

テクニカルノート

# 矩形の読み出し領域を生成する光空間信号の変調方法の研究

光藤 雄一<sup>1,a)</sup>

受付日 2011年12月4日, 採録日 2012年1月13日

**概要:** 光空間通信は, しばしば実世界のユーザへ情報を提供する手段として用いられる. 通信システムの特長上, ある一定の範囲に情報を配信するように用いられることが多い. 本研究では, 通信の変調/復調方式を工夫し, 受信器がある特定の矩形の領域を指したときだけ信号が検出できるシステムを構築する. 本稿では, この機能を実現するための変調/復調方式を提示し, 光学を使用して所定の性能を発揮できるかを評価する.

**キーワード:** 実世界コンピューティング, 光空間通信, タグシステム

## A Research of Optical Signal Modulation Method for Generating Rectangular Read-out Area

YUICHI MITSUDO<sup>1,a)</sup>

Received: December 4, 2011, Accepted: January 13, 2012

**Abstract:** Optical Communication System is often used as a part of information broadcasting system in real world. Because of a structure of optical communication system, those system can't control broadcasting area precisely. In this research, we present a modulation method, which generates rectangular reading-out area. The receiver can detect the signal, only when receiver points this rectangular area, partitioned by some transmitters. In this paper, we present the model of this optical system and evaluating its signal and spacial accuracy by using geometric optics.

**Keywords:** real world computing, optical communication, tag system

### 1. はじめに

実世界のユーザへの情報提供のために様々なシステムが開発されている. 最も普及しているシステムの1つとして, タグシステムがあげられる. タグシステムは, 情報システムが扱うことのできる情報を, 実世界に直接貼付するシステムである. 日常生活の中でよく目にするタグシステムの例として, 二次元コード [1] や RF タグ [2] をあげることができる.

これらのタグシステムでは, 貼付すべき情報の実体を格納しているケースは少なく, ID などのコードが格納されていることが多い. ユーザはこの ID を利用して, 情報の実

体にアクセスする. 二次元コードに URL を格納して雑誌に印刷しておき, 携帯電話のカメラでこれを撮影してデータを読み出し, WiFi で対応するページにアクセスするなどがこの一例である. この方法は, タグに大量の情報を蓄積する必要がないので, タグを小型化できるという利点がある.

一方で, 多少タグの大きさが大きくなっても実世界に直接大きなデータを貼付できた方がよいケースもある. 近年普及してきたデジタルサイネージ (電子広告) の広告媒体に, 音声, 動画などを貼付できれば, より多様なサービスが実現できると考えられる. また, 大容量のタグがあれば, タグとリーダ間だけで情報をやりとりするので, 他の通信回線への負荷をかけないという利点も生じる. 特に昨今, 大量の情報をやりとりするスマートフォンの普及で, 携帯電話回線の負荷が予想外に高まっていることから, ローカ

<sup>1</sup> 北九州市立大学基盤教育センター  
The University of Kitakyusyu Center for Fundamental Education, Kitakyushu, Fukuoka 802-8577, Japan

<sup>a)</sup> mitsudo@kitakyu-u.ac.jp

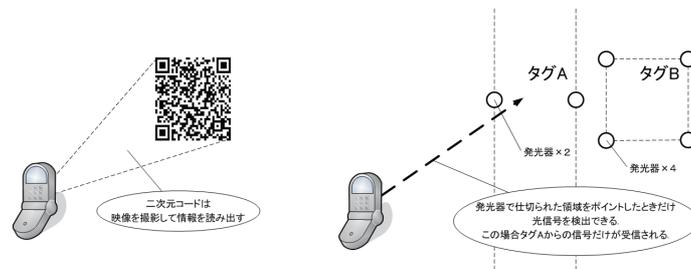


図 1 信号検出のコンセプト  
Fig. 1 The concept of signal detection.

ルに大量の情報のやりとりを可能とするシステムには利点があると考えられる。

そこで本研究では、大量のデータを格納することのできるタグシステムの構築を目指す。

構築にあたり、まず不可欠なのはタグからリーダへのデータ転送能力を確保することである。そこで、高いデータ転送能力を持つ光空間通信システムをベースとしてタグシステムを構築する。次に、タグシステムには、タグを識別するための空間分解能が必要である。ところが、一般的な光空間通信システムの空間分解能はタグシステムとして使用するのに十分でない。この問題を解決することが本研究の主要な課題となる。

松下らの ID CAM [3] の研究では、撮像装置のリフレッシュレートを通信システム並みに高くすることで分解能の問題を解決している。この方法では撮像デバイスそのものを制作する必要があり、また構造が複雑になる。本研究では、システムの普及を考え、可能な限り単純な構造で実現することを目指す。そのため、通信システムの変調/復調および符号化/復号化方法を工夫してこの問題を解決することを試みる。

