

発光色の色変化の認識率を向上させる符号化方式を適用した 災害時可視光通信手法の提案

岡崎匡紀^{†1} 岡本典樹^{†1} 塚田晃司^{†2}

概要: 災害が発生すると、携帯電話などの既存の情報伝達インフラが機能しなくなることがある。さらに日没後には、周囲が暗くなるために被災地の捜索や被災者の安否確認が著しく困難となってしまう。このような状況に対処する通信方式として、夜間でも発見が容易に行える可視光の色変化が考えられる。可視光通信では、光の色を正しく認識することが重要である。ある色から別の色に変化する際に、RGB値が色の変化途中を表すフレームを取得し、復号処理に悪影響を及ぼすことがある。本研究では、そのような変化途中のフレームを取得してしまう場面を低減し、また取得してしまった場合においても復号処理に影響を及ぼさないアルゴリズムを提案する。

キーワード: 災害時通信, 可視光通信, イメージセンサ通信

Disaster Communication System using Visible Light Communication Applying Transmission Encoding Method Improving Recognition Rate of Luminous Color Shift

MASAKI OKAZAKI^{†1} NORIKI OKAMOTO^{†1}
KOJI TSUKADA^{†2}

Abstract: When a disaster occurs, we can't use the existing communication infrastructure such as cell-phones. Furthermore, it becomes difficult to search of the disaster area, to confirm victim's safety after sunset. As a communication method to deal with such situation, we focus on luminous color shift of visible light that is easily to detect at night. By the visible light communication, it is important to recognize a color of the light. When the color change from certain color to different color, a frame whose color value of RGB is middle of the color may be acquired, and it may adversely affect decoding processing. In this study, we suggest the algorithm that reduce frequency of acquiring a frame that expresses middle color and it does not have an influence on the decoding processing even if it acquires a frame that expresses middle color.

Keywords: Disaster Communication, Visible Light Communication, Image Sensor Communication

1. はじめに

災害が発生すると、建物の倒壊や火災により基地局のアンテナが倒壊し、携帯電話などの既存の情報伝達インフラが機能しなくなることがある。物理的障害が発生しなかった場合においても、安否確認などを行うことにより通信量が増大し、輻輳が発生することにより情報伝達を行うことが困難になってしまう。

以上のような状況において、外部に情報を送る方法として、はじめに声や音を出すことが考えられる。しかし、体力的な限界があり、音の届く範囲は非常に限られてしまう。また、複数箇所の音源から情報が送られてきた場合、情報源の判別が非常に困難となる。

他の方法として、無線を利用して通信を行うことも考えられる。しかし、無線通信を行うためには免許が必要であり、さらに電波は目に見えないため、通信状況の確認が機

器なしでは行えないといった問題点がある。加えて、いつ情報が発信されるかは不定であるため、常に機器を待機状態にしておく必要があり、無駄が多くなる。

視覚に訴える手法として、狼煙や救難サイン[1]を利用したものがあある。しかし、狼煙は誰でも実行可能というわけではなく、また実施には危険を伴う。救難サインは情報量の増加とともに設置面積も増加してしまうといった問題点が挙げられる。さらに、どちらも夜間には見えなくなり、使用できなくなってしまう。

そこで、本研究では視覚に訴える情報伝達手段として、可視光の低速な色変化に着目する。可視光の色変化は自然界に存在しないため気づきやすく、色に変化することにより情報の伝達が行われていることが視覚的にわかる。さらに、光を使用しているため、直進性が非常に高く、夜間においても使用することができる。このため、地上から上空を飛ぶ救助ヘリコプターに情報を送り通信を行う状況を想定している。被災地が送信側となり地上から上空へ向けて光を送る。ヘリコプターはカメラで光を受信し、それを文字情報に復号することにより情報伝達を行う。通信のイメ

^{†1} 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of System Engineering, Wakayama University
^{†2} 和歌山大学システム工学部
Faculty of System Engineering, Wakayama University

ージを図1に示す。

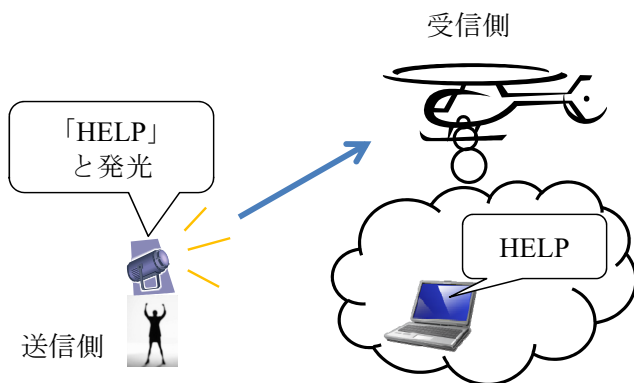


図1 被災地域における可視光通信の利用イメージ
 Figure 1 Image of visible light communication at disaster areas.

本研究グループでは、このような災害時可視光通信システムを提案し、機能改良を行ってきた。しかし、共通の課題として、受信側で誤った色を受信し、復号処理に悪影響を及ぼしている。ある色から別の色に変化する際に、カメラの1フレームが変化途中の色を取得するときがある。これが誤った色として復号処理に悪影響を与える。このような変化途中の色を取得する場面を低減し、また取得してしまった場合においても復号処理に影響を及ぼさない送受信アルゴリズムを提案する。

2. 関連研究

連続的な光の色変化と色相差を利用して通信を行う C-Blink がある[2]。色が変わる前後の色の色相差で情報を送信する。点滅周波数が同じ場合、単色光の点滅に比べ1光源あたりのデータ通信速度を高くできるが、送信するデータはIDなどの決められた情報しか送ることができず、動的なメッセージを扱うことには向いていない。

光の変化パターンを情報としてIDなどの情報を送る光クロノコードがある[3]。カメラが色彩の変化を読み取ることにより、カメラ画像内における光源(信号)の位置を検出し、データを読み取る。市販のUSBカメラを利用でき、1画素でも画面に映れば復号可能であり、システム導入の敷居は低い。しかし、こちらもC-Blinkと同様、IDなどの決められた情報しか送ることができない。

カシオ株式会社では、可視光を用いた情報送受信アプリ「Picalico (ピカリコ)」を開発している[4]。色の変化を情報とする色変調方式により情報を発信する。Picalico マーカーと呼ばれる光源から発信される情報をスマートフォンなどに搭載されているカメラ機能を用い、コンテンツナンバーを取得する。得られたコンテンツナンバーを元にサーバからコンテンツナンバーに対応する情報を取得する。

3. 提案手法

本研究グループでは、可視光の色変化を利用した災害時通信システムを提案している[5][6]。テキスト情報を光の色の変換し、順番に発光させた光をカメラで受光した後、得られた色の並びから元の文字列を復元する流れとなっている。色はRGB成分それぞれにおいて0から255までの計256段階、3成分で16,777,216通りの表現ができる。しかし、雑音などの影響により分解能を大きくすると認識率が下がってしまうため、大雑把にその色がRGB成分を含むか含まないかによって判別される赤(1, 0, 0)、緑(0, 1, 0)、青(0, 0, 1)、シアン(0, 1, 1)、マゼンタ(1, 0, 1)、イエロー(1, 1, 0)、白(1, 1, 1)の7色を用いて通信を行う。

本研究グループにおける先行研究において、最初に可視光の色変化を利用した災害時通信システムが提案されてから、認識率や利便性の向上・改善を目標にさまざまな研究が行われた。しかし、受信機にカメラを用いているイメージセンサ通信では、ある色から別の色に変化する際に、受信側カメラにおいて変化途中である中間色を取得してしまい、認識率並びに復元率が低下してしまう問題点があった。式(1)、図2に示すように、カメラのシャッタースピードと絞り値の組み合わせにより決まる露光時間中に送信側の発光色が変わることにより、以下の式で示されるように変化前の色成分と変化後の色成分が半々で交じり合ったようなRGB値が得られてしまう。

$$C_n = \frac{s}{\Delta t} C_a + \frac{\Delta t - s}{\Delta t} C_b \quad (1)$$

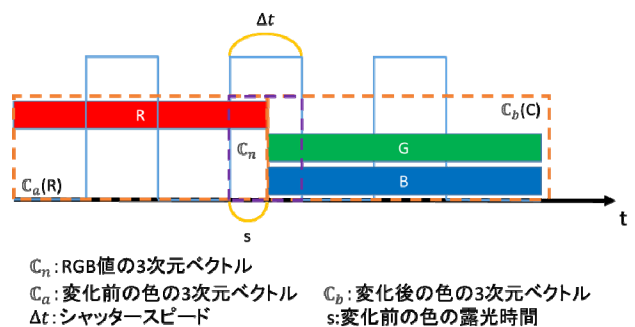


図2 中間色取得原理

Figure 2 A principle of acquisition middle color.

