

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：14701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650029

研究課題名(和文) 発光色の色変化による可視光通信を用いた非常時通信方式の基礎研究

研究課題名(英文) A basic study of new method of visible light communication using full-color LED for emergency communication

研究代表者

塚田 晃司 (Tsukada, Koji)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：80372671

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：大規模災害時には、既存通信インフラが使用できない場合の代替通信手段の確保が重要課題である。本研究課題では、代替通信手段の一つとして、可視光通信の非常時通信への適用を提案した。発光色の变化で変調する方式を採用したプロトタイプシステムを実装した。そして、評価実験を実施し、誤り率の低減のためには解決すべき課題は多々あるが、夜間においては十分実用性があることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Since the existing communication infrastructure cannot be used at the time of a large-scale severe disaster, development of an alternative communication method is important. In this research, we proposed a new method of visible light communication using full-color LED for emergency communication. We proposed a new modulation with use of changing color of full color LED, and have implemented a prototype of emergency communication system based on our method. And, we found many issues for reducing communication error rate as a result of an evaluation experiment using the system. Moreover, we found that using the system at night was useful as a result of an experiment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：非常時通信 可視光通信 孤立集落 救難サイン

### 1. 研究開始当初の背景

非常時通信では従来から無線通信が使用されていた。防災行政無線、衛星電話は住民が手軽に利用できず、携帯電話は広域災害では利用できない場合がある。無線LANによるアドホックネットワークも注目されている。しかし、ISMバンドで手軽に利用できる反面、広く普及しているため、混信・干渉が問題である。2004年の新潟県中越地震の際は既存通信手段が断絶したため、孤立した住民は救助要請のメッセージを地上にペンキで書き、上空を飛行する自衛隊や消防のヘリコプターに伝えるしかすべがなかった。昔ながらの手段には、狼煙、松明の火がある。光により存在・位置を知らせ、煙色により情報伝達が可能である。

そこで本研究課題では、これをヒントに、手軽に利用でき、長距離を空間伝播する色変化による可視光通信の非常時通信への適用に着目した。

### 2. 研究の目的

可視光通信の研究の多くは、利用者に悟られずに通信することを目標に、人間に知覚できない変調方式に着目している。非常時通信の場合は上空からの被視認性が重要であるので、逆転の発想で、遠方から目立つ発光色の色変化を用いた変調方式が効果的である。2009年に実施した予備実験では400m(ヘリコプターの飛行高度相当)の距離で通信可能であった。そこで、実用化を踏まえた通信の信頼性・性能の向上のために、外乱に強い変調方式の検討などの課題解決を目的とする。

### 3. 研究の方法

可視光通信で使用する発光体(送信側)とカメラ(受信側)の色特性を正確に測定し、利用可能な色空間の範囲を決定する。また、色判定手法についても検討する。決定した色空間内で街灯や日光などの外乱に強いデータ変調・復調方式について検討する。そして、提案方式にもとづくプロトタイプを実装し、実環境を想定した実証実験をおこなう。

### 4. 研究成果

本研究課題では、

- (a) 救難サインや狼煙などの代替手段の利用が困難な夜間に使用できること
  - (b) 救援要請の情報をテキストベースで伝達できる通信速度を確保すること
- の二つの要件を満たすことを目標に、既存通信インフラが使用不可能な場合の代替通信手段の一つとして、可視光通信の非常時通信への適用を提案した。

図1に本研究課題のコンセプトを示す。孤立集落の住民が地上から上空の消防・警察・自衛隊などのヘリコプターに救援要請のメッセージを伝えることを想定している。

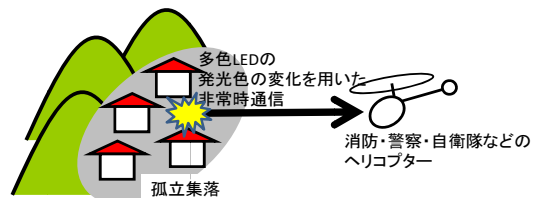


図1 提案システムのコンセプト

図2にシステム構成図を示す。地上に多色LEDを使用した発信機を設置し、ヘリコプターにカメラを備えた受信機を搭載する。そして、カメラで撮影した画像に映る多色LEDの光から、救援要請のメッセージを読み取る。本提案では、単一の受光素子を用いた可視光通信ではなく、カメラのような二次元撮像素子を用いたイメージセンサ通信であるので、画像中に複数の発光源があったとしても、並列に情報を受信することが可能である。