具体的には、受信器がある仕切られた領域を向いたときだけ光信号を検出できるような、変調/復調方法を開発するという (図 1) というアプローチをとる。

この仕切られた領域をタグ、受信器をリーダに見立てれば、従来のタグシステムと同じメタファでの使用環境を実現することができる。

本研究では、このような選択的な読み出しを実現するための光信号の変調/復調、符号化/復号化様式を提案する。本稿では、提案した通信手法を幾何的なモデルを用いて評価する。評価の対象は、仕切られた領域をポイントしたときだけ検出できるかということと、タグシステムとしてどの程度の精度でタグを選択できるかということである。

## 2. タグシステムの構成

### 2.1 光空間通信の仕組み

本研究では、光空間通信システムをベースとして、タグシステムを形成する。2.1 節ではベースになる光空間通信システムについて解説し、2.2 節で本システムの構造を説

明する。さらに、2.3 節で、本システムによって生成されるタグの特徴を説明する。

光空間通信は、主に可視光に近い波長の光<sup>\*1</sup>の光を変調して情報を伝える技術である。送信器から時間的に変化した放射束を発生し、受信器は入射放射束の強度の変化を読み取って元の情報を復元する。受信器は、入射放射束に比例した電圧を出力する構造を持つ。光空間通信では主にパルス状の信号を送信する。これを受信した受信器は、入射放射束に比例した振幅  $A$  のパルス状の電圧を生じる。通常の実験装置は、入射放射束を電流に変換するだけの機能を持ち、空間分解能を持たない。

このシステムは、同じような距離にある 2 つの送信器から光信号を受信した場合に混信が発生する。双方の発光器からの光信号が、受信器に同じような振幅電圧  $A$  を持ったパルス信号を生じさせる。図 8 は、発光器を 0.22 (m) 離して設置し、1.5 (m) 離れた位置から受信器で観察したときに生じる  $A$  の一例である。受信器は空間分解能を持たないので、入射した 2 つの信号の和が出力される。この出力から元の 2 つの信号を復元し、どちらかを特定するのは困難である。

光空間通信システムをベースにしたタグシステムの研究はいくつか行われているが、それらのシステムでは、タグを選択する際にリーダをタグに近づけるようにしている [4]。入射光の強度は送受信器間の距離の 2 乗に反比例するので、こうすると、目標とするタグからの信号の  $A$  が他の信号の  $A$  よりも著しく高くなるような状況が作られる。運用上の制限を課することで混信の問題を回避しているのである。

また、この特性を利用して、複数の光源を用いて受信器の位置を推定する手法も研究されている [5]。受信器の位置と姿勢が特定できれば、どのタグをポイントしているかを推定することも可能であるが、複雑な手続きを経なければならず、システムの負荷が高まる。本システムではこうした運用上の制限を回避したい。そのためには、受信器が、似たような距離に存在する複数の送信器の信号から、自分がポイントしている 1 つの信号を選択することが必要である。そのための方法を次 2.2 節で説明する。

\*1 可視光～近赤外線域

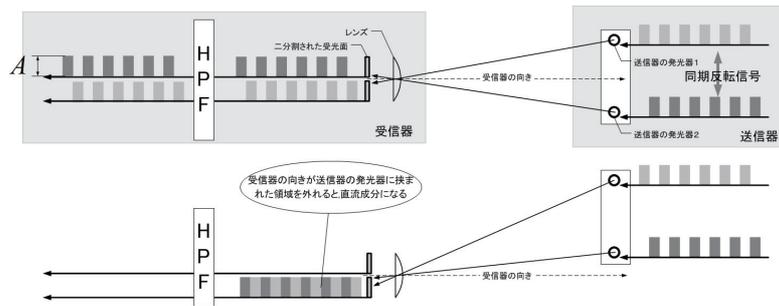


図 2 送受信器の構造と信号処理の流れ

Fig. 2 The structure of communication device and diagram of signal processing.

## 2.2 提案するシステムの仕組み

本システムは、送信器に2つの発光器を備え、受信器に2つの受光面を備えた受信器を使用する(図2)。

受信器の前面にはピンホールやレンズなどの光学素子が配置され、入射光が受光器の受光面に結像するようにできている。ピンホールや、レンズの中心(主点)は受光面の境界線の直上に位置している。受光面の各領域(象限)は、それぞれ入射した放射束に比例した電流(光電流)を生じるように構成されており、これを電圧に変換した後にAC結合し、順次増幅器に通して所定の振幅まで増幅する。この過程は通常の光通信器と同じである。

送信器には2つの発光器が離れて設置されており、この発光器からは互いに反転したデジタル信号が光信号の形で送信されている。2つのデジタル信号は同期がとられたうえで反転信号となっており、2つの信号を加算するとつねに1である状態になる。この信号の送信の仕方は、光藤によって提案されており[6]、送信器からの2つの信号が同時に受信された場合には信号が互いを打ち消しあって検出することができなくなることが特徴である。信号を読み出せるようにするためには、片方を遮断するなどしなければならない。光藤は2つの信号のうち1つを指などで遮断し、ポインティングシステムの一種として使用方法を提案している[7]。

本研究では、光学素子によって発光器からの放射束を受光面に結像させる際に、受信器が発光器の間を向いている場合だけ2つの信号が別の象限に入射することを利用する[8]。

このシステムでは、受信器が送信器の発光器の間をポイントしているか、そうでないかで、まったく異なる信号出力が得られる。

受信器が送信器の発光器の間を向いているとき:(図2上)

受信器の各象限にはそれぞれの発光器から発せられた光信号が入射する。したがって、各象限の出力端子からは、それぞれ反転した矩形波が出力される。

受信器が送信器の発光器の間からはずれた場所を向いているとき:(図2下) 受信器の1つの象限に2つの発光器から発せられた光信号が入射し、もう1つの象限に

は光信号は入射しない。送信信号は互いに反転したデジタル信号である。受信器と送信器の距離が大きく、2つの発光素子の間隔がこの距離と比べて十分小さい状況を想定すると、2つの発光器から受信器にいたる光路にほとんど差がなくなる。受信器からの信号出力は主に光路長に影響される。したがって、この2つのデジタル信号のAはほぼ同じであり、さらにお互いに反転している。この2つの信号光が1つの受光面に入射すると互いに組み合わせられて平坦な信号(DC信号)が出力される。一般に、通信器は変調成分で情報を伝えるように設計されており、DC信号は必要ないので、排除されるように設計されている。DC信号を除外するためのハイパスフィルタ(HPF)が変復調回路の初段に接続されていることが多い。2つの信号が組み合わせられて生じたDC信号は、このHPFに阻止されるので、以後の信号処理には関わらない。

このシステムでは、送信器がいくつ並んで設置されていたとしても、受信器にポイントされていない送信器からの信号は、すべてDC信号になり、受信器のHPFによって除外される。受信器から出力されるのは、ポイントされた送信器から発せられた信号の、変調成分だけである。

## 2.3 タグ領域

2.2節より、このシステムは、受信器が発光器の間をポイントしたとき以外は、信号の変調成分が相殺し合い、信号振幅が著しく低下することを示した。この節では、受信器がポイントしたときに相殺されない信号が受信できる領域、つまりタグシステムのタグにあたる領域(以下タグ領域と書く)がどのような形状になるかを議論する。

まず、受信器の受光面の中心を交点とした座標系を考え、前後方向にX軸、左右方向にY軸、上下方向にZ軸をとる。初期状態として、Z軸が鉛直線となり、X軸が送信器の発光器の中心を通過するような座標系を考える。いま、受信器の受光面が円形をし、この円形が2つの象限(受光面)に仕切られているとし、受光面の象限の境界線がZ軸に含まれるように受信器が設置されているとする(図3)。

このときのタグ領域は、受光面を区切る境界線と発光器

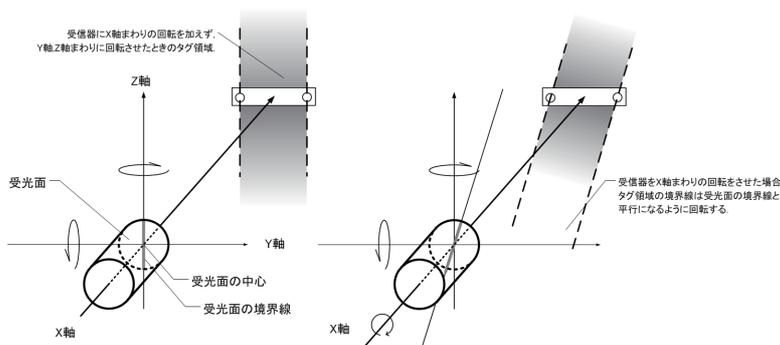


図 3 相殺されない信号を受信できる領域 (タグ領域)

Fig. 3 Tag area generated by transmitter.

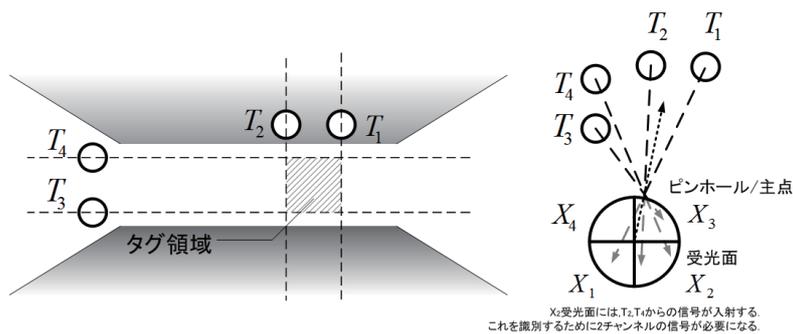


図 4 矩形のタグ領域の生成方法

Fig. 4 The method to generate rectangular tag.

の位置に依存して決定される。境界線が鉛直になるように設置し、この位置から受信器をねじらないように上下左右に回転させた場合、受光器が相殺されない信号を受信することができるのは、受光器のベクトルが、発光器に交わる鉛直線で区切られた、帯状の領域に向いているときである (図 3 右)。この帯の左右方向は発光器によって決定されるが、上下方向は受光器の視野角に依存して決定される。仮に受光器の視野角が  $180^\circ$  であるとき、帯は上下方向に無限大の長さを持つ。

受信器を X 軸まわりの方向に回転を加え、境界線が鉛直方向からねじれた姿勢になった場合、タグ領域は境界線と平行になるようにねじれる (図 3 右)。このため受信器はつねに垂直方向に向いているように保持しなければならない。これがこの受信器を運用するうえでの制約である。

ただし、この通信システムは携帯用のデバイスで使用されることが前提である。特に大画面を持つ携帯デバイスを使用する際には、ユーザはおのずと縦、もしくは横方向に一定の姿勢を保たせて使用すると考えられる。したがって、この制約はユーザビリティ上大きな問題を引き起こすものではないと考えることができる。

## 2.4 矩形のタグ領域の生成

タグ領域を矩形に設定したい場合は、受光器を 4 象限とし、この帯状の領域を縦、横 2 方向を別チャンネルで設定し、

2 チャンネル分の信号が同時に受信できた場合だけ復号されるような符号化、復号化方法をとればよい。この場合、帯状の領域が重なった矩形の面がタグ領域となる (図 4)。

あるいは 4 象限に同時に信号が受信された場合のみに復号できるような符号化、復号化方法を採用すると、四隅を送信器で仕切られた平面がタグ領域となる。

## 3. 信号処理と幾何光学的な評価と従来システムとの比較

### 3.1 本信号と偽信号

2.2 節および 2.3 節では本システムの構造を示し、受信器が特定の送信器の発光器の間を向いたときだけ、相殺されない光信号を受信することができることを示した。本章では、このシステムがタグシステムとして十分な精度で動作するかどうか、幾何光学を用いて評価する。

受信器がある送信器をポイントしたときに、その送信器から発せられている信号の振幅  $A$  が大きくなること、かつ、それ以外の場合は相殺されて  $A$  が消失する、あるいは低下する、ということが確かめられればよい。また、この  $A$  が大きくなる領域が、発光器で仕切られた領域と正確に一致する必要がある。

本章では、相殺されない信号 (本信号) と、相殺されている信号 (偽信号) の  $A$  が、それぞれどの程度の比率になるのかを、モデルケース下で、幾何光学を用いて算出し、

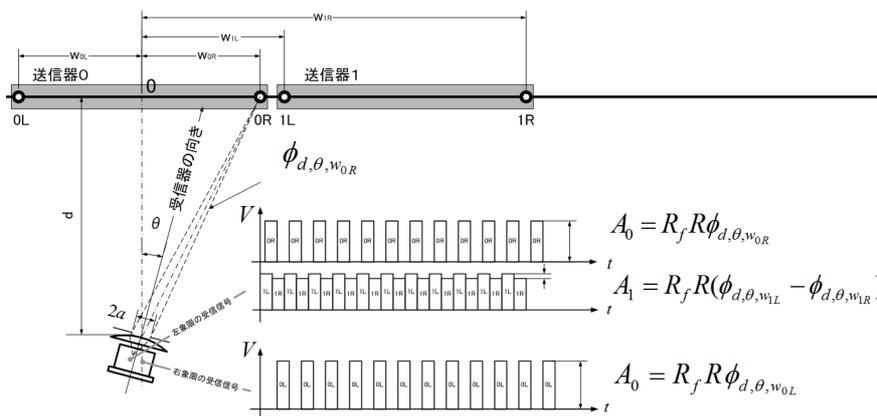


図5 受信器の向きと信号振幅

Fig. 5 Angle of receiver and amplitude of signal.

検討する。

### 3.2 幾何光学を用いた受信状況の評価

#### 3.2.1 発光器から受信器までの放射束のモデル

受光素子の直前に半径  $a$  の円形のレンズを配置する。このレンズは、点光源である発光器から発し、レンズに入射した放射束を屈折させ、受光面上の1点に集中させることができる(結像させる)ように調整されているとする(図5)。このレンズの主点を受光面の境界線の中央部分に位置させる。レンズの前面に、レンズの主点と境界線の中央を結ぶ線を中心とした、半径  $a$  の絞りを配置する。受光面に入射する放射束  $\phi(W)$  とは、点光源を発して半径  $a$  の絞りの内部に入射する放射束である。

発光器がこの光学系の正面、距離  $d$  の場所に位置し、 $2\pi \text{str}^2$  の範囲にわたって均一に放射強度  $I(W/\text{str})$  の放射束を出力しているとする。  $a \ll d$  であるとき、受光面上に結像される放射束  $\Phi_{d,0}$  は  $I \times \frac{\pi a^2}{d^2} (W)$  である。次に、発光器から距離  $d$  の位置に壁面を設置し、その壁面にこの光源を配置する(図5)。受信器を  $\theta$  rad 傾けたとき、 $d, w$  で表される位置にある発光器から入射する放射束  $\Phi_{d,\theta,w}$  は

$$\Phi_{d,\theta,w} = I \times \frac{\pi a^2}{d^2 + w^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{w}{d}\right) - \theta\right) \quad (1)$$

となる。

いま、信号電圧の振幅を  $A$  とし、受信器の放射感度を  $R$  とし、信号電流を電圧信号に変換するための負荷抵抗を  $R_f$  とすると、この放射束によって生成される信号振幅は

$$A = R_f \times R \times \Phi_{d,\theta,w} \\ = R_f \times R \times I \times \frac{\pi a^2}{d^2 + w^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{w}{d}\right) - \theta\right) \quad (2)$$

となる。

この式を観察すると、変数  $d, \theta, w$  は受信器と送信器の位置関係によって変化し、それ以外の変数は、送受信器の構成によって決定される定数である。

\*2 str は立体角

#### 3.2.2 目標信号と偽信号の電圧振幅比

次に、目標信号と偽信号の  $A$  の比を求める。図5にモデルとなる光学状況を示す。壁面にペアの発光素子を持つ送信器(Transmitter0, 1)が設置され、それぞれ発光素子L, Rを持つとする。送信器1の向かって左側の発光素子の名前を1Lと書くようにする。いま、壁面から距離  $d$  の位置に受信器を設置し、正面から角度  $\theta$  だけ傾けて設置し、ちょうど送信器0の発光素子間をポイントしているとする。

#### 目標信号の振幅

このとき、送信器の片方の発光器からの光信号が入射した場合の  $A$  は

$$A = R_f \times R \times I \times \frac{\pi a^2}{d^2 + w_{0L}^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{w_{0L}}{d}\right) - \theta\right) \quad (3)$$

で表される。

#### 偽信号の振幅

一方で、送信器の両方の発光器からの光信号が入射した場合、2つの発光器は同期反転した信号を出力していることから、受信器から見える  $A$  は、2つの  $A$  の差となる(図5)。したがって、

$$A = R_f R I \left( \frac{\pi a^2}{d^2 + w_{1L}^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{w_{1L}}{d}\right) - \theta\right) - \frac{\pi a^2}{d^2 + w_{1R}^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{w_{1R}}{d}\right) - \theta\right) \right) \quad (4)$$

のように書くことができる。

#### 3.2.3 発光器の位置と受光象限

$A$  の生じる象限は、 $\theta$  によって決定される。発光器の位置が、「受信器の向き」のベクトル(図5)よりも左にあった場合は右象限に、右にあった場合は左象限に入射する。 $A$  は入射した象限に生じる。上のモデルであれば、

$$\arctan\left(\frac{w}{d}\right) - \theta < 0 : \text{右象限} \quad (5)$$

$$> 0 : \text{左象限} \quad (6)$$

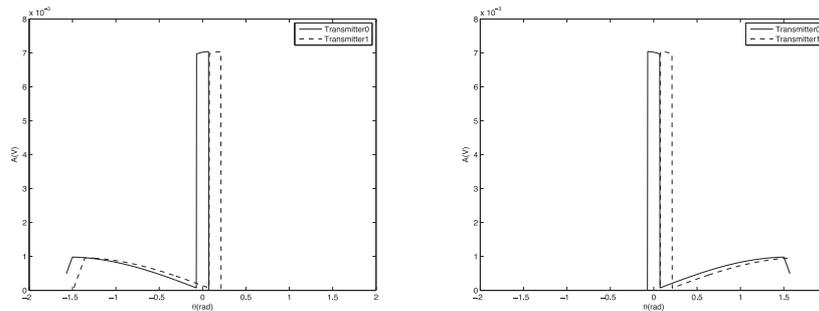


図 6 受信器各象限からの出力

Fig. 6 Outputs from left and right area of the receiver.

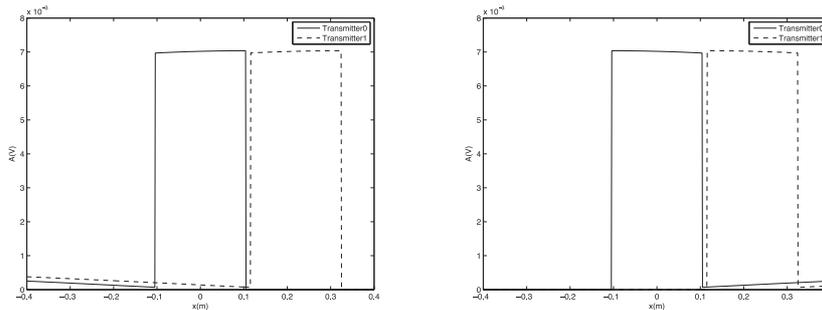


図 7 受信器各象限からの出力 ( $-0.4 \leq x \leq 0.4$ )

Fig. 7 Outputs from left and right area of the receiver ( $-0.4 \leq x \leq 0.4$ ).

となる。

### 3.3 信号のプロット

#### 3.3.1 プロットの条件

次に、これらの式に現実的な値をあてはめ、目標信号と偽信号の  $A$  がどのように変化するかをプロットする。

はじめに、受信器の電子回路の定数を定める。  $R_f$ ,  $R$ ,  $I$  成分は、それぞれ現実の IC を利用した場合<sup>\*3</sup>を想定し、電子回路の定数として、  $R_f = 12\text{ k}(\Omega)$ ,  $R = 0.21\text{ (A/W)}$ ,  $I = 0.32\text{ (W/str)}$  とする。また、レンズの半径  $a$  を  $2.5\text{ mm}$  とし、視野角を  $180^\circ$  とした。

次に、送受信器の使用を想定する環境を定める。A4用紙を掲示板に貼り、本システムを用いてA4用紙上にデータを貼付することを考える。A4用紙を縦に貼り、ユーザがこれを  $1.5\text{ m}$  離れた位置から眺めているとする。A4版を縦にした場合、 $210 \times 297\text{ mm}$  の寸法になる。2つの張り紙を  $10\text{ mm}$  離して設置したとすると、 $d = 1.5\text{ m}$ ,  $w_{0L} = -0.105\text{ m}$ ,  $w_{0R} = 0.105\text{ m}$ ,  $w_{1L} = 0.115\text{ m}$ ,  $w_{1R} = 0.225\text{ m}$  となる(図5)。

この環境下で、受信器を左から右に回転させたときに、向かって左の象限からの出力と、向かって右にある象限からの出力をプロットする。レンズの主点と受光器の境界線の中央を結ぶ直線が、受信器の向きを表すベクトルである。受信器が壁に対して垂直に向く向きを  $\theta = 0\text{ (rad)}$  とし、左

方向が負、右方向が正の値をとるとする。

旋回(スキャン)の範囲は  $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$  とし、左象限、右象限から生じる出力を、式(3)、(4)から計算する。プロットは、送信器ごとに行い、送信器0からの信号の  $A$  を実線、送信器1からの信号の  $A$  を破線で表した。これをプロットしたものを図6に示す。

#### 3.3.2 プロットの評価

まず図6の両方の図を見ると、左象限からの出力(図6左側)は、受信器から見て右側、右象限からの出力(図6右側)は左側にある発光器からの信号である。左象限からの出力は、受信器が  $-\pi/2$  の角度にあるときから信号が出力され、受信器が送信器0(または送信器1)の右端を指す角度まで何らかの信号出力がある。受信器が送信器1の右端の発光器よりも右側をポイントしている場合、左象限に入射する光信号はもはやないので信号出力はなくなる。右象限からの出力は、この逆の振舞いをする。

受信器が左から右に旋回してゆくと、中央部で  $A$  が極端に大きくなる領域がある。ここが送信器0, 1がある場所と考えられる。そこで、 $x$  軸を受信器の向き  $\theta$  (rad) からポイントされた壁面上の点の座標  $x$  (m) に変換して調べてみる。

スキャンの範囲を  $-0.4\text{ m} \leq x \leq 0.4\text{ m}$  として再プロットしたものを図7に示す。

送信器0が貼付されているのは  $-0.105 \leq x \leq 0.105$  の領域で、送信器1の貼付されているのが  $0.115 \leq x \leq 0.325$  の領域である。受信器がどちらかの送信器のある領域をポ

\*3 IV変換アンプとしてOPA847, 受光素子としてQD7-5, 発光素子としてSFH4235を使用すると想定する。

イントしている際の  $A$  は大きく一定しているが、それ以外の領域では著しく低い出力となっていることが分かる。ポイント時と非ポイント時の振幅比は、最悪の部分 (図 6,  $\theta = \pm\pi/2$  付近) をとって考えても 7:1 程度である。

また、送信器のある領域からポイントが外れると、 $A$  が一気に 0 近くまで下がる特性があり、信号振幅がタグのエッジに正確に追従していることが分かる。

次に、送信器が複数あったときの混信の状況について調べる。

図 7 において、送信器 0 のある、 $-0.105 \leq x \leq 0.105$  をポイントしたときの  $A$  を考える。左象限には送信器 0, 1 からの信号が同時に入射し、混信が生じている。送信器 0 からの信号の  $A$  は  $7 \times 10^{-3}$  (V) ほどになっているのに対して、隣接している送信器 1 からの信号による  $A$  は  $0.7 \times 10^{-3}$  (V) になっている。偽信号の信号振幅は本信号の信号振幅の 1/10 程度である。シュミットトリガ回路などに入力すれば、偽信号による影響が除外されるレベルにまで減衰しているといえる。

次に、送信器 1 のある  $0.115 \leq x \leq 0.325$  の領域について考える。右象限に送信器 0 と送信器 1 からの光信号が入射し、混信が生じている。このときの送信器 0 からの信号による  $A$  と送信器 1 からの信号の  $A$  を比較すると、ポイントされている送信器 1 からの信号による  $A$  が  $7 \times 10^{-3}$  (V) ほどであるのに対し、送信器 0 からの信号による  $A$  は  $0.7 \times 10^{-3}$  (V) ほどである。偽信号の  $A$  が本信号の  $A$  の 1/10 程度となっており、本信号と比べて十分に小さな振幅まで減衰されていると考えることができる。

## 4. 評価と検討

### 4.1 ポイント時と非ポイント時に生じる光信号

本システムでは、受信器が送信器をポイントしていない場合、信号の  $A$  が極端に小さくなるという構造を持つ。これに対して、従来の、送信器に発光器が 1 つだけあり、象限が 1 つである光空間通信器における  $A$  の振舞いを図 8 に示す。この図は、発光器が  $x = 0$  および 0.22 (m) の場所 (A4 の張り紙の中央) に設置されていた場合の、各送信器

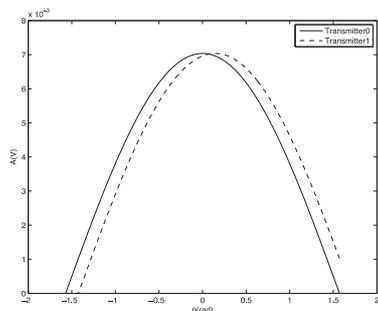


図 8 発光器単体からの受信信号

Fig. 8 Output voltage from receiver (from two single-LED transmitters).

からの光信号による  $A$  をプロットしたものである。

こちらの、単に発光器を貼り付けただけの構成のシステムでは、受信器がどこをポイントしているか (向き) にかかわらず、双方の送信器からの信号によって生じる  $A$  の大きさはほぼ似通っている。受信信号を見ただけでは、リーダがどちらの送信器を指しているのか判別しがたい。また、また入射している 2 つの信号を区別することも困難であると考えられる。

このように、本システムで提示した通信手法を用いることで、複数の送信器を隣接させて設置した場合であっても高い精度で区別することができ、また送信器によって受信できる領域を高い空間精度で設定できることが分かる。

### 4.2 想定される利用環境

本システムは、受信器の向きベクトルが、送信器のペアの発光器の間を通過しているときに光信号を受信することができる。したがって、発光器が壁面に装着され、半空間に向けて信号を放射している場合、壁の前にいるユーザは、自分の位置にかかわらず、この領域をポイントすれば情報を受信することができる。

また、受信器でポイントする場所には何かが存在する必要がないことが特徴である。この特徴は、大きな対象物や、絵画などへ注釈情報を貼付する際に有用である。

たとえばスマートフォンに受信器を装着し、駅構内の看板の情報を取得することを考える。構内にある広告は、ユーザに対して比較的大きな視角を占めるように設計されている。従来の二次元コードなどのタグシステムで情報貼付を行うと、巨大なタグを壁面に貼付することになる。これは壁面の外観を著しく損なう。本システムでは、情報を貼付したい領域の四隅に発光器を設置するだけで、その壁面から情報を読み出すことができ、壁面のデザインへの干渉を最小限に抑えることができる。また、高い空間分解能を利用して、壁面をいくつかの領域に区切り、その所々に別の情報を貼付することもできる。図 4 の手法を用いれば、絵画や彫刻の特定の部分に情報を貼付することもできる。

### 4.3 類似の素子との相違

入射角を測定可能な素子として、PSD や CCD, CMOS センサをあげることができる。PSD は入射点に応じて出力電圧が異なる素子で、レンズなどの光学素子と組み合わせて光線の入射角を測定することができ、主に距離測定に使用される。この素子では、多数の送信器から入射があった場合に、それぞれの信号を分解する処理を受信器側で行うことが必要となる。これに対して本研究のデバイスは、いかに多数の送信器を設置したとしても、受信器がポイントした送信器以外から発せられた信号は DC 信号となるので、HPF が 1 つあれば分離できる。

また高速撮影が可能な CCD, CMOS センサも存在する。

CCD や CMOS センサは多数のフォトダイオードを配列した、いわば超多象限フォトダイオードである。このセンサは、多数の入射光を分離した形で処理することができる。フレームレートを高速化するため、CCD、CMOS センサのそのものの開発が必要となり、高速撮影した画像をリアルタイムで処理する必要があるため、通信速度を増すほどに処理の対象が増加する。このため、限られた計算資源しか持たない携帯機器に搭載することは困難であると考えられる。一方で、本システムの最大通信速度は主に初段の多象限フォトダイオードの応答速度によって決定され、現時点では応答速度 3 nsec 程度の多象限フォトダイオードが市販されている\*4。

## 5. まとめ

本稿では、空間内の領域を区切って光信号を受信させる手法を提案した。提案した手法は、ある程度の距離において設置した2つの発光器から可視光に近い波長で反転したデジタル信号を送信し、レンズなどを介して多象限の受光器の受光面に結像させて光信号を受光するという手法である。この手法をとることによって、光信号の変調成分を受信することができるのは、受光器を送信器の2つの発光器の間に向けたときだけとなる。それ以外の場合には変調信号が相殺し合い、DC成分となる。一般に、光通信器の受信側には信号のDC成分を除外するためのフィルタが内蔵されているため、事実上必要のない信号は自動的に除外される。

この信号を発する送信器を受信器から観察すると、信号が出力されるのは、受信器を2つの発光器に挟まれた帯状の領域に向けたときだけとなる。この領域をタグに、受信器をリーダーに見立てると、従来のタグシステムに似た操作環境を持つ情報配信システムを構築することができる。

このシステムは、高い空間的精度で、ポイントされた送信器からの信号だけを検出できるという特性を備える。検出の過程で実世界認識や座標検知などの複雑な処理を経ないため、搭載システムに負荷をかけずに高速信号を取り扱うことができる。このことから、従来のタグシステムよりも大容量のデータをタグに格納し、読み出すことができる。

謝辞 本研究は科研費若手研究 (B) 23700125 の助成により実施されています。また本研究の信号生成方式の一部には、平成17年度シーズ育成試験 No.31 および科研費若手研究 (B) 20700113 で得られた知見が用いられています。

## 参考文献

- [1] Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing augmented reality environments with visual tags, *Proc. DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments, DARE '00*, pp.1-10, ACM, New York, NY, USA

(online), DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/354666.354667> (2000).

- [2] Want, R., Fishkin, K.P., Gujar, A. and Harrison, B.L.: Bridging physical and virtual worlds with electronic tags, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: The CHI is the limit, CHI '99*, pp.370-377, ACM, New York, NY, USA (online), DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/302979.303111> (1999).
- [3] 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一, 暦本純一: ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ (特集) インタラクショナル技術の革新と実用化, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3664-3674 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110002711464/>) (参照 2002-12-15).
- [4] 西村拓一: 無電源小型通信端末を用いた位置に基づく状況支援システム, 情報処理学会研究会報告, Vol.2002, pp.1-6 (オンライン) (2002), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/10011638023/>).
- [5] 成尾太希, Chinnapat, S., 春山真一郎, 中川正雄: 可視光通信における光電力差を用いた高精度屋内測位システム (ユビキタス・センサネットワークの要素技術, コンテキストの抽出, スマートスペース, ユビキタス生活支援, 一般), 電子情報通信学会技術研究報告 USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol.109, No.131, pp.157-162 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007356439/>) (参照 2009-07-09).
- [6] 光藤雄一: ユーザが接触することで生成される実空間光信号の研究 (ユーザインタフェースとインタラクティブシステム, (特集) 情報洪水時代のネットワークサービス, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.859-866 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110006613077/>) (参照 2008-02-15).
- [7] Mitsudo, Y.: A Real-World Pointing Device Based on an Optical Communication System, *HCI 13*, Shumaker, R. (Ed.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.5622, pp.70-79, Springer (online) (2009), available from (<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/hci/hci2009-13.html#Mitsudo09>).
- [8] 光藤雄一: 照明光通信によるユーザ誘導デバイスの研究 (セッション3: 慶應義塾大学), 情報処理学会研究会報告 UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol.2009, No.17, pp.91-97 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007226118/>) (参照 2009-02-25).



光藤 雄一 (正会員)

昭和52年生。平成21年筑波大学大学院システム情報工学研究科博士課程修了。平成17年より公立はこだて未来大学助手/助教。平成22年より北九州市立大学助教。光空間通信を利用したユーザインタフェースシステムの開発

に従事。博士 (工学)。ACM 会員。

\*4 C30927EH シリーズなど