・エムに入社. 現在に至る. ユビキタス・ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ.



**児玉 賢治**

2005 年大阪府立工業高等専門学校システム制御工学科卒業. 2007 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業. 2009 年同大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了. 同年より株式会社島津製作所に入社. 現在に至る. ユビキタス・ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ.



**藤田 直生 (学生会員)**

2002 年奈良工業高等専門学校卒業. 2004 年同専攻科修了. 2006 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了. 現在, 神戸大学大学院工学研究科博士後期課程に在籍. ユビキタス・ウェアラブルコンピュータに興味を持つ.



**竹川 佳成**（正会員）

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業。2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007 年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。現在に至る。2007 年より神戸大学大学院工学研究科助教，CrestMuse プロジェクト共同研究員を兼任。博士（情報科学）。音楽情報科学，ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



**寺田 努**（正会員）

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2002 年より大阪大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手，2005 年より同講師を併任。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事，2005 年には同機構事務局長を兼務。2002 年には NEC インターネットシステム研究所客員研究員，2004 年には英国ランカスター大学客員研究員，2007 年 1 月より ATR 客員研究員を兼務。博士（工学）。アクティブデータベース，ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE，電子情報通信学会，日本データベース学会，ヒューマンインタフェース学会の各会員。



**塚本 昌彦**（正会員）

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ（株）入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師，1996 年同専攻助教授，2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授，2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり，現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM，IEEE 等，8 学会の会員。