

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500241

研究課題名(和文)照明空間とカメラを用いた演出連動型の情報配信

研究課題名(英文)Directable data transmission with digital lighting and camera

研究代表者

栗山 繁(Kuriyama, Shigeru)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20264939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：場所に応じて配信される情報をスマートフォン等の携帯型情報端末で受け取るために、意図的に調光される光源で照らされる物体等を付属のデジタルカメラで撮影した動画から情報を読み取る技術を開発した。この技術は、その場に設置されたLED照明の光源色を配信情報をコード化したパターンで調光し、動画からはその変化量を検出して復号化する事により、2次元バーコードや近接無線通信に代わる情報の配信手段を提供する。これは既存の可視光通信とは異なり光源の高速変調を必要とせず、標準的なイメージセンサでの読み取りを可能とするので、市販のカラーLED照明やカメラ付きスマートフォンの製品を用いて、送受信器を低コストに開発できる。

研究成果の概要(英文)：This research developed a data communication system with a digital camera equipped on a mobile internet devices such as smartphones. It reads embedded data by decoding the patterns of varying color intensities from the movies that capture objects lightened by color LED bulbs. Our transmitter intentionally controls the colors of the LEDs according to the encoded data for delivering relevant information, and a receiver decodes it by detecting their variations with ordinary image sensors, by which existing technologies such as two-dimensional codes or near field communication can be replaced for appropriate environmental conditions. This technology requires no special devices capable for modulating or sensing visible lights at high frequencies, which used in existing visible lighting communications. Our system can be implemented with commercial smartphones and digitally controllable color LED lightings, which is suited to develop communication devices at very low cost.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報配信システム 可視光通信 カラーLED モバイルデータ通信 イメージセンサ 光源色調光 コピキタス・コミュニケーション デジタル照明

1. 研究開始当初の背景

(1) 広告物や場所と関連する情報を携帯電話やスマートフォン等の携帯型情報端末で読み取る各種要素技術が提案されている。特に、バーコードやマーカ等を利用した技術は既に普及しており、その美観を改善するためにデザイン的要素を付加する手法、テキストやイラスト画像にコードを埋め込む手法、および特殊印刷技術でコードを目立たなくする手法等が提案されている。しかしながら、コードを用いる手法は近接撮影を強いられ、配信情報を対話的操作や状況に応じて動的に即時更新できない等の問題がある。

(2) 画像中の撮影物体から検出される特徴量を用いて関連情報を取り出す手法も存在するが、この手法ではその特徴量をウェブサーバに登録しなければならず、外観が類似した物体同士では誤った情報が検出される等の問題点が存在する。さらに、特徴量の検出が困難な模様のない物体には適用できない。

(3) 上記の問題の解決策として可視光通信の導入が考えられるが、送信には光のちらつきを抑えながら大容量のデータを送信するために高い周波数帯域での変調を用いており、その信号の検出にも高速な応答性を有する特殊なイメージセンサと復号器を要する。

2. 研究の目的

本研究では、スマートフォンやタブレット端末等に搭載されているデジタルカメラで照明光が照射されている物体を動画撮影し、その画像データから変調光に埋め込まれた短縮 URL 等の関連情報を取り出せる、手軽な情報配信システムを提案する (図1 参照)。

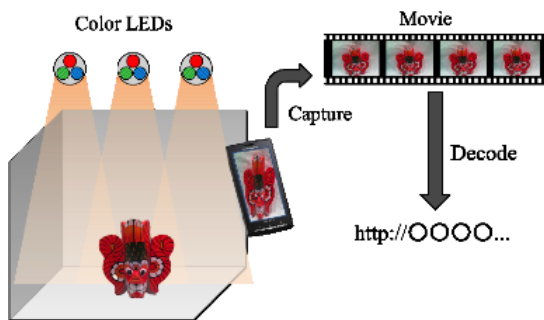


図1. 情報配信システムの概要図

情報配信は照明光が物体により反射される間接光を利用するので、デジタル調光可能なカラーLEDを照明および送信器として併用する技術を開発し、撮影画像から検出した配信情報を撮影シーンに実時間で重畳表示させる等の、情報配信サービスを提供する。

3. 研究の方法

(1) 配信情報を数値に符号化し、多段階でのデジタル調光が可能なカラーLED光源の色信号に変換して調光制御を行う。また、撮影

動画像から光色の変化を読み取って、情報を復号する機構を開発する。ゆえに、デジタルカメラに搭載されている標準的なイメージセンサでの検出が可能な、低速な色変調に対応できる検出機構を開発する必要がある。

本通信方式でのデータ処理の流れを図2に示す。

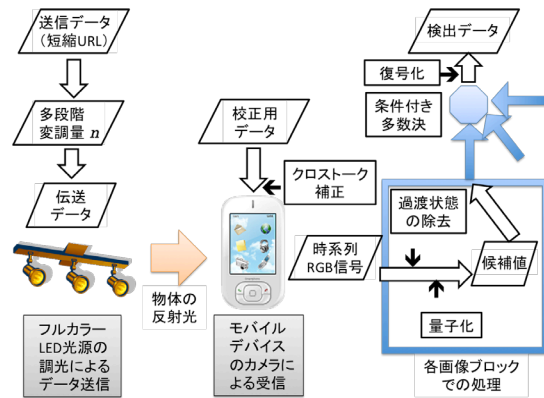


図2. 提案手法のデータ送受信の流れ図

(2) 可視光通信のオンオフ変調方式は、情報を高速に伝送するために光源を高い周波数で明滅させるので、人の視覚にはちらつきが感じられない。しかし高周波数での明滅変化を検出するためには、時間解像度の高い受光用センサが必要になる。一方、市販の標準的デジタルカメラの時間解像度は30フレーム/秒程度であり、伝送可能な情報量はオンオフ変調方式では最大で4バイト/秒程度しか確保できない。ゆえに、本研究では単位時間に伝送可能な情報量を増やすために、RGBの各光源素子を独立制御できるフルカラーLED照明を導入し、多段階調光により表現可能な色の状態数を拡大する。さらに、照明としての品質も保証するために色の恒常性も保証できる調光方式を開発する。

4. 研究成果

(1) 送信機構の開発

送信器の機能として、各光源の輝度を一定以上に保ちながら光源色を多段階に変化させる方式を開発した。この方式で生じる輝度と色合いの変化量は、人の視覚的な認知能力の観点から許容できる範囲内である事を実験的に確認し、情報配信と伴に照明としての機能も果たせる性能を達成できた。さらに、色変調の上限値と下限値、および配信情報の境界を自動検出できるように、時系列信号にヘッダ情報を設けるプロトコルを実装した。

(2) 受信機構の開発

受信器の機能として、イメージセンサの特性によって生じるクロストークを補正する手法、信号が変化する過渡状態における曖昧性を除去する手法、およびブロック毎に受信した信号を条件付きの多数決によって推定する方式を開発し、信号の検出精度を向上させた (図2 参照)。

(3) 信号検出の性能評価

図1に示した実験環境において、表面光学特性の異なる3種類の物体(図3参照)を用いて、伝送信号の検出率(約7バイト分の情報で正しく検出された状態の割合)を手振れの影響の無い撮影状態において実験的に調査した結果を表1に示す。

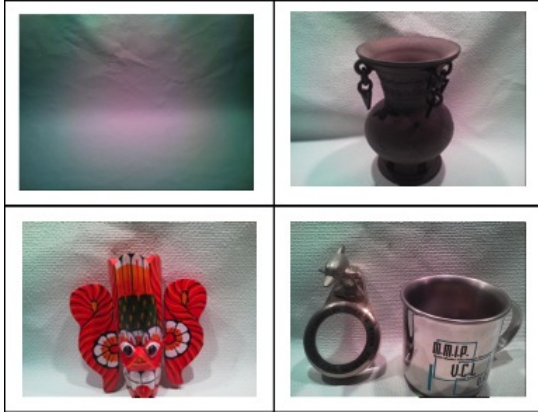


図3. 性能評価に用いた撮影物体
(左上:対象物無し、右上:青銅製壺、左下:木製工芸品、右下:金属製置物)

表1. 伝送信号の検出率

撮影対象	平均値	最大値	最小値
対象物無し	100.0	100.0	100.0
青銅製壺	98.7	100.0	93.3
木製工芸品	98.5	100.0	86.7
金属製置物	99.7	100.0	96.7

この結果、光を反射する撮影物体の材質に依存せずに98%以上の高い平均検出精度が確認できた。特に、物体が映っていない壁紙背景のみの場合は、100%の検出精度が得られた。したがって、撮影物体表面の光学特性に依存しない、安定した情報の復号が可能であることが実験的に確認された。

さらに、検出精度を高めるために導入した復号化の際の前処理の有効性を確認するために、各処理を個別に除外した際の検出率を同様の条件で求めた結果を表2に示す。

表2. 前処理を省いた場合の検出率

除外処理	平均値	最大値	最小値
クロストーク補正	93.2	100.0	86.7
過渡状態の除去	19.8	100.0	0.0
条件付き多数決	96.8	100.0	83.3

この結果、過渡状態の除去を用いないと検出率の平均値が80%程度減少するので、この処理は安定した検出には不可欠な処理であると推察される。また、クロストーク補正と条件付き多数決を用いる事による平均検出精度の向上は、各々6%と2%程度であることが確認された。

最終的には、短縮URLの配信に必要な約7バイトの情報を2秒という短時間で伝達できる性能が達成された。

(4) 送信器の照明としての認知的品質評価

送信器としての照明の明るさ変化の認知的な影響を定量的に調査するために、本手法の色変調パターンで1個の光源を変化させ、直下50cmの離れた地点で照度計により照度を測定した。その結果、RGBのオフセットからの変調量を0に設定した光度に対する変化量の割合は平均値が3.2%で最大値が6.4%であった。一方、人間は人工照明において7%程度の照度変化であれば認識が困難になる性質が報告されており、本手法での明るさの変化量は、人の視覚にはちらつきが目立たない範囲内であった。

次に、色の変化を定量的に検証するために、同じ環境条件と照度計を用いて三刺激値XYZを計測した結果からCIE2000式の色差式を用いて変化量を計算した結果、平均値が1.3で最大値が4.2であった。人の視覚は1.5以下の色差に対して識別困難であるという実験結果が報告されており、色変化に関しても平均的には目立ち難い状態であった。また、三刺激値XYZをxy色度図に変換した値で色変動の範囲を調査した結果、色度管理基準となるMacAdam楕円の範囲内であった。

以上の研究成果での技術的な貢献は、以下の様に要約される。

- ・信号受信器にクロストーク補正、過渡状態の除去、および条件付き多数決の機構を組み込めば、データの平均検出精度を向上できる。
- ・本手法の調光方式とデータ伝送形式を用いれば、照明の明るさや色の変化を目立たない範囲に抑制しながら、短縮URL程度のデータを2秒程度で配信できる。

これらの成果は、デジタル調光式のカラーLED照明を用いた情報配信機構と、デジタルカメラ搭載のスマートフォン等を用いた配信情報を受け取るアプリケーションを開発する基盤技術としての利活用が期待される。

本研究課題で実施した研究の成果は、国内を代表する学会での論文誌に掲載され、国外の学会会議でも成果を口頭発表した。

(5) その他関連研究の成果

送信器として用いられるLED光源には照明本来の調光機能も兼備する必要がある。本研究課題に関連する研究テーマとして、無線通信によってネットワーク型に調光制御できるLED照明ユニットを開発した。各ユニットには周波数帯域別に強度を計測できる照度センサを搭載し、各光源から照度センサに到達する光の割合(減衰率)を推定できる機構を開発した。

さらに、群知能に基づく最適化機構を導入した自律分散型の調光機構や、画像解析を用いた、直観的対話操作に基づく知的な省エネ調光機能を開発した。この対話的な調光機能の研究に対しては、国内関連研究会において優秀論文賞が授与されている(次章の学会発表リストでの10件目が該当)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

① 荻野雅泰、栗山繁、色調整可能な照明と物体反射光の動画撮影によるデータ送受信、電子情報通信学会論文誌、Vol. J97-A、No. 2、2014、pp. 96-103

〔学会発表〕(計 10件)

① Yoshitomo Kobayashi and Shigeru Kuriyama, Distributed LED Lighting System Integrated with Wireless Sensor Network, International Symposium on Technology for Sustainability, 2012/11/22, Bangkok Thailand

② Masayasu Ogino and Shigeru Kuriyama, Indirect light communication based on color modulation with general-purpose image sensor, International Symposium on Technology for Sustainability, 2012/11/22, Bangkok Thailand

③ 清水誠、神納貴生、栗山繁、動画像の周辺領域を効果的に演出する間接照明、照明学会全国大会、2013/9/6、名古屋大

④ 高井大輔、栗山繁、光源色の時間変動検出に基づいた照明の影響度推定、マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム、2013/7/12、北海道十勝川温泉

⑤ 神龍太、小林祥朋、栗山繁、照度センサ搭載型LED照明を用いた自律分散型調光制御、マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム、2013/7/12、北海道十勝川温泉

⑥ 高井大輔、栗山繁、スマートフォンカメラを用いたカラーLED光源の影響度推定、電子情報通信学会 2013 総合大会、2013/3/20、岐阜大学

⑦ 神龍太、栗山繁、照度センサ搭載型 LED 照明による自律的調光制御、電子情報通信学会 2013 総合大会、2013/3/20、岐阜大学

⑧ 小林祥朋、栗山繁、照明状態の動的変化を検知可能な LED 制御システム、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会、2013/3/15、東京大学

⑨ 荻野雅泰、栗山繁、LED 照明の色変動を用いた間接光型空間タグ、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会、2013/3/14、東京大学

⑩ 栗山繁、酒井郁夫、WYSIWYG Light:実画像を用いた照明の最適制御、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会【優秀論文賞】、2012/5/17、豊橋技術科学大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗山 繁 (KURIYAMA, Shigeru)

豊橋技術科学大学・大学院情報知能工学研究科・教授

研究者番号：20264939