

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：87103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700125

研究課題名(和文) 中空にタグを生成する技術の開発

研究課題名(英文) A Research for In-Space Tag System for Real World Computing

研究代表者

光藤 雄一 (MITSUDO, Yuichi)

公益財団法人九州先端科学技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：70404803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では隣接した複数の光送信器のうちのひとつから、混信の影響を避け所望した信号を選択する手法を提案し、数値シミュレーションによって評価した。送信手法は光学的なパート、信号処理、符号復号化のパートから成る。光学的なパートによって、非所望信号の実効的な電力を実用的な環境で60%以上低減させ、符号復号化のパートによって、所望信号の100%程度の電力の非所望信号が混入した場合でも 2×10^{-4} 乗以下のビット誤り率(BER)で復号できることが確認された(符号化率50%時)。この結果から、信号の受信範囲を例えばタイル状に敷き詰め、ポイントによって受信する信号を選択するような環境を構築できることが示された。

研究成果の概要(英文)：In this research, I present a modulation and de-modulation method, which generates rectangular reading-out area. This research consists of two parts: optical system and modulation system. In the first part, I present a structure, which enables the receiver to detect the desired signal, only when receiver points this rectangular area, partitioned by desired transmitters. In the next part, I present a modulation method, which avoids the influence of undesired signals, which survive the undesired signal reduction of the optical systems. To terminate the influence of undesired signals, I focused a cross-correlation of desired signals and undesired signal. A random phase shift modulation is used to lower the cross-correlation of the desired and undesired signals. It is shown that the combination of optical system and the random phase shift gives a BER improvement. The accuracy of the proposed method is investigated experimentally through computer simulations.

研究分野：ユーザインターフェース

キーワード：光空間通信 実世界環境 変調方法

1. 研究開始当初の背景

実世界における小型情報機器の運用において、実世界に情報を貼付するにあたり、光空間通信の手法を用いて情報読み出しの速度の高速化を図ることを目的とした。

情報貼付のための手段として、従来の可視光近辺の波長の光を用いた光空間通信をそのまま適用すると、複数の送信器(タグ)を隣接して設置し、送受信器間の距離が長い場合、送信器からの信号が混信して受信器に届いてしまい、所望のタグからの信号のみを読み出すことが困難である問題があった。

これは受信器内の受光器が空間分解能を備えていないことからくる問題である。受信器として撮像装置などを用いる方法も提案されているが、この場合の通信速度は撮像装置のリフレッシュレートに拘束されるが、撮像に要求されるリフレッシュレートは通信よりもはるかに低いため、情報の読み出し速度が著しく落ちる問題がある。

逆に撮像装置のリフレッシュレートを通信装置並みに高くすると、画像処理に莫大な計算機資源を要するようになり、通信器として構成することは困難になる。

このように、本研究で狙うような用途に絞って考えると、技術上、空間分解能と時間分解能がトレードオフの関係を成してしまう問題があった。

しかしこの問題は、可視光の性質に起因した本質的な拘束条件というわけではなく、もともと別の用途に用いる機材を流用して通信システムを構成しようとしたことから発生している問題であって、解決に原理的な困難さが伴うとは考えられない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、送受光の手法から見直し、空間的分解能(空間精度)と時間的分解能(通信速度)を両立できるような無線情報伝達の手法を提示し、その有用性を示すことを目標とする。

3. 研究の方法

本研究は、光空間通信を行うにあたり、空間分解能と時間分解能を両立させ、例えば複数の送信器を隣接して設置した状況で、ある程度長い距離から、受信器がそのうちの一つの送信器を、信号に関する事前の知識なしで選択することができる通信システムを構築することを目標とする。

本研究では、送受光器の光学的構造と、信号の変復調、符号復号化手法を組み合わせることで所望の機能を達成することを提案する。

したがって、提案する手法に基づいて適切に設計された撮像系(光学系)や、変復調・符号復号化回路を用いて試験システムを構成し、このシステムで、目標が達成されるかどうかを評価することが、この研究の方法となる。