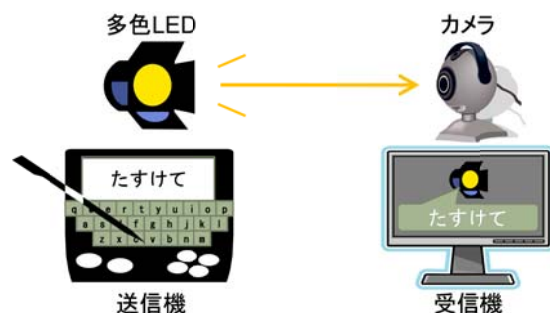


図2 システム構成図

また、多色LEDの発光色の変化をデータ変調に用いる。これは、人間の目でも色の変化として認識でき、上空からの視認性が高いことが期待される。災害時の利用を想定した場合、上空から気づいてもらうことが重要である。従来の無線通信では、受信機が無ければ地上で情報が発信されていること自体に気が付けない。しかし、可視光通信では、送信しているメッセージは不明でも、誰かがメッセージを発しているということ自体に気付くことができる。さらに、地上にある他の光源(街灯、自動車の前照灯など)は単色光の発光であるため、発光色の変わる光源はそのような光源の中でも目立ちやすいという利点がある。

#### (1) 変調・復調方式の検討

送信側は送りたいメッセージを入力し、入力した情報に対応する色を発光させることにより情報の送信を行う。送信時は、入力された文字列を一字ずつ2進数のビット列に変換する。

使用する色は赤(R)・緑(G)・青(B)・シアン(C=G+B)・マゼンタ(M=R+B)・イエロー(Y=R+G)・白(W=R+G+B)の7色であり、白以外の6色に2ビットを割り当て、白を文字と文字の間隔のために使用する。

文字列をビット列に変換した後、2ビットごとに切り分け、色を発光していく。図3のように RGBCMY の6色を並べ、現在光っている色からいくつ隣の色に変化したかにより情報を識別する。1つ隣の色に変化した場合は00, 2つ隣の場合は01, 3つ隣の場合は11, 4つ隣の場合は10の情報を送ったことになる。文字を送る際に白を最初に発光することによって、受信側と送信側の同期を図る。白から他の色に変化することによって情報の送信を開始する。

図3におけるRの位置を最初のWの位置とし、何色に変化したかによって送られた2ビットの情報を識別し、一文字分の情報が送られるたびに再び白を発光することによって一文字分の区切りを示す。このように2ビットの4値を決定しているため、01010101のように同じ2進数2桁の情報を繰り返し送っても、送信側の色変化はWGBRGとなり、同じ色が連続しないようになっている。そのため、受信側と送信側でタイミングの同期をせずに通信を開始することができる。

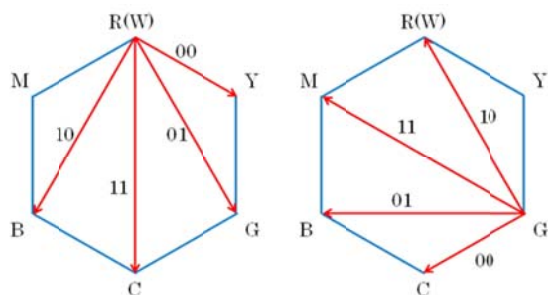


図3 色変化による変調方式

## (2) 色判定手法の検討

受信側は、送信側から送られた光をUSBカメラにより取得し、得られた色から2ビット情報に復調し、復号した結果の文字列を表示する。

観測値の色の判別には、基準とする赤(R)・緑(G)・青(B)・シアン(C=G+B)・マゼンタ(M=R+B)・イエロー(Y=R+G)・白(W=R+G+B)と背景光のRGB三次元ベクトルを用意する。これらを用いて観測値との比較をおこなう。これらのRGB三次元ベクトルから、座標系変換を行い、観測値のベクトルとのcos類似度を計算することで色識別を行う。この基準ベクトルは通信時の周辺環境により変化するため、各場面において動的に座標変換する必要がある。本研究では、基準ベクトルの推定と変換行列の生成にK-means++法を適用した。

観測値ベクトルを $(r \ g \ b)^T$ とすると、座標変換後のベクトル $(R \ G \ B)^T$ は以下の式で表すことができる(図4参照)。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = AXZY \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

ただし、

$$Y = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

$$Z = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \cos \phi & \frac{\cos \psi}{\sin \phi} \\ 0 & \sin \phi & \frac{\cos \eta - \cos \psi \cos \phi}{\sin \phi} \\ 0 & 0 & \frac{\sqrt{g}}{\sin \phi} \end{pmatrix}^{-1}$$

$$g = 1 - \cos^2 \phi - \cos^2 \psi - \cos^2 \eta$$

$$+ 2 \cos \phi \cos \psi \cos \eta$$

である。

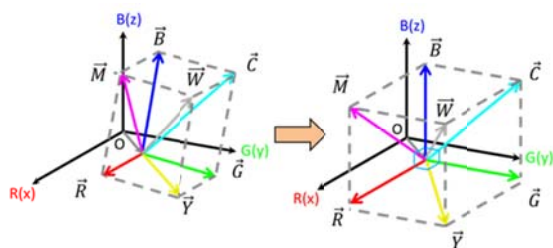


図4 観測ベクトルの座標変換

## (3) 実装と評価実験

### ① プロトタイプシステムの実装

送信側の多色LEDには、舞台照明用に使われるパーライト(Alkalite社製Octopod75)を使用し、照明機材制御に使用するDMX512プロトコルにより発光色を制御している。

DMX512プロトコルの送出には、DMXコントローラ(ENTTEC社製DMXUSB PRO)をPCに接続して制御している。受信側では、輪郭抽出、輪郭追跡、復調処理をOpenCVを用いて実装している。カメラは、USBインタフェースを備えたCCDカメラ(センサーテクノロジー社製STC-TC33USB-AS)を使用している(図5参照)。

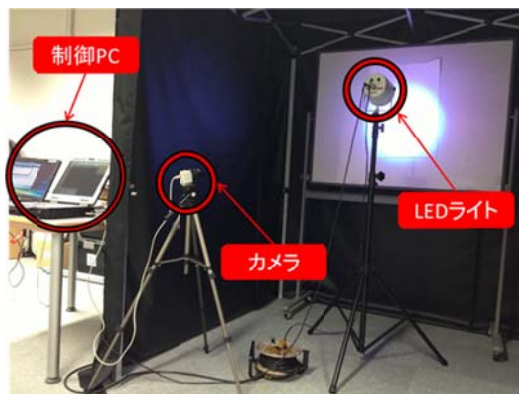


図5 プロトタイプシステム

## ②評価実験

プロトタイプシステム（提案方式）で通信速度を変化させ、通信成功率を測定した。また、比較対象として、座標変換を静的におこなっていた先行研究（岡，塚田，RGB 色ベクトルの推定を用いた災害時可視光通信システムの提案と実装）についても同時に測定した。

送信機と受信機は、航空法および同法施行規則により定められているヘリコプターの最低安全高度を目安として水平距離で約 300[m] 離して設置し、想定利用状況である夜間に屋外で測定した。結果を図 6 に示す。

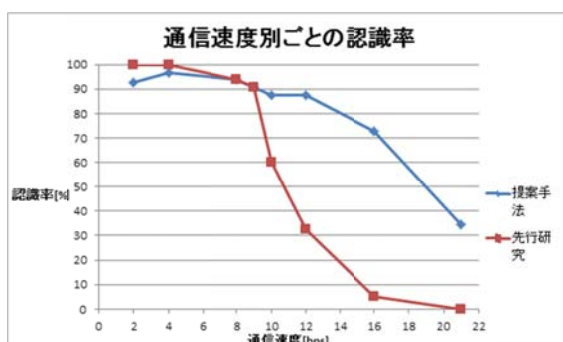


図 6 通信成功率

通信速度は 2[bps]（発光色変化周期 800[ms] の場合）から 21[bps]（発光色変化周期 75[ms] の場合）である。8 ビット文字コードを使用すると仮定すると、毎分 15 文字～157 文字の通信速度となる。この速度は、一般的な無線 LAN に比べると極めて低速であると言わざるを得ない。

しかしながら、第一級～三級総合無線通信士に要求されるモールス電信の打鍵速度が欧文 100 文字/分であることを考慮すると、他の通信手段が使えない非常時において、電信や手旗信号などの特殊技能がなくともこの通信速度での情報発信ができるのであれば、代替通信手段として十分利用価値がある。通信速度は発光色の色変化周期と密接に関わっており、色変化周期を短くすれば通信速度を高速にできる。

一方、高速な光の点滅、輝度変化は光感受性発作を誘発することが知られており、適切な色変化周期を検討することが課題である。

### (4) 総括

大規模災害時には、既存インフラが使用できない場合の代替通信手段の確保が重要課題である。本研究課題では、代替通信手段の一つとして、可視光通信の非常時通信への適用を提案した。

発光色の变化で変調する方式をベースとして、

- 救難サインや狼煙などの代替手段が使えない夜間に使用できること
- 救援要請の情報をテキストベースで伝

達できる通信速度を確保できることを目標に、プロトタイプシステムを実装した。そして、評価実験を実施し、誤り率の低減のためには解決すべき課題は多々あるが、夜間においては十分実用性があることを確認した。

また、プロトタイプシステムでは発信側に特殊用途の LED ライトを使用しているが、発信側の処理はビットパターンに応じて発光色を切り替える処理だけで良いため、携帯電話機のアプリとして、あるいは、LED 懐中電灯への付加機能として、十分に組み込み可能である。

今後は、可視光通信の防災・減災分野への適用について、技術的な観点からだけでなく、孤立可能性集落をかかえる自治体や住民の意見を取り入れながら、研究開発に反映させていく必要がある。

## 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) 塚田晃司, 岡崎匡紀, 可視光通信を用いた非常時通信の試み, 減災情報システム合同研究会第 1 回研究会予稿集, 査読無, DRIS-2014-0321-07 (<https://sites.google.com/site/drisjw/event/dris2014-03-21>), 2014 年

〔学会発表〕（計 4 件）

(1) 岡崎匡紀, 塚田晃司, 発光色の推定に K-means 法を適用した災害時可視光通信手法の提案, 情報処理学会第 76 回全国大会, 2014 年 3 月 12 日, 東京電機大学

(2) 岡裕大, 塚田晃司, RGB 色ベクトルの推定を用いた災害時可視光通信システムの提案と実装, 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013 年 3 月 6 日, 東北大学

(3) 高田政裕, 原山拓士, 塚田晃司, 発光色の变化による非常時通信システムの改良と実装, 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012 年 3 月 7 日, 名古屋工業大学

(4) 原山拓士, 高田政裕, 塚田晃司, 揺れ、移動を考慮した非常時可視光通信システムの改良と実装, 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012 年 3 月 7 日, 名古屋工業大学

〔その他〕

技術展示

(1) 災害に強い情報通信技術の開発, 和歌山大学防災講演会, 新宮市職業訓練センター, 2014 年 2 月 1 日

(2) イメージセンサ通信を応用した非常時通信システム, 防災活動発表会&防災地産地消展, 和歌山ビッグ愛, 2012 年 9 月 1~2 日

(3) イメージセンサ通信を応用した非常時通信システム, 第 6 回「地域防災防犯展」大阪特別企画 安心・安全社会システム構築の

ための『RT（ロボットテクノロジー）マッチングプラザ』, インテックス大阪, 2012 年 6 月 7～8 日

(4) 多色 LED を用いた災害時の救難サインシステムの研究開発, ビジネス・エンカレッジ・フェア 2011, 大阪国際会議場, 2011 年 12 月 13～14 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塚田 晃司 (TSUKADA, Koji)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：80372671

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし