

平成22年6月7日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700113

研究課題名 (和文) 実世界ポインティングによる音声情報支援システムの研究

研究課題名 (英文) A Research of Optical Tag System : Attaching Audio Data to Real World Object

研究代表者

光藤 雄一 (MITSUDO YUICHI)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・助教

研究者番号：70404803

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、ユーザのポインティングによって動作する光空間通信システムを提案した。このシステムは、実世界に複数設置された光送信器のうち、ユーザがポイントした送信器から発せられた光信号だけを選別して受信することが出来る。本研究で行われた一連の実験では、広く普及している携帯電話を使用してシステムを組み上げ、このシステムが1) ユーザのポイントによって送信器を選定できるだけの十分な空間分解能を持つこと2) 音声情報を送信するために十分な速度で変調された光信号を扱う事が出来ることの2つの機能を両立していることが実証された。また、ユーザの眼球を組み込んだシステムも実装し、両者がほぼ同じ性能を持っていることも実証された。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, a novel optical communication device, which enables a user to select a transmitter by his/her pointing action, is presented. The aim of this system is to provide a user to large amount of data, triggered with his/her pointing to real world object. Several experiment with implemented system prove this system has enough special resolution and temporal resolution to 1) select optical transmitter with user's pointing, 2) transmit sound data with pulse width modulated optical signal. Implemented system is attached to cell phone, and user's natural eye, and both systems performing almost same spatial and temporal resolution.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：移動体通信,情報通信工学,光スイッチ,ユーザインターフェース,照明光通信

1. 研究開始当初の背景

携帯機器の小型・高性能化につれて、実世界での情報支援のための設備に注目があてられている。このシステムは、情報支援の名の通り、実世界のユーザに状況に応じた情報を提供することを目的とするが、現在の環境

では無線 LAN や 3G などの限られた方式しか利用することが出来ない。近年、光空間通信による情報提供も注目されているが、信号の届く範囲に入ったユーザに情報を与えるという構造自体は従来の無線通信システムと変わらない。本研究では、光空間通信の送

受信方式を工夫することにより、ユーザがポイントした送信器からの光信号を受信する機能を提案した。このシステムは、実世界の物体そのものに、音声データのような大容量のデータを添付することができ、ユーザがポイントによって情報を読み出すことから、○タグシステムと○ポインティングデバイス、○通信デバイスの3つの機能を備えるシステムであると考えられる。

従来の無線 LAN のようなシステムであっても、物体ごとにストリーミングデータを割り当て、ユーザのポインティングを検知してデータを配信することは可能であると考えられるが、ユーザが複数になると通信容量等の関係から運用は困難であると考えられる。本システムは純粋に光空間通信を使用しているため、そのような制限にとらわれることなく情報の添付・読み出しを行う事が可能なことが特徴である。

2. 研究の目的

- (1) PointSpeech/CPの受光回路・復調回路（複数の復調方法）
- (2) PointSpeech/CPの筐体の作成
- (3) PointSpeech/CPの送信器（VisionCommunicatorと併用可能）
- (4) ユーザの使用に関わるシステム特性の計測（ポインティング特性やユーザビリティ）および評価
- (5) PWMおよび $\delta \Sigma$ 変調によるデータ転送の実施と各変調方式における通信特性の評価を目的とした。

3. 研究の方法

携帯電話用小型VisionCommunicatorの実装および評価と、

同システムを使用したユーザに対する実世界音声支援システムの実装および評価

PointSpeech/CP（後述）の送受信器の実装と、

- 空間的な受信特性の精密な測定および実証
- 変復調の違いによるS/N比など、通信品質の測定
- ポイントによる選択精度など、ユーザインターフェースとしての特

性の測定

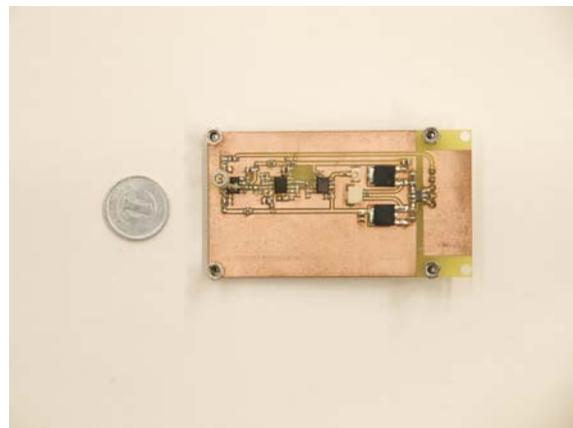
4. 研究成果

本研究の研究成果と

(1) PointSpeech/CP の受光回路・復調回路の実装

回路及び基板を設計し、PointSpeech/CPを設計した。

この基盤は光信号の受信用の受光素子としてアバランシェフォトダイオードを使用し、プリアンプ・検波装置（ハイパスフィルタ）+セカンドアンプと出力用のバッファの3つのICを備える。センサを駆動するための電源は外部から3系統（120V, $\pm 7V$ ）供給され、IC用の $\pm 5V$ シリーズレギュレータを介してICに供給さ

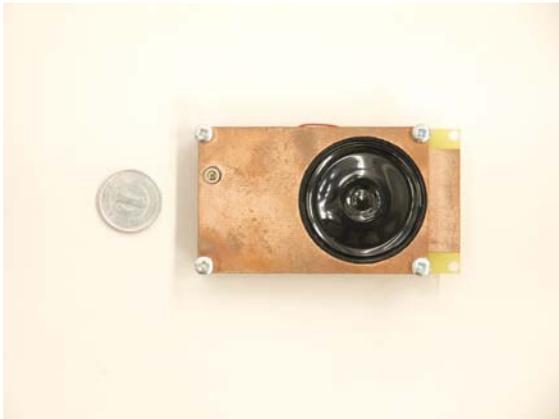


れる。120V はセンサのバイアス用である。

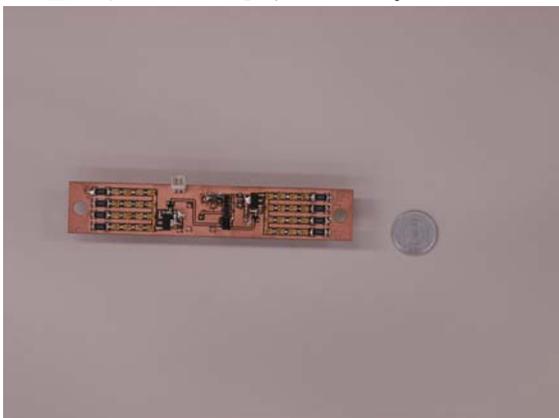
- (2) PointSpeech/CP を携帯電話に装着するための筐体を作成した。この筐体は、1の受光・復調回路と同じサイズの基盤にスピーカーとスピーカーの駆動回路を配置し、基盤を2段に重ねて筐体とした。この構造により、受光回路内のセンサ用のDC120V電源回路は外部に露出されることなく保護され、また基盤の銅箔が電磁シールドの役目を果たし、ノイズが低減される。この基盤は PWM 信号による音声の再生に対応しており、PWM 信号が入力されると音声が出力される。



(1)の受信回路内の受光素子の位置は、筐体を携帯電話と重ねて保持した時に、ちょうど携帯電話のイメージセンサの開口部を向くように配置されている(写真下)。スピーカ基盤は携帯電話側の筐体の面を構成しており、フォトダイオードはこの面を貫通して配置されている。この装置は電源と接続し、携帯電話と重ねて保持すると、受光器がイメージセンサの開口部を向き、動作状態となる。



(3) PointSpeech/CPの送信器を2種類作成した。1つは砲弾型の近赤外線LEDを片側6個使用したタイプであり、もうひとつは表面実装型の近赤外線LEDを片側12個使用したタイプである。後者のタイプは前者に比べて薄く実装することが出来るが、LEDが高密度に配置されるため、LEDの排熱が問題となる。近赤外線LEDは、熱線に近い波長の電磁波を放射することから、点灯時に熱を放射し易い。熱によって光量が低下することから、LEDからの排熱も考慮する必要がある。LEDを12個近接して配置した場合、熱源の密度が上がることから排熱がうまくゆかず、結果的に光量が下がることも考えられる。



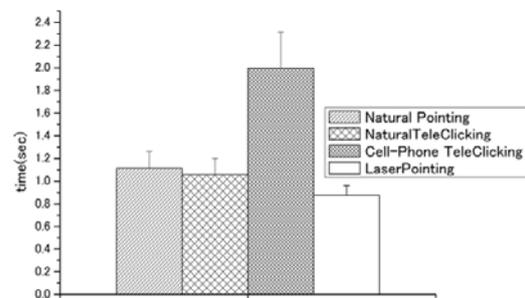
(4) ポインティングのユーザビリティ
PointSpeechの特徴的な動作の一つに、視野上の送信器に対して指を重ねるというアクションがある。



CPにおけるテレクリックと、眼球を用いたテレクリックの他に、普通の指差しと、レーザーポインタによる指差しを8人の被験者に行わせ、ポインティング時間を計測した。

結果としては、最も早いのがレーザーポインティングであり、やや遅れて指差しと眼球におけるテレクリックが入り、最後にCPにおけるテレクリックが入った。

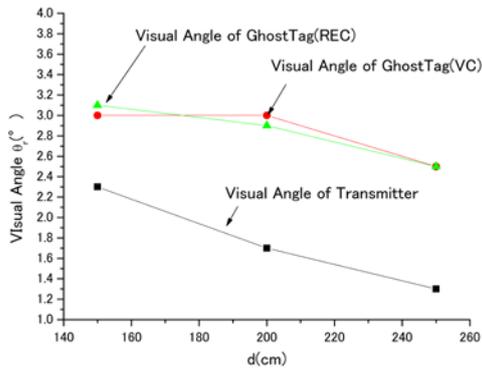
CPにおけるテレクリックは自らの視野を使用しないため、ユーザビリティが落ち、ポインティング時間が長くなると考えられる。また、テレクリックに要する時間は自然なポインティングの約2倍であることが示された。



ポインティングの精度

ポインティングの精度は、ユーザから見てどのくらいの大きさのタグをポイントし、情報を読み出せるかを測定する。これは、どの程度の視角内に音声情報を添付できるかを計測することで測定することが出来る。ユーザがオブジェクトに対して、接触ではなくポイントで選択を始めようとする距離は、約125cmからであると言われている(論文より)。このことから、150cm、200cm、250cmの距離において、どの程度の視角内に情報が添付されているかを実験的に計測した。この結果、視角にして約2.5°-3.0°の間に信号の検出域があることが分かった。このとき、送信器そのものは1.4°-2.3°の視野角で見えており、光信号の検出域は、この視野角よりもやや大きい事がわかる。こ

の現象は理論的にも確かめられており、ほぼ理論値の通りの視角分だけ大きくなっている。ポイント時に要する視角は、ポイント時の人差し指の視角が約 $1^\circ \sim 1.5^\circ$ であることから、ポイントの幅とほぼ同じ大きさの幅であることが言える。ポイントの幅よりも小さいものをポイントすることは考えづらいことから、本システムは、実用上ポイントとして使用するのに十分な空間分解能を達成することが出来たと評価できる。



- (5) $\delta \Sigma$ 変調を可能とするために、まず 15MHz 以上の通信を可能とするための機材の開発を行った。

信号が 10MHz を超えると同期反転信号の対称性が崩れるため、選択されていない信号のキャンセルがうまくゆかない現象が発生した。

本来、ポイントされていない状態では、同期反転信号が相殺され、受信器の位置で信号がフラットになるべきである。この特性は、光信号が正確に矩形をしていることが条件である。ところが、変調が高速になるにつれて光信号の矩形が崩れ始め、台形に近い形になる。すると、2つの同期反転信号が足しあわされた時に変調周波数よりも高周波のパルス成分が生じる。結果として、非選択時の受信信号がフラットで無くなる。本研究では、非選択状態の光信号は周波数成分を持たないことが条件であるので、このパルス成分はノイズ成分となる。

この矩形のゆがみがなぜ発生するかを調査してゆくと、LED の立ち上がり速度と立下り速度の非対称性が問題であることが判明した。

一般に LED は、消灯から点灯にいたるまでの時間と、点灯から消灯に至るまでに一定の時間が必要である。また、両者に掛かる時間は非対称であり、後者の方が長い時間を要する。この時間は、LED の半導体に電子が充填されるのに要する時間（点灯時）と、吸引して電子を「引

き抜く」のに要する時間（消灯時）によって決定される。

本研究では、LED の信号光量を大きくするために、大電流を送りこんでいる。このため充填・吸引に時間がかかり、矩形波の立ち上がり、立下りの部分が垂直に近い角度にならず、なだらかな傾きをもつ。本システムでは、次第に立ち上がり側がきつい傾きをもつ、鋸波のような形状になることが分かった。この形状の同期反転信号は互いに反転した形状になっていないので、足し合わせても信号成分はフラットにならない。

筆者が使用した LED では、約 6MHz 超からこの傾向が表れ、15MHz 近辺では、非選択時にも大振幅のノイズが観察された。

筆者は当初、この現象を LED 駆動回路の高速動作性能によるものと考え、駆動回路の高速・大容量化によって解決することを目指して試行錯誤したがあまり効果がなく、最終的には回路の駆動能力ではなく、LED の立ち上がり・立下り速度の限界が原因であったことが判明した。

これはハードウェア上の物理的な限界であるので、回避するためには他の方法を試みる必要がある。

以上の通り、現在実装したハードウェアを利用して直接 $\delta \Sigma$ 変調を行うためには、まだ工夫が必要であった。

現在試行している解決方法は、1. 小振幅高速動作を行う、2. 立ち上がり・立下り時間の高速な LED を採用する、3. 台形波であっても動作可能なような、工夫された形式の同期反転信号符号化方式を開発する、の 3 つである。

1. の方法は、信号振幅を小さくすることにより立ち上がり・立下り時間を小さくしようと試みる方法である。受信側の変調成分の振幅（受信電力）が低下するため、増幅機能や検波機能を向上させる工夫を求められる。このため、搬送波を単一の周波数に限るような方式が必要であり、この周波数を用いて PWM や $\delta \Sigma$ といった変調方式を用いるので、変復調に複雑な手続きが必要になる。

2. は LED そのものを開発する必要がある。LED の高速点滅性能の追及は、需要を満たすものであるが、本研究の扱う範囲を超えている。簡易的には青色ダイオード等、短い波長の LED を使用することで、立ち上がり、立下り時間の短縮化を図ることが出来ることが指摘されている（LED メーカーより指摘）。但し、青色ダイオードは認知的な負荷が高いという問題点がある点と、通信用のダイオードが市販されていないという問題もある。

3. は、台形波を利用した際のノイズの

周波数帯域が、目標とする周波数帯域よりも高い部分に生じることから、ローパスフィルタ等を用いることである程度ノイズの影響を回避することが可能であると考えられる。

この知見から考えると、情報伝送に用いる周波数帯域は狭い方が効果的であり、PWM 変調や $\delta\Sigma$ 変調のような広い周波数帯域を利用する変調方式を用いることは不利である。つまり、アナログ信号をパルスの形状で表現するパルス変調方式は、音声程度の周波数帯域であれば実用することは可能であるが、それよりも高い周波数を用いた変調には向かない。この場合、音声を量子化し、デジタル信号でデータとして送信する方が有利であると考えられる。

単一の周波数帯域を利用する場合、同一の S/N 比に対してより BER の高い変調方式を用いる必要があるが、理論的には良好な BER を期待できるのが、PSK 変調→FSK 変調である（現代の通信回線理論/森北出版株式会社）。現在使用している ASK 変調方式は最も条件の悪い方式である。このとき、周波数帯域を区切るという知見から考えれば、複数の周波数帯域を用いて情報を表現する FSK 変調方式は不利であるので、PSK 変調を用いて変調を行う事がデジタル通信化には最も有利であると考えられる。

本研究では、光空間信号を用いた音声支援システムについて実装を行い、音声信号の送信に成功した。また、当初提案した通り、十分な選択精度と情報通信速度を両立させることに成功し、従来システムでは実現が困難な機能をユーザに提供することが可能なことを実証した。

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）

①Yuichi Mitsudo, A Real World Pointing Device Based on Optical Communication System, Virtual and Mixed Reality, LNCS, 査読有, vol.5622, pp70-79,2009.

〔学会発表〕（計 1 件）

①Yuichi Mitsudo, A Real World Pointing Device Based on Optical Communication System, 13th International Conference on Human-Computer Interaction2009, 2009, San Diego, USA.

〔その他〕

ホームページ等

①イノベーションジャパン 2008

（2008, 9. 16→18, 国際フォーラム, 東京）

②IPAX2009 出展

（2009, 5. 26→27, 東京ドームシティ, 東京）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

光藤 雄一 (MITSUDO YUICHI)

公立ほこだて未来大学・

システム情報科学部・助教

研究者番号：70404803

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし