

基礎論文

LEDを画素とするプロジェクタによる空間光インタフェース

新居 英明^{*1} 橋本 悠希^{*2} 杉本 麻樹^{*3} 稲見 昌彦^{*3}

Optical Interface using LED array projector

Hideaki Nii^{*1}, Yuki Hashimoto^{*2}, Maki Sugimoto^{*3} and Masahiko Inami^{*3}

Abstract – In this paper we propose the LED array projector that project invisible information for small embedded device. Each pixel of this projector has own LED light source which can easily modulated by high frequency signal. In this system, projector send the image to the human's eye and invisible information to the embedded device. For example, each pixel can send positional information and different video signal. We develop a proto-type projector which has LED array of 5 pixel width and 4 pixel heights.

Keywords : space-division multiplexing, Light emitting diode projector

1 はじめに

近年、ユビキタスコンピューティングの発達に伴って、人の周りに存在する多数のデバイスとの高度な無線ネットワークが必要とされ、現在までにさまざまなシステムが提案されている。無線を使用したものではBluetoothやRFIDによる情報伝達システムがすでに実用化しており、光を用いたものでは、カーナビシステムのVICSシステムや光無線LANが実用化されている。研究としても、非常に多岐にわたる研究が行われてきている。

その中で、我々は屋内にいるユーザに対する情報伝達システムについて注目している。ここで想定しているのは、一つの送信ユニットから多数のユーザーまたはデバイスに対して、ユーザの要求に応じて対応する音声データ、あるいは動画データを送出するようなシステムであり、一般に屋内における人とその周辺のデバイスに対する通信に関するものである。

この分野においては、従来の無線による通信システムでは帯域の問題が発生するといわれている。つまり、ユーザーや通信対象のデバイスの増加した場合、従来の時分割、周波数分割による通信方式では通信帯域が不足してきてしまうことが問題としてあげられてきている。また、お互いに一定の距離に入ることにより通信を開始してしまうため、多数のデバイスが存在する環境では通信帯域が十分であっても、通信相手の

特定する方法、通信開始のプロトコルが煩雑になってくる。よって、非常に多数のデバイスとのやり取りを行うにはこの方式をそのまま応用するのは難しいと考えられる。

そこで、我々は、より多くのデバイスに対して通信を行うために、通信可能な範囲をあらかじめ制限することによりこの問題を回避できると考えた。通信可能な範囲を制限する方法としては、人のそばのデバイスと通信するという特性から、特定の場所に対してのみ通信ができるようなシステムが好ましいと考え、光通信に注目した。なぜなら、光を用いた場合、特定の方向だけに情報を送信することが簡単に実現できるため、人の移動などに伴い、特定のデバイスに対してだけの通信を行うことが容易だと考えたからである。これは光による空間分割多重化ともいえる。

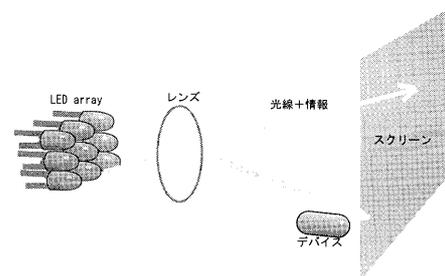


図1 情報投影プロジェクタ概念図
Fig.1 information projector

本論文では、図1のようなLEDアレイを用い、空間分割多重を行う情報投影プロジェクタを実現し、ヒューマンインタフェースとして用いるシステムを提案する。ここで情報投影プロジェクタとは、通常の映像プロジェクタが映像を投影する場合において各画素単位

^{*1}東京大学大学院 情報理工学系研究科

^{*2}電気通信大学大学院 人間コミュニケーション学専攻

^{*3}電気通信大学 知能機械工学科

^{*1}Graduate school of Information Science and Technology, The University of Tokyo

^{*2}Graduate school of Electro-Communications, The Univ. of Electro-Communications

^{*3}Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, The Univ. of Electro-Communications

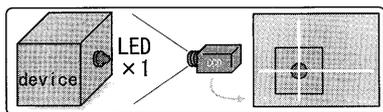


図2 カメラによる位置計測

Fig. 2 Basic concept of image processing

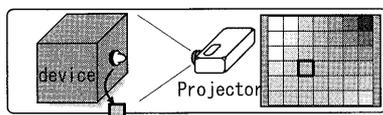


図3 プロジェクタを用いた位置計測

Fig. 3 Basic concept of projector image processing

で異なる輝度情報を投影するのと同様に、各画素単位で異なる埋め込み情報を投影できるシステムである。このコンセプトは筆者らが再帰性反射通信に関する研究 [1] で提案している。

その概要として、ビデオカメラとプロジェクタというものは、双対の関係にあるということ述べている。つまり、ビデオカメラを画像から映像情報に変換する装置と考えると、プロジェクタは映像情報から画像に変換する装置と考えることが可能ということである。この関係は使用法に関しても当てはまる。テレビ映像撮影装置として発展してきたビデオカメラが、画像処理システムでは図2のようにマシンビジョンのセンサーとして使われてきている。同様な関係が、プロジェクタにおいても発生しており、人に対して映像投影するだけにとどまらず、図3で示すようにデバイスに対して情報を投影するように応用されてきている。このコンセプトを元に、プロジェクタを用いた人に感知されない情報を通常のプロジェクタにて投影するというシステムを実現している。

しかしながら、筆者らの過去の報告 [1] では非常に低い情報量の伝送手法を実現しているに過ぎない。一方、本提案では同様のコンセプトであるが、実際のビデオ映像を一画素単位で、1対多で送信可能なプロジェクタのプロトタイプを実現する。また、平均輝度を制御することにより、人に対しては映像を構成するピクセルを投影することが可能となっている。

このシステムを使うことで、非常に多数の機器が人の周囲に存在する状況において、多数のデバイスと同時に通信を行うことができる。また、通信容量の増加という観点から考えると、周波数分割多重、時間分割多重に加えて、電磁波の波長では難しい数m程度の空間における空間分割多重化による通信容量の増加を期待できる。また、空間分割多重のもう一つの利点として、通信対象が増えた場合に対象の物体の位置に応じ

て通信対象が限られることが、通信開始時の処理が簡単になるということが挙げることができる。

今回試作した可視光LEDによる情報投影システムにおいては、複数のビデオ信号を送信し、その受信位置に合わせて、異なるビデオ信号を受信できることを確認し、実際のアプリケーションを作り基本的な動作を確認した。

2 関連研究

空間に光情報を投影する研究としては産業技術総合研究所の西村拓一らによる空間光通信技術 [2] が挙げられるが、受信位置に応じて様々な情報を提示しようと試みている点で、目指すべき将来像は本提案と類似している。多数の赤外LEDによる近傍空間への音楽の転送等の実装が行われているが、デバイスは無電池システムであり、人への情報送信を目指したものである。現時点での位置情報取得に関しては、赤外投光型カメラにより対象の位置を計測するシステムである。カメラを用いてデバイスの位置、種類を特定し、それに対応した情報を流すという構成のため、本研究で目指す、投影位置を制限することによる空間情報多重とは別の方向であると考えられる。

また、LEDを用いて位置情報や映像情報を送る研究としては可視光通信コンソーシアム [3] の一連の研究が挙げられる。この研究は本研究と非常に近いテーマを扱っており、交通信号毎に異なる情報を投影するというシステムであり、屋外において、空間分割多重が少ない分野では非常に進んだ研究を行っていると言える。

一方、プロジェクターを用いた計測技術としては、以下のような研究があげられる。Ramesh Raskar らによる The office of the future のプロジェクト [4] の要素技術としてプロジェクタの映像に人には知覚できないモアレ縞を埋め込み、投影面の形状をリアルタイムに計測するシステムが研究されている。しかしながら投影の対象はあくまでもスクリーンであり、情報は重畳していなかった。その後、Daniel Cotting らの情報収集と表示を同時に行うために非関知パターンを投影映像に埋め込む研究 [5] において、プロジェクタ投影映像にバイナリパターンを埋め込むことにより、環境の奥行き情報や表示位置補正など積極的に利用できるようになってきているが、それを電子デバイスの情報として用いてはいない。

他に、Ramesh Raskar らの iLamp [6] や RFIG [7] と呼ばれる無線 ID タグとコンピュータビジョンを組み合わせたシステムも類似の研究としてあげられる。このシステムは RFID カードに受光素子を接続することで、RFID の応答信号に光量の情報を返すことができ

るデバイスと手持ちの小型プロジェクタから構成される。使用方法としては、小型プロジェクタから、位置特定用映像の光を受け、RFID が返答することで、プロジェクタとの相対位置関係を検出できるようにしたシステムである。このシステムは一般的なプロジェクタを使うことで安価に位置情報のやりとりを行うことができるが特徴であるが、光による高速通信の方向性は見られない。

光空間通信についての研究については、すでに屋内向けの数 m 範囲のタイプから屋外向けの 1 対 1 ではあるが、到達距離が数 km に及ぶ製品が製造、販売されている [8]。しかしながら多数のデバイスとの間で通信する場合には無線通信と同様に通信帯域を時分割で使うことが主眼で空間分割型はこれからの研究テーマになっている。

その例として、シリコン基板上に受光部・発光部・演算部を設けたスマートピクセル [9] の研究は東大の石川正俊をはじめとして内外で広く研究されており、光コンピューティングや高速通信でのインターコネクットの要素技術として大変期待できる研究である。このような 2 次元デバイスを屋内実空間に応用した例としては、石田らの 2 次元送受信機による高速な並列空間可視光通信システムの設計 [10] が挙げられる。この研究では送受信とも 2 次元アレイを用いているが、1 対 1 でのスループットの向上を目指している点で本研究とは区別できる。1 対多の関係をもつ 2 次元デバイスを用いた研究としては、香川らのオプトナビ [11] の研究が挙げられる。この研究では 2 次元イメージセンサ上に特定の領域を設定し、その特定の領域に於ける受信フレームレートを向上することで、通常の映像を取得すると同時に、高速に ID を受信することが可能となっている。この研究では実際に多数の機器との通信を目指しており、本研究と類似した方向性を持っているが、受信側を中心とした構成となっている点で異なると言える。

また秘映プロジェクタ [13] も近い研究として考えられる。この研究では映像を投影すると同時に、赤外線情報を投影できるプロジェクタを提案し、赤外線でも 2D-ID 情報を投影、携帯端末のカメラで 2 次元バーコードとして情報を受信することにより投影場所ごと、端末毎に異なった情報を人には見えない赤外線でも投影できるものである。しかしながら、この研究では提示用プロジェクタとは別に、本質的に見えない赤外線によるプロジェクタを同時に用いており、別途位置合わせ作業が発生してしまうなど、本研究における可視 LED により情報を送る手法とは方向性が異なっていると考えられる。

3 情報投影プロジェクタの提案

このシステムの将来の目標として、人に必要な情報を統合して周りに投影することを想定している。そのため、プロジェクタの 1 画素から送信する情報としては、人が見たり聞いたりする情報、つまりビデオ映像や音声信号などを伝送可能な通信帯域を持つように設計する。そのために必要な設計要素を以下のように規定する。

3.1 情報重畳可能な素子の選択

通常の映像用プロジェクタにおけるフレームレートは約 60Hz である。このフレームレートにおける変調可能な情報量は、最高でも一画素あたり 60bit/s 以下となるため、音声やビデオ信号を伝送するには不十分である。その問題を解決するため、より高速に変調できる DMD (Digital Micro-mirror Device) を利用した DLP プロジェクタ [14] に着目した。通常の DLP プロジェクタは 60Hz のフレームレートで画像を更新するが、DMD 素子単体のフレームレートは最大 10,000Hz となる。[11] によると DMD を直接制御可能な機器も販売されており、外部から直接 DMD 素子を制御することで、10KHz までの情報を送信可能になると考えられる。この DMD を用いた研究としては、北村らの DMD を用いた空間分割型可視光通信の基礎検討 [12] 等の研究が行われている。この研究は、映像に情報を付加するという方向性を持っていると考えられる。これに対して本研究ではビデオ信号程度の高速な情報に、今後映像情報を付加していきたいという逆の方向性を持っていると考えられる。しかしながら DMD の情報フレームレートでもビデオ信号を投影するには速度が不十分である。そこで LED を使ったシステムを検討した。LED は値段も安く、非常に明るく、高速変調が可能な素子である。これを複数使用しアレイ状に組み合わせることで、LED を光源として各画素単位で異なった情報を伝送可能なプロジェクタとして利用できないかと考えた。変調可能な周波数は 100MHz 以上であることから各画素単位で動画を送るという目標は十分達成可能だと考えられる。これらのシステムにおける、投影できる画素数とフレームレートについては図 4 に示すような関係があると考えられる。

次に画素数について検討すると、現在入手可能な高輝度 LED のサイズと、実験のために必要な最低分解能を考慮し、入力 4 系統のビデオ帯域の信号を 4×5 に並べられた LED に自由に切り替えて出力できる構成とした。このままでは、画素単位ですべて異なる情報ではなく 4 系統の情報しか投影できないが、ドライバ制御部のソフトを変更することで、画素単位に異なる、座標情報などを投影することも可能である。

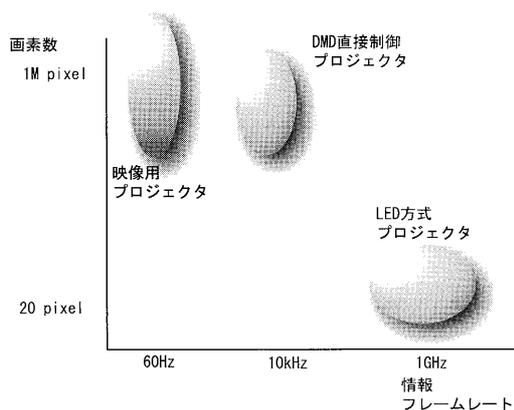


図4 画素数と通信容量の関係
Fig.4 division and communication traffic

3.2 情報重畳手法

LED アレイによる情報投影プロジェクタを実現する上で情報を映像に重畳する方法を以下のように決定した。

基本的には、重畳する情報を高い周波数でFM変調すると共に、平均輝度を制御することにより人のための映像投影を実現する。その結果、人がスクリーンを見ると輝度の異なる画像が見えると同時に、スクリーン上に置かれたデバイスに対しては、その存在する画素に対するFM変調された情報を取得できる。ここで、FM変調を用いるため、必ず強度が強い方の情報だけを受信することが特徴となる。この特徴によって、LEDの配置が密ではなくLEDの配置に間隙が存在し、光量減少する場合においても、情報は欠落しないことが予想される。

3.3 LED制御回路

LED発光部は市販の中版カメラの筐体に組み合わせるようにし、LEDを図5のような配置で取り付けした。またLEDは実験で投影範囲がわかりやすいよう緑色とし、輝度の高い反射型LEDを用いた。使ったLEDは図6の形状であり、その仕様は次の通りである。(Opti-device社 OP3-5305T1, 半値角9度、軸光度25cd、外形寸法6.03mm×5.8mm、発光時20mA)

LEDドライバはLED発光部の裏側に図7のように配置している。CPLDとCMOSロジックICを用いることで小型化し、4系統の入力信号から各画素にあわせてリアルタイムに切り替え可能とした。切り替えはパソコンからシリアル通信経路で行うことが可能である。そのブロック図を図8に示す。主要要素としては、スイッチとしてXilinx社CPLD XC9572、LEDドライバとしてTC74AC04P、シリアルポートからの信号をCPLDに受け渡すため、PIC16F88を使用し画

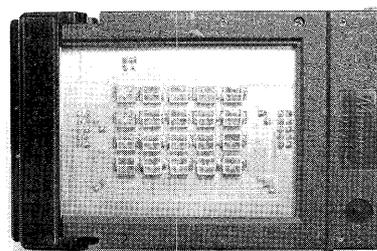


図5 フィルムバックに搭載されたLED基板
Fig.5 LED board in the film back

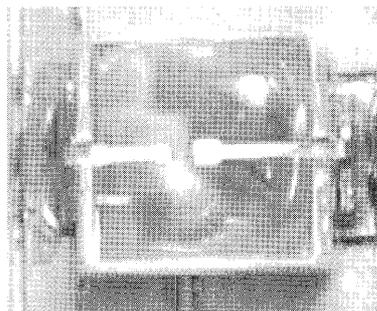


図6 LEDチップ拡大図
Fig.6 Photo of LED chip

素ごとにどの情報を出力するか切り替えることができるようになっている。

なお、重畳信号が通過するところは、全て50MHz以上の速度で動作可能な部品のみで構成されているため、ビデオ信号を変調した信号も使用可能である。

3.4 機構

プロジェクタの筐体として、市販カメラボディを使用しており、その外観を図9に示す。このカメラのフィルム面にあわせて前述のLED制御回路を配置している。使用したカメラの仕様は表1の通りである。

表1 カメラ諸元
Table 1 Parameter of camera

仕様		値
カメラ	型番	MAMIYA RB67PRO-S
	フランジバック	114mm
レンズ	型番	RB-KL-65/F4L
	画角	68度
	有効瞳径	16mm

4 性能評価

4.1 基本性能

このプロジェクタを用いて投影した様子を図10に示す。測定した屋内の照度は約600lxであった。この図より明るい屋内においてもLEDの投影箇所は十分判別できている。中心照度を測定してみると、カメラのフィルム端から1m離れたところで最大274lxと

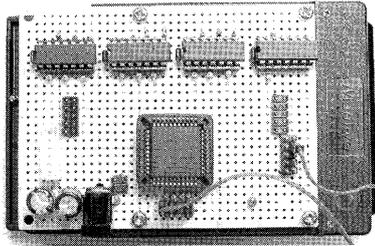


図7 LED制御ボード
Fig.7 LED control board

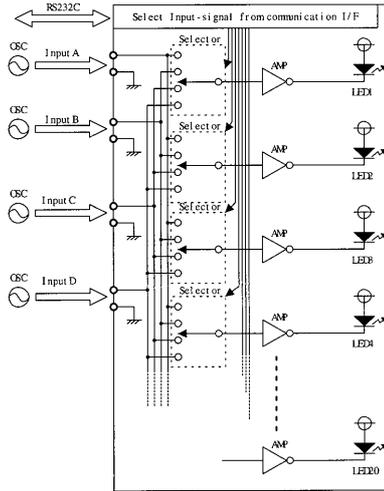


図8 LED制御回路ブロック図
Fig.8 Block diagram of LED controller

なった。一方、投影されたLED映像の大きさは一辺が60.5mmの正方形となった。これをルーメンに換算すると画素一つあたり0.99[lm]となる。今回のプロジェクタは画素数が20あるため、プロジェクタ全体では20ルーメンのプロジェクタとなる。

4.2 空間分離度の測定

この結果より、屋内におけるLEDプロジェクタの利用は十分可能であることが確認できた。しかし、LEDの配置上の制限があり、LED素子とLED素子の間に非発光部が必ずできてしまう。そのため、位置情報等を投影した場合に非発光部において、情報が受信できない可能性が考えられる。あるいは、非発光部において、両方の信号を混合して受信してしまう場合も考えられる。

そこで、このプロジェクタを用いて合焦点時、非合焦点時の2条件で隣接画素同士の投影情報の強度を計測し、上記の問題が発生しないことを確認した。この実験では図12に示すように10.7MHzの搬送波に1kHz,2kHzのFM変調を掛けた信号を用意し、それをプロジェクタの入力とし、投影画像は市松模様とした。図中Aが1kHzを変調した10.7MHzの信号,Bが

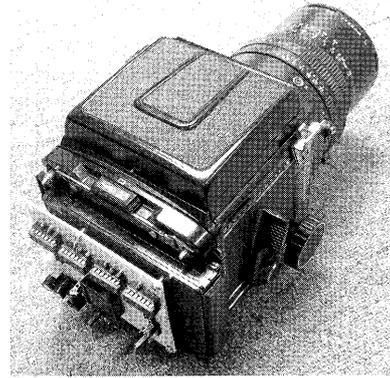


図9 プロジェクタ外観
Fig.9 Photo of projector

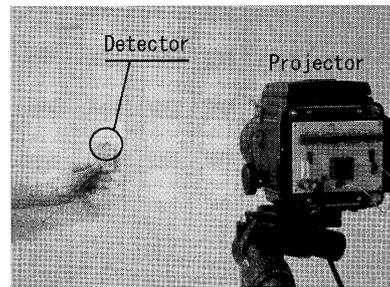


図10 プロジェクタによる投影の様子
Fig.10 Example of projection by LED projector

2kHzを変調した10.7MHzを表すことになる。

受信デバイスとしてはフォトダイオードとFM復調部をケースに内蔵したユニットを用意した。計測方法としては受信デバイスを移動しながら受信回路の出力電圧をオシロで観測しながら同時に記録した。また、受信部出力をパソコンに取り込み、各周波数成分のみをFFTを用いて抽出、記録した。実験の様子を図13、実験時の受信機の出力信号の一例を図11に示す。実験結果としてぼけの無い条件は図14、ぼけのある条件は図15に示す。実験結果からは無信号領域

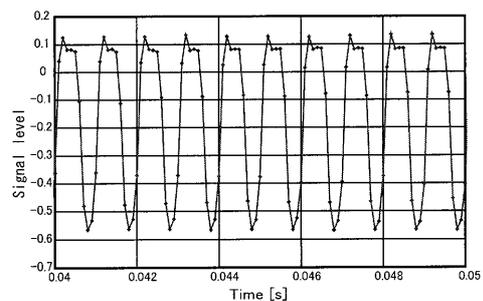


図11 受信信号波形
Fig.11 Output signal of receiver

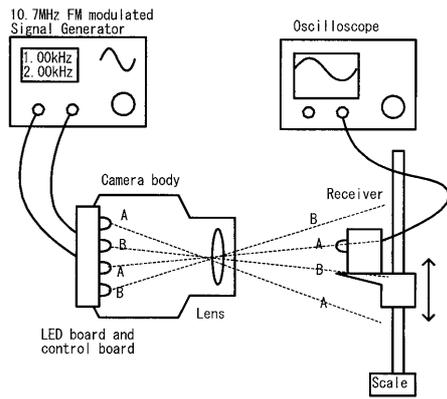


図 12 実験装置
Fig.12 Experimental setup

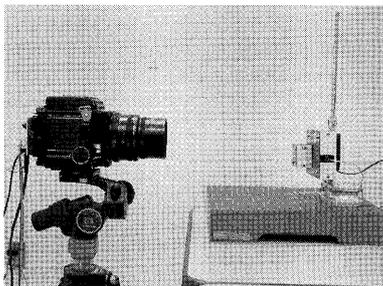


図 13 分離度測定実験の様子
Fig.13 Project two signal and receive a signal at its position

は狭く、隙間がほとんど無いことがわかる。また、2信号の分離も十分されていることが読み取れる。

また、図 15 から、隙間が変化しても、分離の様子は変化しないことがわかる。以上のことから、この方法で隙間の無い情報投影を行うことが可能であることが確認できる。また、実際のプロジェクタを設計し、投影する一つの画素が小さくなった場合でも、今回の方法で問題なく投影可能であることが予想できる。

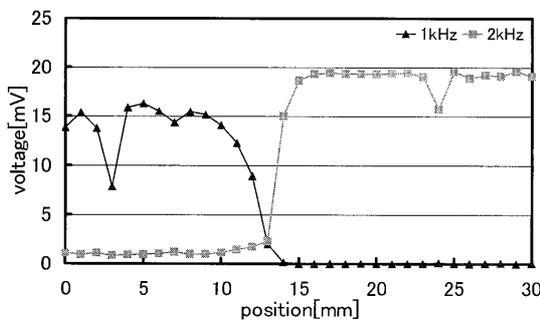


図 14 受光位置と信号強度
Fig.14 Position of receiver and signal

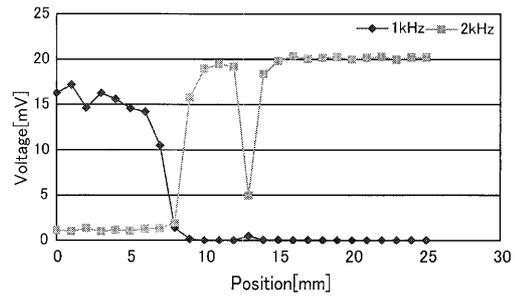


図 15 ボケのある状態の受光位置と信号強度
Fig.15 Position of receiver and signal with no gap

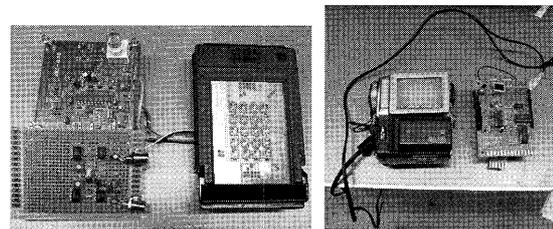


図 16 ビデオ送信機 (左)、受信機 (右)
Fig.16 The circuit boards of video (Left:transmitter, Right:receiver)

4.3 ビデオ映像の投影実験

次に、実際のビデオ映像を投影し、受信が可能であるか確認した。この実験のため、ビデオ信号を FM 変調し 5MHz から 11MHz にする回路、受光しビデオ信号を復調する回路を図 16 のように用意し、図 17 のように接続した。その結果、受光部を移動することで、場所に依じて 2 台のカメラ映像が図 18 のように受信可能であった。しかしながら、LED の光が当たらない間隙部分でノイズ画面になってしまうこと、受信中においても画質が良くないことが判明した。これは、画像受信回路の感度の問題で、音声に比べ強い信号強

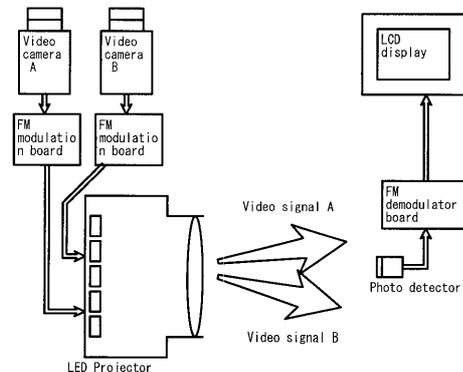


図 17 ビデオ送信用実験装置
Fig.17 Experimental setup of sending video

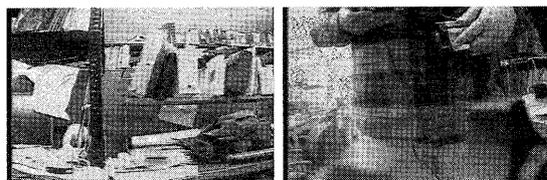


図 18 ビデオ受信映像 (2 種類)
Fig. 18 Demodulated video images

度が必要であることと、ビデオ回路に必要な位相特性が十分確保されていないことが問題であることが推定される。

以上のことから、ビデオ信号を投影できるプロジェクタのプロトタイプとして一応の結果が出たと考えられる。

5 インターフェースへの応用

最後に本プロジェクタをヒューマンインタフェースとして用いることができるようなアプリケーションを試作し、体験した。内容としては、視覚情報と共に画素毎に異なる音声情報を変調することで、簡単なインタラクション装置を構成している。このシステムは図 19 のように、以下の機材から構成されている。

- 4 x 5 画素の試作 LED プロジェクタ
- 2つの音楽を各画素単位で切り替えて送信しながら、画素の平均輝度を 1 : 5 程度で切り替える制御部
- 音楽を録音したプレイヤーとノイズ状の音を記録したプレイヤーと FM 変調器が 2 台
- 受光部を手持ちにした赤外線受信ヘッドフォン

このシステムではプロジェクタから複数の FM 変調された音楽信号から、画素ごとに音源を選択して情報投影している。ここで投影される輝度については音声を変調したまま、2 階調を切り替えることが可能である。また、入力音声信号としては最大 4 種類入力可能であるが、現在は 2 種類の音源を用いている。

一方、体験者は赤外線受信部を手を持ち、スクリーンを指し示すことで、該当画素の音楽を受信できるヘッドフォンをかけている。また、LED プロジェクタには投影パターンと音声を順次切り替えていく制御装置をつけて図 20 のようなタイミングで切り替えていく。

その結果、一箇所を指し示した状態のまま音楽が途切れてしまい、ノイズ状の音と音楽が交互に出現することになる。ここで、体験者は模様の変化に合わせて、受光部を指し示す位置を変化させることで、音楽

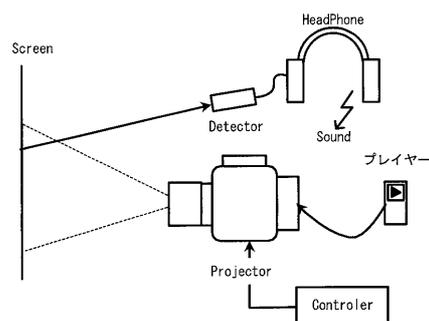


図 19 体験装置
Fig. 19 Experience equipment

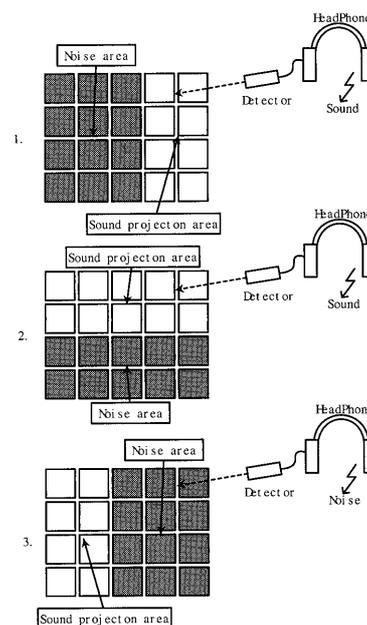


図 20 音源トラッキングインタラクションの概要
Fig. 20 Sound source tracking interaction

だけを聴くことができるような体験が可能である。言い換えると、スクリーンを指し示す位置に合わせて音楽追跡体験が可能なインタラクションゲームを構成できる。この体験の様子を図 21 に示す。

ここでは分かりやすいように、受光部にレーザーポインターを取り付け、指し示す方向が分かりやすいようになっている。体験者からは方向を切り替えたときに音の切り替えについて時間遅れが無いことがとても気持ちよいとの感想を得ている。現在のところ、このシステムは簡単なゲームであるが、画素数や音源数を増加させることにより各種の発展が可能である。例えば、動画像に対する説明付加が可能なプロジェクタや、音声データ以外に座標情報を送信することで、受信部の向きなどを計測できるインタフェースとしても使用可能になると考えられる。

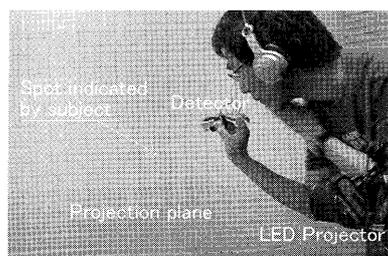


図 21 インタラクションを体験している様子
Fig. 21 Photo of experience with interaction

ところで、このシステムではプロジェクターと検出器との距離が重要になるが、今回のシステムでは反射板を含めた光路長が約 1m 程度まで動作することが確かめられている。反射を使わない直接波の場合には 2m 以上届くが、スクリーンにおける反射を使った場合、到達距離が少なくなっている。

5.1 考察

LED プロジェクターを試作することによって、空間分割多重の基礎的な実装及び、基礎的なインタフェースとして使用が可能であることが確認できた。また、本システムの構成上、LED 同士の間は無発光領域ができてしまうが、情報投影装置として用いる場合には情報が途切れないことも確認できた。一方、その無発光領域を狭くした場合も、情報が干渉している様子はなかった。そのため、画素の LED サイズを小さくした場合にも、本提案手法で画素毎に独立した情報投影が可能であると予想される。

また、本方式において、安定してビデオ信号を送信するためには送受信回路を改良する必要があるが、基本的にはビデオ画像を伝送できる性能を持っていることを示すことができた。しかし、試作したプロジェクターでは画素数が少なく、また明るさも満足ではない。

今回の結果から、20mA の LED で約 1lm の輝度が得られると言うことが計測できたことから、実際のプロジェクターを構成するために 1000 個程度の LED を用いることで、1000lm 程度の輝度を得られる見込みが得られた。

また、情報投影と言う面では、今回の LED の動作条件では反射板を含めて 1m 程度の到達距離を得られた。この距離の短さは高周波の回り込みが考えられている。なぜなら、プロジェクターの LED ドライバのシールド等が不十分であり、プロジェクター側の変調器出力の配線を移動することで、ノイズの様子が変わることが観測されたためである。そのため、実際にプロジェクターを設計する場合には、シールドをしっかりと取り、不要な配線を外部に出さないような方向性を考慮した設計が必要であろう。

6 まとめ

本研究では、屋内環境において、人の周囲にある多数のデバイスに対して情報を投影するために、情報投影プロジェクターのコンセプトを用い、LED アレイを用いてビデオ信号を投影可能な LED プロジェクターを提案した。次に提案したプロジェクターのプロトタイプを試作し基本的な性質を検討した。その結果、LED の隙間があっても情報投影においては、問題ないことと、LED サイズを小型化しても実現可能であることが確認できた。また、音声信号、ビデオ信号を実際に FM 変調して情報投影を行い、受信側のデバイスで選択的に受信可能なことが確認された。

今後は、素子数の増加、変調速度の向上により、より実用的なプロジェクターに関する研究を予定している。他に受信部のデバイスについても検討したい。

また、本研究で用いるプロジェクターの将来の用途として、舞台から客席に向かって投影することで客の座席によって異なる音声を送ることができたり、博物館など多数の人が集まる空間で、展示物とその説明映像を光で結びつけるインターフェースとして実現できるのではないかと考えている。

謝辞

本研究の一部はエネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 平成 16 年度 産業技術研究助成事業の助成金を得て行われた。

参考文献

- [1] 新居英明, 稲見昌彦, “再帰性反射通信に関する研究,” 日本バーチャルリアリティ学会第 8 回大会論文集, pp.539-542, Sept. 2003.
- [2] T. Nishimura, H. Itoh, Y. Yamamoto and H. Nakashima. “A compact battery-less information terminal (CoBIT) for location-based support systems,” In Proceeding of SPIE, number 4863B-12, 2002.
- [3] 中川正雄, 可視光通信の世界～LED で拓く「あかりコミュニケーション」～, 可視光通信コンソーシアム (編), (株) 工業調査会, 東京, 2006.
- [4] Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin, and Henry Fuchs. “The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays,” Computer Graphics. ACM Press, pp.179-188, 1998.
- [5] Daniel Cotting, Martin Naef, Markus Gross, Henry Fuchs, “Embedding Imperceptible Patterns into Projected Images for Simultaneous Acquisition and Display”, Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'04), pp.100-109, 2004.
- [6] R. Raskar, J. Baar, P. Beardsley, T. Willwacher, S. Rao and C. Forlines: “iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors”, Proc. of SIGGRAPH2003, pp.809-818, 2003.

- [7] R. Raskar, P. Beardsley, J.v. Baar, Y. Wang, P. Dietz, J. Lee, D. Leigh, T. Willwacher, "RFIG Lamps: Interacting with a Self-Describing World via Photosensing Wireless Tags and Projectors," proceedings of SIGGRAPH, 2004.
- [8] 光無線通信システムコンソーシアム, <http://www.icsa.gr.jp/>
- [9] T Komuro, S W. Kagami, I Ishii, and M Ishikawa: Device and System Development of General Purpose Digital Vision Chip, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.12, No.5, pp. 515-520, 2000.
- [10] 石田正徳, 宮内聡, 小峰敏彦, 春山真一郎, 中川正雄: "2次元送受信機による高速な並列空間可視光通信システムの設計", 信学技報, OCS2005-20, pp. 49 - 54 (2005)
- [11] 香川景一郎, 山本幸司, 前田勇希, 三宅康也, 田邊英樹, 政木康生, 布下正宏, 太田淳: "カスタム CMOS イメージセンサを用いた情報家電用ビジュアルマルチリモコン「オプトナビ」", FIT2005 第4回情報科学技術フォーラム 情報科学技術レターズ, vol.4, 229-232 (2005)
- [12] 北村 匡彦, 苗村 健: "DMD を用いた空間分割型可視光通信の基礎検討", FIT2006 第5回情報科学技術フォーラム 情報科学技術レターズ, vol.5, pp. 293 - 295 (2006.9).
- [13] 白井良成, 松下光範, 大黒毅, "秘映プロジェクタ: 不可視情報による実環境の拡張", The 11th Workshop on Interactive Systems and Software(WISS2003), pp.115-122, Dec. 2003.
- [14] L. J. Hornbeck, "From cathode rays to digital micromirrors: A history of electronic projection display technology," Texas Instruments Technical Journal (special DLP issue), Vol.15, No.3, pp.7-46, 1998.

(2006年12月25日受付)

[著者紹介]

新居 英明 (正会員)



1995年 東京工業大学大学院理工学研究科博士前期課程制御工学専攻修了。同年株式会社トキメック入社。2003年4月同社退社。2003年から2006年まで電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程機械制御工学専攻在籍。現在、東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 助教。情報投影技術を利用したヒューマンインタフェースの研究に従事。

橋本 悠希 (学生会員)



2005年 電気通信大学 電気通信学部 知能機械工学科卒業。2007年 同大学大学院電気通信学研究科 知能機械工学専攻博士前期課程卒業。現在、同大学大学院電気通信学研究科 人間コミュニケーション学専攻 博士後期課程在籍。触覚提示、光通信システムの研究に従事。

杉本 麻樹 (正会員)



2000年 千葉工業大学工学部電子工学科卒業。2002年 同大学大学院工学研究科博士前期課程情報工学専攻修了。2006年 電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程機械制御工学専攻修了。博士(工学)。2002年から2003年まで科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業「協調と制御」領域グループメンバーとして、東京大学大学院情報学環研究補佐員を経て日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所人間情報研究部客員研究員。2004年から2007年まで日本学術振興会特別研究員。現在、電気通信大学知能機械工学科 産学官連携研究員。画像提示装置を用いた計測と制御の研究に従事。

稲見 昌彦 (正会員)



1999年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。東京大学リサーチ・アソシエイト, 同大学助手, 電気通信大学講師, 同大学助教授, マサチューセッツ工科大学コンピュータ科学・人工知能研究所客員科学者, 科学技術振興機構 さきがけ研究者を経て, 2006年より電気通信大学知能機械工学科教授。ロボット, バーチャルリアリティ等インタラクティブ技術に関する研究に従事。情報処理学会山下記念研究賞, 同学会論文賞, 日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞, 同学会論文賞, 同学会貢献賞, IEEE Virtual Reality Best Paper Award, ICAT Best Paper Award, ACM ACE Excellent Paper Prize 等受賞, 日本バーチャルリアリティ学会, IEEE Computer Society, ヒューマンインタフェース学会, 日本ロボット学会等各会員。