

モノに情報を付与する LED 照明技術と プロジェクションマッピングへの応用

加藤圭造^{†1,a)} 倉木健介^{†1} 田中竜太^{†1}

概要:我々は実世界の様々なモノとネットワークサービスをつなぐ為に、モノを識別するための ID を埋め込んだ LED の光をモノに照射し、その反射した光から ID を画像処理で検出する LED 照明技術を開発した。この技術により、気になるモノをスマートデバイスのカメラで撮影するだけで、モノに関連した情報を容易に取得できる。本技術は、原理的にプロジェクションマッピングにも応用可能であり、投影されたコンテンツに付加情報を埋め込むことで、コンテンツの価値を更に向上させることが出来る。しかし、実際に大規模なプロジェクションマッピングに適用し、長距離から一般のスマートフォンで埋め込まれた情報が検出可能であるかは、検証の必要がある。本稿では、投影/検出距離が数十～百メートル規模であるプロジェクションマッピングにおいて、本技術の検出性能を評価した結果について報告する。

キーワード: 電子透かし, 可視光通信, プロジェクションマッピング, IoT

1. はじめに

近年、スマートデバイスの普及やインターネットにアクセスするための通信環境の整備が進み、利用者はいつでもどこでも欲しい情報の入手が可能になった。

一方、インターネットは大量の情報であふれており、知りたい情報や利用したいサービスになかなかどり着けないことも多い。このような不便な状況を解消するため、実世界の様々なモノとネットワークサービスをつなぐための試みが増えている。例えば、QR コードや RFID などの識別情報をモノに直接貼り付ける方法は以前から使われていた。最近では、モノに何かを貼り付けるのではなく、モノが置かれている建物や部屋、コーナーといったエリア単位で情報サービスを関連づける方法として、GPS、Bluetooth、超音波、可視光通信などを用いる方法が利用され始めている。様々な技術でモノとネットワークがスマートにつながってきている反面、それぞれの技術には課題があり、利便性の

面ではまだ改善の余地があると考えられる。

QR コードや RFID などによって識別情報をモノに直接貼り付ける場合、美観を重視する店舗のショーケースや美術館などの展示物には適用が難しいという問題がある(課題 1)。また、RFID は識別情報を読み取るために専用装置が必要であり、専用装置を搭載していないスマートデバイスではサービスを利用できない(課題 2)。更に、GPS や Bluetooth などはエリア単位の情報を利用者に配信するには適している反面、目の前にある商品や展示物などモノ単位で異なる情報を配信するといった、より細かい制御は難しい(課題 3)。

これら三つの課題を解決するため、富士通研究所は、LED 照明からモノへ照射する光に ID (商品情報などを数値化したもの) を埋め込み、その光に照らされたモノから ID を復元可能な LED 照明技術を開発した[1][2]。照明から照射する光に目には見えない情報を埋め込むことで、照明に照らされたモノから、例えばスマートデバイスなどのカメラ

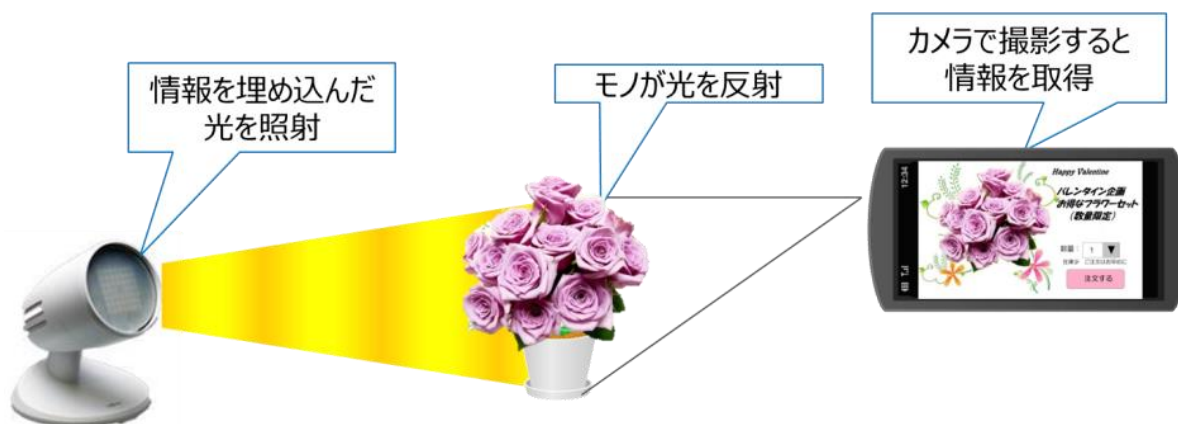


図 1 モノに情報を付与する LED 照明技術

†1 (株)富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.
a) kato.keizo@jp.fujitsu.com

への情報配信を実現する。照明の光を利用することで美観を損ねることなく情報を付与することができる。また、一般的に搭載されているカメラで受信できるため、市販のほとんどのスマートデバイスで本技術によるサービスが利用できる。更に、今回の開発技術では、指向性のある光をモノにピンポイントで照射することによって、モノ単位での情報配信を実現する。これにより、利用者はカメラをモノに向けるだけで、様々な情報を容易に取得できる。この技術により、店舗の商品、美術品、人物、建造物など、様々なモノを情報の発信源にできるようになる。

加えて、開発技術はその動作原理の特性によりLED照明以外に、プロジェクションマッピングなどへの応用も可能である。投影されたコンテンツに様々な付加情報を埋め込むことで、よりコンテンツの価値を向上させることが期待できる。しかし、大規模なプロジェクションマッピング環境において、一般のスマートフォンのカメラで情報がどの程度検出可能であるかは、評価の必要がある。

本稿では、まず開発したLED照明技術(以下、開発技術)について解説する。次に大規模なプロジェクションマッピング環境における実証実験の結果について報告し、最後にまとめと今後の展望について述べる。

2. 開発技術

2.1 開発技術の概要

従来技術の課題を解決するため、商品や美術品などを照

らしている照明装置を活用する情報付与技術を開発した。図1は開発技術の概要である。

モノを識別するためのIDを埋め込んだ光を照明装置からモノに照射し、モノに反射した光をスマートデバイスなどのカメラで撮影して、光に埋め込まれたIDを画像処理で検出する。このIDに応じたコンテンツを利用者に提供することで、様々なサービスへの誘導を実現する。例えば、店舗で商品撮影すると、その商品の割引情報や在庫状況などが利用者のスマートデバイスの画面に表示される。このような用途を検討した場合、カメラは照明装置ではなく、そこから照射される光を反射するモノに向けられる。そのため、技術的には光源からの直接光だけでなく、モノに反射した光からも情報を受信できる必要がある。また、運用面を考えると、導入にかかる時間やコストを考慮することも重要である。

図2は本技術を応用したシステム構成の一例である。このシステムでは、利用者がスマートデバイスのカメラをモノにかざすと、インストールされた専用アプリケーションが光に埋め込まれているIDを画像処理によって検出する。その後、専用アプリケーションがクラウドにアクセスし、検出したIDとひも付けして管理されているURLなどを自動でダウンロードすることで、利用者をWebサイトに誘導する。インターネットにアクセスできない環境でアプリケーションを使用する場合は、表示するコンテンツをアプリひも付けして保持し、カメラでIDを検出する際に対応したコンテンツをオフラインで表示する。

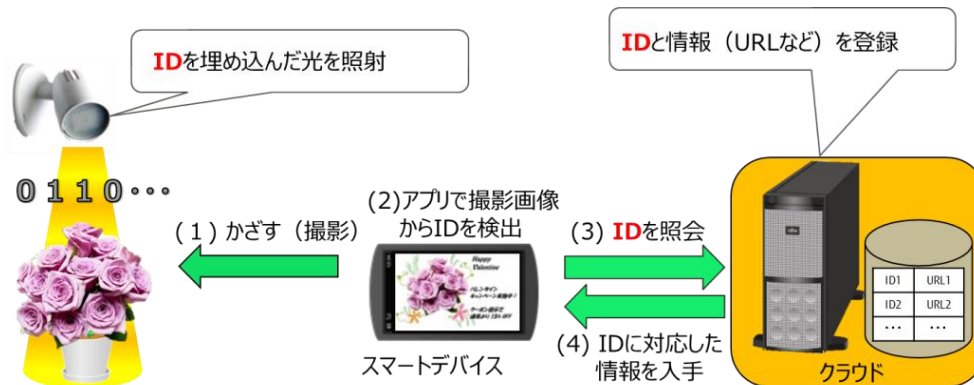


図2 システム構成の一例



図3 適用例

IDを検出する画像処理技術は、ソフトウェアだけで実装可能である。このため、利用者はアプリケーションをアプリストアからダウンロードしてインストールするだけで、本技術を適用したサービスを利用できる。また、照明装置に関しては、電源などの既存の照明用設備をほぼ流用する形での導入を想定している。サービスを提供する店舗や美術館などは電源などの増設が不要であるため、短期間かつ低コストでの導入が可能である。また、光は指向性が強く、照射する範囲を容易にコントロールできるため、モノ単位など狭い範囲にピンポイントで情報を付与できる。

開発技術により、光を照射するだけで商品や美術品に限らず、巨大な建造物や、人や動物などの生き物にも情報を付与できる。スマートデバイスをかざすだけで対象物に関するコンテンツを取得できるため、下記のようなサービスへの展開が期待されている（図3）。

1. 店舗で、商品情報の提供、自動決済および配送
2. 博物館や美術館で、解説動画の自動配信
3. 舞台上、演目の解説や楽曲のダウンロード
4. 観光地で、歴史的建造物などの解説を観光客の母国語で表示

2.2 ID埋め込みの原理

カラーLEDは、RGBの3色の光を合成して様々な色の光を照射できるという特徴を有している。開発技術では、RGBの各素子から発する3色の光の強弱をそれぞれ時系列で制御し、光の色をわずかに変化させて波形を生成し、IDを埋め込んでいる。その際、ちらつきが発生しないようにRGBの強弱のバランスを調整する。

具体的なIDの埋め込み方法として、二値のバイナリデータとして表現できるIDの送受信を例に説明する。図4に示すように、時間の経過とともに色を変化させて波形を発生させ、この変化のパターンを変えることによって、一方

を「0」を表す波形、もう一方を「1」を表す波形とする。この2種類の波形を時系列で切り替えることによって、バイナリデータであるIDを光に埋め込む。「0110」というIDを送信する場合は、「0」の波形を照射した後、「1」の波形を2回照射し、最後にもう一度「0」の波形を照射する。

生成した波形の振幅は非常に微小であり、その変化は人の目では気づきにくいレベルある。そのため、見た目は普通の照明光に見えるという特徴があり、照明本来の目的で使用できる。生成した波形には、一般的なスマートデバイスのカメラのフレームレート（30 fps）でも読み取れる程度の低い周波数を使用しているため、受信専用の装置が不要であるという利点がある。また、人の目は明るさの変化に敏感なため、単純に明るさを低い周波数で変化させると、僅かな変化でもちらついて見えてしまう。一方、開発技術では人の目が知覚しにくい色の変化を利用することで、ちらつきを認識しにくくする効果がある。

2.3 プロジェクションマッピングへの応用

ディスプレイやプロジェクターなどの表示装置は、一般的に30 Hz以上のリフレッシュレートで画像を表示している。開発技術では、30 Hz未満の低い周波数で光の色を変化させた波形によってバイナリデータを送受信しているため、プロジェクターでも表示できる。そのため、LED照明以外に、プロジェクションマッピングなどへの応用も可能である。プロジェクターで信号を表示するには、プロジェクターを直接制御するほかに、再生する映像コンテンツに予め信号を埋め込んで置く方法がある[3][4]。図5に示すように、色を微弱に変化させる点の数を時間ごとに増減させることで、映像全体の平均の色を時系列に変化させ、映像コンテンツに信号を埋め込む。

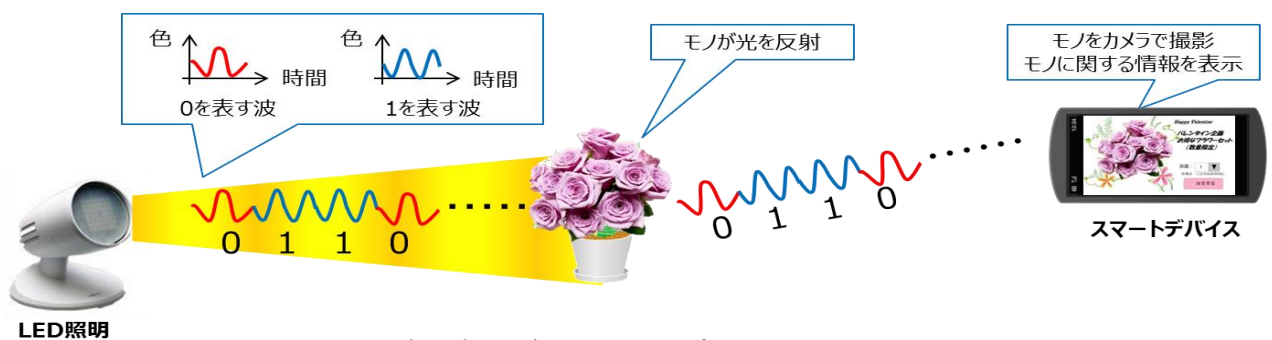


図4 色の時系列変化によるIDデータの埋め込み

■ : 色が変化する点

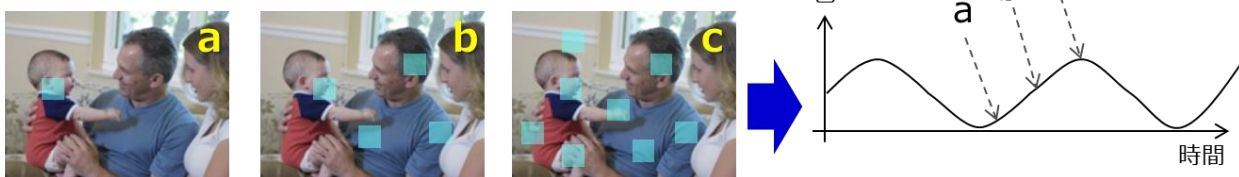


図5 映像への変化の色埋め込み

3. 実験

プロジェクションマッピング用のプロジェクターで ID を埋め込んだ映像をビルに投影し、スマートデバイスのカメラで ID の検出が可能か否かを検証する実証実験を行った。

3.1 実験条件

実験は日没後に開始した。図 6 は投影対象のビルとプロジェクター、撮影箇所的位置関係を示している。ビルから約 70m 離れた地点からプロジェクターの投影を行い、プロジェクターのすぐ傍の地点①とビルから約 100m 離れた地点②から検出を行った。投影された映像の大きさは縦横共に 30m 程度であった。図 7 は地点①におけるプロジェクションの様子と、スマートフォンで検出実験を行っている様子である。図 8 は地点②からプロジェクションの様子を撮影したものであり、図 9 はプロジェクションの雰囲気が分かりやすいように地点①や②よりも明るい場所で撮影したもので、地点②の方向で約 40m の距離から撮影している。実験に用いたプロジェクター、スマートフォンは表 1 の通りである。

映像コンテンツは表 2 に示す 4 つのシーケンスを用いた。広告を想定した実写映像 3 種類と、イベント演出を想定したアニメーション映像 1 種類を、なるべく色味が偏らない様に選定した。それぞれのシーケンスをキャプチャしたものを図 10 に示す。

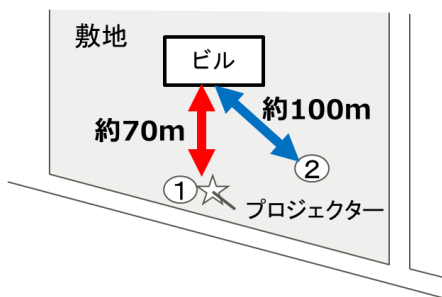


図 6 投影対象、プロジェクター、撮影箇所の位置関係



図 7 地点①での検出の様子



図 8 地点②から見たプロジェクションの様子



図 9 約 30m 地点から見たプロジェクションの様子

表 1 実験に使用した機器

プロジェクター	PT-DZ21K (Panasonic)
光出力	20,000 (ANSIlm)
スマートフォン	SO-04E(地点①),F-01F(地点②)

表 2 実験に使用した映像

シーケンス	再生時間(秒)	実写/アニメ
1 (Coffee)	21	実写
2 (PC)	11	実写
3 (Penguin)	10	実写
4 (Crystal)	30	アニメ



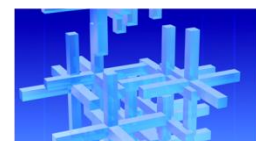
1 (Coffee)



2 (PC)



3 (Penguin)



4 (Crystal)

図 10 実験に使用したシーケンスのキャプチャ画面

16bit の ID に、冗長化符号を付加した信号を 1.6 秒周期で繰り返し映像に埋め込んだ。シーケンスを再生している間、スマートフォンのアプリケーションで繰り返し信号を検出し、平均の検出時間を測定した。通常、室内でモニターから撮影するときには平均 3 秒以内で検出が可能である。

色成分の量子化階調が 0~255 の 8bit である映像に対し、平均画素値の変化が最大 3.8 となるように強度を調整した。投影された映像で色のちらつきのようなものは殆ど感じられなかった。

3.2 実験結果

検出結果を図 11 示す。地点①と地点②で、シーケンス 4 を除いて検出時間に大きな違いはなく、平均 3 秒以内で検出が出来る。

唯一平均検出時間が 3 秒を超えた地点①でのシーケンス 4 の検出においては、計 8 回検出をしていた。このうち初回の検出が 5.0 秒、2 回の検出が 7.2 秒と大きく時間を要しており、最初の 2 回を除いた場合の平均検出時間は 2.7 秒と、地点②での結果と同等である。シーケンス 4 は冒頭とそれ以降で場面の移り変わり等は無く、同じようなアニメーションが続いていることから、シーケンスの性質が影響した可能性は小さいと考えられる。実際、地点②ではこのようなばらつきは見受けられなかった。時間がかかった原因として、カメラの露出制御を自動にしており、シーケンス 4 の冒頭検出時に置いて補正が上手く合わなかったことが要因の一つと推測される。これについては、露出の補正を固定または半固定にする等で改善が可能であると考えられる。

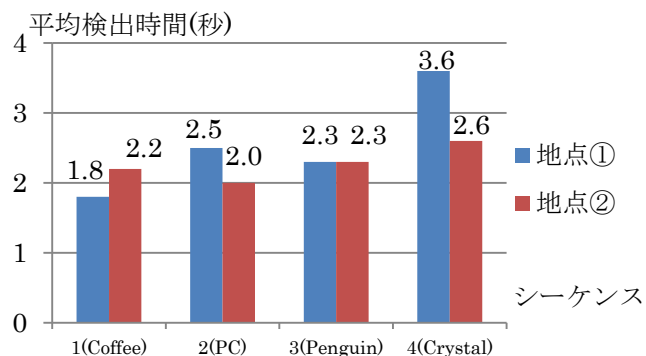


図 11 検出結果

今回の検出実験では、殆どの場合において通常の室内での利用と同じように、平均 3 秒以内と良好な検出結果を得ることが出来た。距離が 70~100m 程度あったことで、一般のスマートフォンのカメラでは色の変化が読み取りとり辛くなることが懸念されたが、人の目で見ても殆ど分からない程度の色の変化でも検出可能であった。

まとめと今後の展望

本稿では、モノに情報を埋め込む LED 照明技術をプロジェクションマッピングに応用し、大規模なプロジェクションマッピングで実証実験した際の結果について報告した。建物から 70m~100m 離れた距離から一般のスマートフォンで検出したところ、室内などでの利用と遜色ない平均 3 秒以内の検出が可能であった。

今回は建物元の色がグレーであり、元の映像コンテンツの色を比較的素直に再現でき、形状も平坦であった。建物の色や形状が変わった時に検出性能がどの程度保てるか、今後評価が必要となる。

幅広い場面での応用に向けて[5]、これからも様々なシチュエーションでの評価を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 富士通研究所, “モノに情報を付与できる LED 照明技術の開発に成功.”. <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/11/17.html>
- [2] 倉木, 加藤, 田中, “モノに情報を付与できる LED 照明技術”, FUJITSU, Vol. 66, No.5, pp88-93, 2015. <http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/jmag/vol66-5/paper12.pdf>
- [3] 倉木, 中潟, 田中, 阿南, “ディスプレイと携帯端末間の通信を実現する映像媒介通信技術”. FUJITSU, Vol.64, No.5, pp.504-509, 2013. <http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol64-5/paper07.pdf>
- [4] 富士通, “映像通信ソリューション リンクインビデオ”, <http://fenics.fujitsu.com/networkservice/linkinvideo/>
- [5] Kuraki, Kato, Nakagata, and Tanaka, “File transfer system by a hidden ID signaling using camera in smart devices: Easy file sharing between computers and smart devices”, 2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), pp130 – 134, 2015.