このような中間色を取得する現象は送信側のLEDの発光間隔や受信側のカメラのフレームレートに関係なく常に発生する現象である。

しかし、中間色を取得してしまった場合でも、色を表現するRGBの3成分のうち、どれか1色だけの色変化だった場合においては何色から何色へ変化する途中であったかを容易に推測できる。そのため、本研究ではこのように中

間色を取得しても正しい色の推測が容易に行える色変化パターンを有効利用した送受信アルゴリズムを提案する。

3.1 送信側

送信側では送りたいテキストメッセージを入力し、入力した文字から色の並びを決定し順に発光させることにより情報の送信を行う。使用する色は赤・緑・青・シアン・マゼンタ・イエロー・白の7色であり、白以外の6色をビット列の送信に利用し、白は送信側と受信側で一文字受け渡した際の同期を行うために利用する。符号化方式について、先行研究では1シンボルで2ビットの情報を送信する2B1Q方式を用いていたが、本研究では3シンボルで4ビットの情報を送信する4B3T方式を用いる。そして、4B3T伝送符号方式にMMS-43Codeを適用する。MMS43-Codeでは、4B3Tによる通信を行う際に、3シンボル「+」「0」「-」の出現回数が通信全体で均等になるように4つの状態（オフセット）からシンボル列とビット列を対応したものとなっている。MMS-43Codeの対応表を表1に示す。3シンボル列の右の括弧内の数値は現在のオフセットに括弧内の数値だけ増減させた値を次のオフセット値にする意味である。

表1 MMS43-Code(4B3T-Code)

Table 1 MMS43-Coding Table.

ビット列	オフセット (現在の状態)			
	1	2	3	4
0000	+ 0 + (+2)	0 - 0 (-1)		
0001	0 - + (±0)			
0010	+ - 0 (±0)			
0011	0 0 + (+1)			-- 0 (-2)
0100	- + 0 (±0)			
0101	0 + + (+2)	- 0 0 (-1)		
0110	- + + (+1)		- - + (-1)	
0111	- 0 + (±0)			
1000	+ 0 0 (+1)			0 - - (-2)
1001	+ - + (+1)			- - - (-3)
1010	+ + - (+1)		+ - - (-1)	
1011	+ 0 - (±0)			
1100	+++ (+3)	- - - (-1)		
1101	0 + 0 (+1)			- 0 - (-2)
1110	0 + - (±0)			
1111	+ + 0 (+2)	0 0 - (-1)		

入力したテキストメッセージを2進数に変換した後、4ビットずつ区切る。4ビットを取り出した後、現在のオフセットと取り出した4ビットのビット列の組み合わせでMMS43-Codeと照らし合わせることで、3シンボルの信号を得る。そこから色遷移を行うことにより情報を送信する。

色変化のアルゴリズムを以下に示す。はじめに、白を除いた6色を図3に示すように六角形の各頂点に配置する。このときの色配置は、HSV色空間における色相環に類似するような配置となっている。

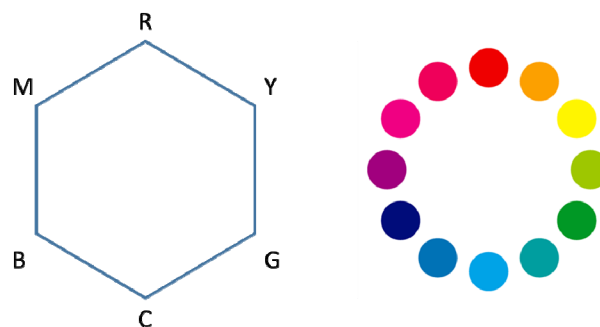


図3 色配置と色相環の対応図

Figure 3 Correspondence figure of color placement and hue circle.

図3のように色を配置した図に4B3Tを当てはめる。白を除く6色間の色変化では、ある色から別の残り5色のどれかに色変化する際に、RGB成分の1成分のみが変化する2色と、2成分が変化する2色、3成分全てが変化する1色に分けられる。中間色を取得した場合に変化前後の色が容易に推測可能な色変化は1成分のみの色変化のため、その2つの色変化に「+」と「-」のシンボルを割り当てる。残りの「0」については3成分がすべて変化する1色に割り当てる。図4に示すように、六角形上のある色から時計回りに位置する色に変化した場合は「+」を、反時計回りに位置する色に変化した場合は「-」を、対角に位置する色に変化した場合は「0」を送信する。色の開始位置と初期オフセット値はどれに指定しても良いが、色の開始位置は送信側と受信側で合わせておく必要がある。本研究では、色の初期位置を先行研究と同じ赤(R)とし、初期オフセット値は1とする。

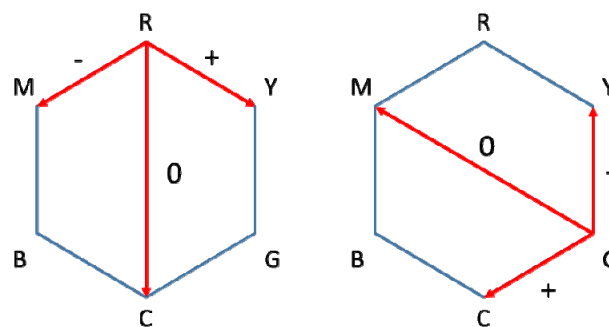


図4 色遷移と送信シンボルの関係

Figure 4 The relation changing color and transmission symbols.

送信手順が複雑なため、具体例を用いて説明する。送信側がテキストメッセージ「HELP」を送りたいとする。はじめに最初の文字「H」(0x48)を2進数に変換すると、「01001000」が得られる。これを4ビットずつ区切り、「0100」「1000」とする。はじめの0100はMMS43-Codeを参照すると、オフセット1の場合は+0の信号に対応するため、初期位置Rから反時計回りのM、そこから時計回りのR、そこから対角に位置するCの順番に発光させる。そして次のオフセット値は±0なので、オフセットは1のままである。次に1000を送信する。MMS43-Codeを参照すると、オフセット1の場合は+00の信号に対応する。よって、Cから時計回りのB、そこから対角のY、そこからまた対角のBの順に発光する。ここで、次のオフセット値が+1なので、現在のオフセット1に+1を演算したオフセット2が次の状態となる。これにより一文字分の送信が完了したため、そのことを表すWを発光する。

次の文字「E」(0x45)を2進数のビット列に直し、ビット列「01000101」が得られる。前の4ビット「0100」はMMS43-Codeでは、現在のオフセット2の場合は+0の信号に対応するため、先程Wより前に光らせていたBの位置から反時計回りのC、そこから時計回りのB、そこから対角のYの順に発光する。次のオフセット値は±0なので、オフセットは2を維持する。

以上のような流れで色を発光させ、最後の文字「P」を送り終えた後に一文字分の送信の終了を表すWを発光させてからLEDライトを消灯させることにより、テキストメッセージ送信の終了を表す。以上のような流れを図5に示す。

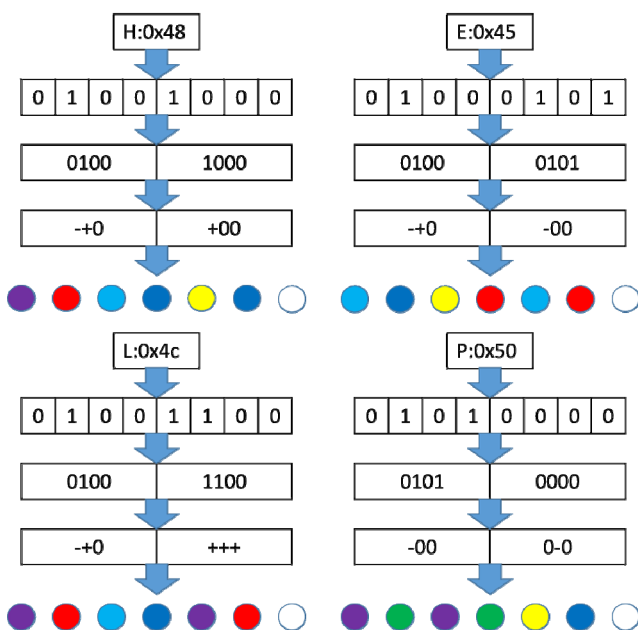


図5 例：テキストメッセージ「HELP」送信時の色変化
 Figure 5 Example: color shift pattern when the text message "HELP" sent.

3.2 受信側

受信側では、USBカメラを用いて発光色を撮影し、得られたRGB値より色の推測を行い、得られた色の並びから送られた情報を復調する。

観測値の色を判定するためには、事前に各色の基準値となるRGB値を計算しておく必要がある。あらかじめ各色の基準値を用意しておき、観測した色と各色の基準値の類似度を計算し、類似度が最も高かった色と認識する流れとなっている。

基準値の決定には、K-means++法によるクラスタリングを行うことにより求める。夜間における利用を想定しているため、想定環境では通信に用いる7色と何も光っていない暗闇状態の計8色が存在していると考えられる。色のサンプルを取得し、それらをK-means++法により8つのグループにクラスタリングする。得られた8つのクラスタ中心を、各色の基準値とする。色を観測し、観測したRGB値と8つのクラスタ中心の類似度を計算することにより、色を判定する。

しかし、この手法で得られた基準値は送信機(LEDライト)や受信機(カメラ)の特性が表れているため、単色で発光させた場合においても別のRGB成分が得られていたり、ある成分に比べて他の成分の観測値が大幅に異なったりしている。具体的には、青を発光させる場合において、B成分以外にもG成分がある程度の値を取得していることや、白を発光させた際にR成分が他成分に比べて観測値が比較的小さいことが挙げられる。これらの特性が復号処理の際に悪影響を及ぼすことがあるため、アフィン変換と座標系変換を行うことにより、正規直交化を行う。正規直交化を行う行列を以下の式(2)に示す。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = AXZY \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、各行列の成分や変数は以下の式(3)(4)(5)(6)(7)(8)となり、 ϕ , ψ , η は斜交座標系におけるx軸とy軸、y軸とz軸、z軸とx軸の成す角をあらわす。

$$Y = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$Z = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \alpha = \tan^{-1}(R_z/R_x) \\ \beta = -\tan^{-1}(R'_y/R'_x) \\ \gamma = -\tan^{-1}(G'_z/G'_y) \end{cases} \quad (6)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \cos \phi & \frac{\cos \psi}{\sin \phi} \\ 0 & \sin \phi & \frac{\cos \eta - \cos \psi \cos \phi}{\sin \phi} \\ 0 & 0 & \frac{\sqrt{g}}{\sin \phi} \end{pmatrix}^{-1} \quad (7)$$

$$g = 1 - \cos^2 \phi - \cos^2 \psi - \cos^2 \eta + 2 \cos \phi \cos \psi \cos \eta \quad (8)$$

基準値を求めた後、順次色を観測しそれが何色であるかの判定を行う。色の判定では、観測した色の RGB 値に正規直交化行列を演算し、正規直交化された 8 色の基準値との類似度を計算する。類似度の計算には観測値と各色の基準値の 2 点間のユークリッド距離を計算し、最近傍識別により色を判定する。色の判定の流れを図 6 に示す。

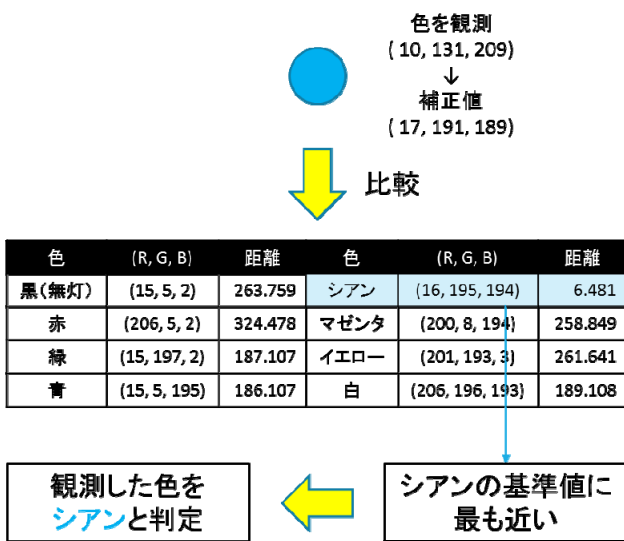


図 6 色の判定の流れ
 Figure 6 Flow of the judgement of the color.

ただし、中間色を取得した場合、8 色の基準値との距離の中でもっとも小さい値を見ても比較的大きな距離を示している場合が存在する。このような場合、各基準値間を結ぶ空間直線上のいずれかを通過中と考え、観測値と空間直線の距離を計算し、最も近い直線を結ぶ 2 色間を変化中であると考える。

2 点間を通る直線と空間上の点との最短距離は以下のよう手順で求められる。最短距離は、空間上の点から直線へおろした垂線の長さと同しくなる。空間直線が点 A を通り、ベクトル v で向きが表されているとすると、空間上の点 B から直線上の任意の点に向かうベクトルは以下の式(9)のようになる。

$$\left((x_a + v_x t) - x_b, (y_a + v_y t) - y_b, (z_a + v_z t) - z_b \right) \quad (9)$$

式(9)で表されるベクトルと直線の方向ベクトル v が直交するため、この 2 つのベクトルの内積は 0 となる(式(10))。内積を計算すると、 t に関する方程式が求められる(式(11))。

それを満たす t の値を求めることにより直線上の垂線の足の座標が求まり、得られた t を式(9)に代入して求められたベクトルの長さを求めることにより最短距離を得ることができる。

$$v_x \{ (x_a + v_x t) - x_b \} + v_y \{ (y_a + v_y t) - y_b \} + v_z \{ (z_a + v_z t) - z_b \} = 0 \quad (10)$$

$$t = \frac{v_x(x_b - x_a) + v_y(y_b - y_a) + v_z(z_b - z_a)}{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (11)$$

上記の式により 15 の直線との距離を計算することにより、観測値がどの直線上に存在するかを確認する。距離が最も近いベクトル上の 2 点を通過中と考え、2 色の前後の判定は前に得られた色から残りの色へ変化すると考え、2 色の情報を得る。

色の並びを正しく取得できた後、色の並び順から文字列の復号を行う。こちらも具体例を用いて説明する。

「WMRCBYBW CBYRCRW MRCBMRW MGMGYBW」の順に色を観測した場合についての復号処理結果を考える。基本的には送信側と同じ考え方で、得られた色の変化をするにはどのようなシンボルに変換されたかを考えていくことによりシンボルの並びが得られる。はじめの W はこれから一文字送るという合図である。次からの色の並びで MRC までで考える。六角形における色の初期位置は R なので、ここでは RMRC の順に色が変わったと考える。R から M へは反時計回りなので「-」が、M から R へは時計回りなので「+」が、R から C へは対角の方向なので「0」が送られたことがわかる。この段階で「-+0」が得られるため、対応するビット列の並びである「0100」であることが分かる。次も同じように BYB を取り出し考える。先程の色変化では C で終わっていたので、CBYB の順に色変化が行われたと考える。C から B へは時計回りなので「+」が、B から Y へは対角の方向なので「0」が、Y から B へはこれもまた対角の方向なので「0」が送られたことがわかる。この段階で「+00」が得られるため、表より「1000」のビット列が送られたことがわかる。次に W を観測することによりここまでで一文字分であることを示す。得られたビット列「01001000」から文字（この場合、「H」）が得られる。次の文字も同じように復号する。次の色の並びは CBY となるが、C の前に取得したのは W の前の B であり、BCBY の色変化からシンボルを推測しなければならないことに注意する。

送信側と異なり、得られるシンボルの 26 パターンに対しビット列は 16 パターンのため、受信側では特にオフセットを意識する必要が無い。さらに、送信アルゴリズムの性質上、白を発光させてから奇数番目に必ず二色光 (C, M, Y) が、偶数番目に必ず単色光 (R, G, B) が来るため、もし色の変化途中の中間色を取得してしまった場合においてもど

の部分に誤りの色であるかを推測することが容易となるメリットがある。また、白を取得してから再び白を取得するまでに6回の色変化が行われるが、5色以下しか取得できなかった場合においても、色の並びのどの場所が抜けているかが推測でき、送信されるはずだった文字がある程度推測できるため、より確実に情報を送受信することが可能となっている。

4. 実装

本研究の送受信プログラムは Windows 7 OS 上で Microsoft Visual Studio 2010 において実装した。Alkalite 社の Octopod 75 を使用する。送信機の仕様を表2に示す。

送信側は3色ある RGB の光を点滅させることにより任意の色彩を再現する。任意の発光パターンを送るには、制御コントローラを USB 接続した Windows コンピュータ上でプログラムを実行することにより行う。LED の制御には ENTTEC 社の DMX 512 を用いる。今回の実験では、Windows Vista SP2 がインストールされている Vostro 1000 を送信 PC として用いた。送信用 PC の仕様を表3に示す。

表 2 LED の仕様

Table 2 Specification of LED.

電源	AC100V50/60Hz
消費電力	10W
外形寸法	171×155×137mm
重さ	0.52kg
LED 数	76 個 (赤 32 個, 緑 25 個, 青 19 個)

表 3 送信側 PC の仕様

Table 3 Specification of sender PC.

CPU	AMD Athlon64 X2 TK-57
動作周波数	1.9GHz
メモリ	1GB
GPU	ATI RADEON Xpress 1150 内蔵 (RADEON X300 相当)
重量	約 2.88kg

4.1 受信側

受信機には、センサーテクノロジー社の STC-TC33 を使用する。受信機の仕様は表4のとおりである。受信処理を行う PC には Windows 7 がインストールされているタフブック CF-31 を用い、カメラと PC を USB 接続する。USB カメラにより取得した画像から RGB 成分を取得し、OpenCV を用いて画像処理を行う。バージョンは 2.4.9 を用いる。プログラミング開発環境には Microsoft 社の Visual C++ 2010 を用いる。受信用 PC の仕様を表5に示す。

表 4 カメラの仕様

Table 4 Specification of camera.

撮像素子	CCD
フレームレート	29.97fps
解像度	640×480pixel
画素数	33 万画素
外形寸法	51×51×44.3mm
重さ	145g

表 5 受信側 PC の仕様

Table 5 Specification of receiver PC.

CPU	Intel Core i5 M520
動作周波数	2.4GHz
メモリ	2GB
GPU	モバイルインテル QM57 Express チップセット
重量	約 3.72kg

5. 実験・考察

前章で実装したデバイスを用いて通信実験を行った。通信実験は、暗室と屋外において行った。

5.1 暗室実験

本研究の提案手法が先行研究[5]の通信制度を実現可能であることを確認するために、外乱をできるだけ避けた理想的な環境である暗室において通信実験を行った。

実験は本学構内に設置されている暗室において行った。LED とカメラを暗室内に図7のように配置し、暗幕を下ろすことにより外乱の無い理想的な通信環境を作り出し、通信実験を行った。



図 7 暗室における通信実験環境

Figure 7 Communication experiment environment in the dark room.

LED の発光間隔を 200ms・180ms・150ms・130ms・100ms・90ms・80ms・70ms・60ms・50ms・40ms に設定し通信を行う。発光間隔と通信速度の関係を表 6 に示す。カメラのフレームレートはおよそ 29.97fps である。

送信データについて、送信データは ASCII コードにおける 0x20~0x7E までの計 95 個のデータとする。実験データとしてこの 95 文字を用いている理由について、ASCII における 0x00~0x1F,0x7F の 33 文字が制御文字であり、残りの文字が図形文字となっているからである。先行研究も同じデータを用いているため、先行研究との比較も行いやすくなる。

各発光間隔において、95 文字の送信データを送ることを 10 回ずつ行い、認識率を測定した。通信における誤りがどのくらい発生しているかについては、ビットエラーレートでなくシンボルエラーレートを適用する。白と白の間の 6 色において、任意の数色を誤認識したことにより間違った文字が復号された場合、誤認識した色数に関わらず 1 文字の間違ひとして扱う。

表 6 発光間隔と通信速度の関係

Table 6 Transmission rate of each light interval.

発光間隔[ms]	通信速度[bps] (提案手法)	通信速度[bps] (先行研究)
200ms	5.7	8.0
180ms	6.3	8.9
150ms	7.6	10.7
130ms	8.8	12.3
100ms	11.4	16.0
90ms	12.7	17.8
80ms	14.3	20.0
70ms	16.3	22.9
60ms	19.0	26.7
50ms	22.9	32.0
40ms	28.6	40.0

実験結果として、各発光間隔における認識率を図 8 に、通信速度別の認識率を図 9 に示す。今回の実験では、最も近い色の基準値までのユークリッド距離が 40 を超えた場合に、取得した色を中間色と判定し、各ベクトルとの最短距離による判定を行う。

図 8 より、先行研究では発光間隔が 50ms になると急激に認識率が低下しているのに対し、提案手法では 50ms までほぼ 100% の認識率で通信可能であることが確認できた。また、通信速度の観点において比較を行った場合においても、暗室において提案手法が先行研究とほぼ同じ認識率を得ることを確認することができた。発光間隔 50ms までは非常に高い認識率を示しており、40ms では認識率が大きく

低下しているが、40ms のような短い発光間隔となると、発光間隔が受信側カメラのフレームレートに非常に近づいているため、およそ 50ms の発光間隔での通信が限界であると考えられる。

発光間隔別認識率(暗室)

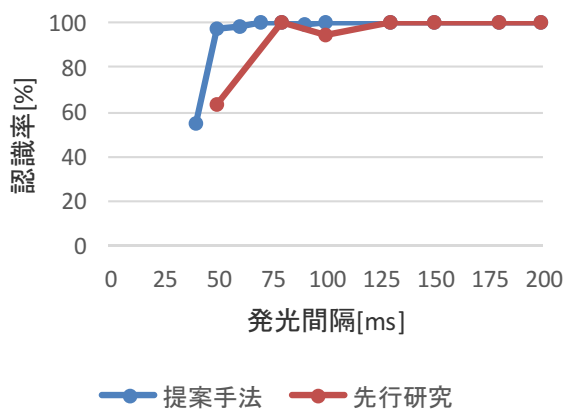


図 8 暗室実験における発光間隔別認識率

Figure 8 Recognition rate of each interval of light in the dark room.

通信速度別認識率(暗室)

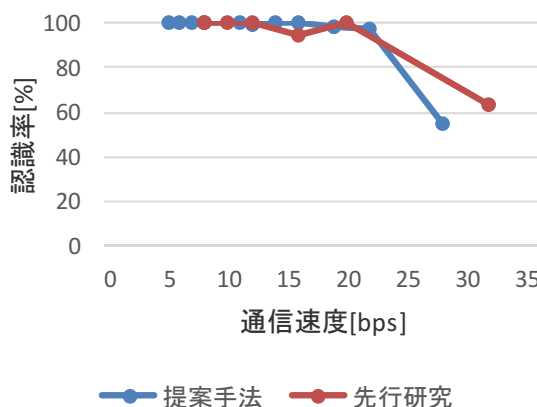


図 9 暗室実験における通信速度別認識率

Figure 9 Recognition rate of each transmission speed in the dark room.

5.2 屋外実験

屋外において、実際の通信距離と外乱を含んだ環境において通信実験を行い、本研究における提案手法の有用性を確認した。和歌山県和歌山市和歌山大学にて、建物の 6F に送信機を設置し、そこから約 380m 離れた地面に置いた受信機との間で通信実験を行った。送信機と受信機の位置を約 380m 離している理由として、航空機の最低安全高度

が家屋の密集している地域ならば 300m 以上、開けた場所であれば 150m 以上と定められているため、最低安全高度の制限から少し余裕を持った距離を設定する。実験結果として、各発光間隔における認識率を図 10 に、通信速度別の認識率を図 11 に示す。

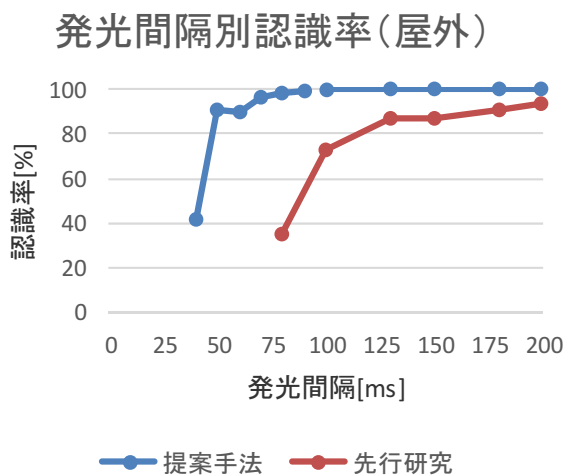


図 10 屋外実験における発光間隔別認識率
 Figure 10 Recognition rate of each interval of light in the outdoor.

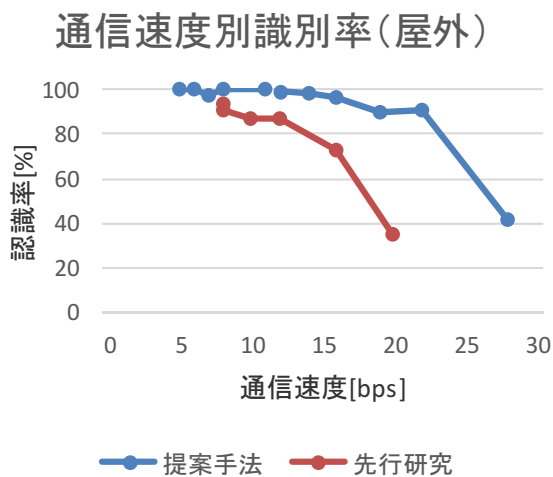


図 11 屋外実験における通信速度別認識率
 Figure 11 Recognition rate of each transmission speed in the outdoor.

図 10, 11 より、先行研究では発光間隔が比較的に長い場合においても僅かながら誤った文字を取得してしまい、いずれの発光間隔においても認識率が 100%とならなかった。提案手法では 75ms の発光間隔まで非常に高い認識率を示しており、発光間隔によっては 100%の認識率を示していることがわかる。また、図 11 より、通信速度において比較

を行った場合においても、先行研究では 20bps の通信速度で認識率が 4 割を切っていたのに対し、提案手法ではそれよりも早い約 22.9bps で 9 割の認識率を示した。この結果は、一般的な機材で導入可能であるシステムとして、十分な通信速度を有していると言える。

6. おわりに

本研究では、災害時可視光通信システムにおいて、変調方式に 4B3T を適用することにより、カメラが色の变化途中である中間色を取得した場合においても、正しい情報を復号可能な送受信アルゴリズムを提案し、実装した。暗室による実験では、フレームレートの限界近くまではほぼ 100% の認識率を得ることができた。屋外において、実環境を想定した通信実験を行い、約 380m の長距離の通信において高い識別率を示し、安定した可視光通信を行うことができることを確認した。

今回の実験では、送信機・受信機共に地面に設置、固定した状態で通信を行った。しかし、実際に利用するに当たっては、ヘリコプター上からの撮影により、気体の揺れやカメラの揺れにより、カメラ画像内で光源の座標値が頻繁に変化してしまうことが考えられる。今回のように座標値を固定している場合、何かしら揺れが発生したときにカメラ画像内で光源が動き、何も無い空間の輝度値を取ることがある。そのため、受信側で光源の自動認識を行い、災害時での利用に対応できるようにすることが今後の課題である。カメラの揺れによる光源の動きに対応することにより、可視光の色変化をカメラで撮影し情報を得る一連の流れで素早く被災地の情報を取得することが可能となる。夜間における災害発生時において重要な被災地の位置情報と被災情報を取得し、迅速な救護活動に繋がれると考えられる。

参考文献

- [1] "和歌山大学防災教育センター".
<http://www.wakayama-u.ac.jp/bousai/bloglist/2014031200528/>
- [2] 宮奥 健人, 吉田 悠一, 東野 豪, 外村 佳伸: C-Blink: 携帯端末カラーディスプレイによる色相差光信号マーカ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D-1, No. 10, pp.1584-1594, 2005.
- [3] B.CORE Inc. CB クロノ(光クロノコード):
http://www.colorbit.jp/chrono/chrono_feature
- [4] "CASIO COMPUTER CO., LTD. Picalico (ピカリコ)".
<http://picalico.casio.com/>
- [5] 岡崎 匡紀, 塚田 晃司, 発光色の色変化を利用した災害時可視光通信手法の提案, 情報処理学会研究報告, 2015-GN-93(36), pp.1-8, 2015 年 1 月
- [6] 塚田 晃司, 岡 裕大, RGB3 色 LED の加法混色を用いた色変調可視光通信の提案と非常時通信への適用, 情報処理学会論文誌, 57 巻, 1 号, pp.134-144, 2016 年 1 月