提案書提出時の目標では試験システムの実装を目指していたが、2011年度(採択初年度)に東北大震災が発生し、当該年度予算の3割を削減される可能性を通達された。初年度に採択予算の大部分が集中していたため、中途半端に実装した段階で予算が途切れ何の研究成果も出せなくなる事態が懸念されたため、急遽研究方法を切り替えて主に数値シミュレーションを用い、光学設計や変復調手法の開発を行うことにした。(予算は最終的に10割支給された。)

(1) モンテカルロ光線追跡法を用いた光線追跡法による光学系の評価

本研究では、信号処理の一部を光学系が代行することによって計算機資源の消費を抑制し、高速通信を行うことを可能としている。このとき、光学系に入射した光信号の経路と、受光面への入射時の放射束の関係を調べる必要がある。特に本研究では、広角のレンズを使用する必要があるが、浅い角度で光学系に入射したり、あるいは視野角が広く多数のレンズを持つ光学系における光線の振る舞いは、数値的に求めることが一般的である。このため、本研究ではレンズ設計・評価用ソフトであるCODEVを使用し、モンテカルロ光線追跡法によって経路計算および入射放射束の計算を行った。

(2) MATLAB/Simulinkを用いた信号処理計算

本研究では、提案する手法によって変復調・符号復号化した光信号を用いて通信を行う。一般に二値化信号による通信の品質は、受信・復号後の信号(ビット列)が送信前の信号に比べてどの程度誤っているかを比率で示した、ビット誤り率(BER)で測られる。本研究では、提案する通信方式の評価のために様々な状況下でのBERの分布を調べ、通信方式の性能と特徴について評価を行う。

BERの分布は、計算機上に通信環境と通信装置を再現し、様々なパラメータを与えて数値シミュレーションを行うことで得る。

このための方法として、MATLAB/Simulinkを用いて数値シミュレーションを行う方法を採用する。

4. 研究成果

(1) 送受信器の構造の提案

時間分解能と空間分解能を両立した通信装置を構成するために、可視光近傍の波長の光を用いた通信システムをベースとし、このシステムが高い空間分解能を持つように構造を改変することにした。

受信システムそのものに高い空間分解能を備えさせるためには、多数の受光器を並べることになるが、これでは撮像装置そのものである。そこで本研究では、受光器の数を限

りなく小さくし、送信信号に工夫を加えることによって、

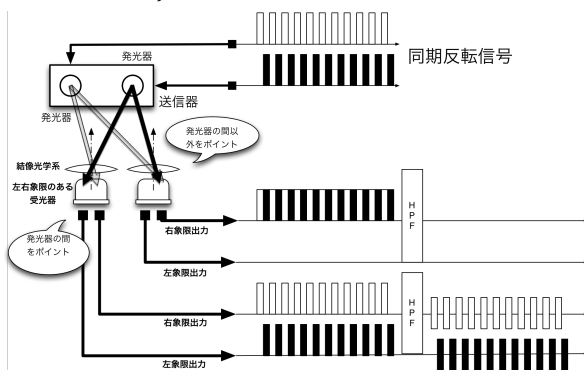
所望信号以外の信号が自動的に減衰するような仕組みを構築する。その構造は図のようなものである。

1. 送信器には、やや離れた位置に2つの発光器を備え、同期反転した二値化信号を送信する。

2. 受信器に象限を区切った受光面を持つ多象限フォトダイオードを使用し、ダイオード前面には、受光面に結像するような撮像用の光学系を配置する。

この構造により、1) 受信器が発光器の間を向いた場合には、発光器から発せられた2つの信号が別々の象限に入射し、2) 受信器が発光器の間を向いていない場合には一つの象限に入射する。

発光器から発せられる信号はそれぞれ反転した二値化信号であるので、2) の場合は連続した「1」信号となるので、受信器後段のHPFを通過することができず消失する。したがって、送信器が受信器の視野角内に複数存在していた場合であっても、この受信器が出力するのは、受信器の正面にある送信器（正確には、受信器が発光器の間を向いている送信器）からの信号だけである。



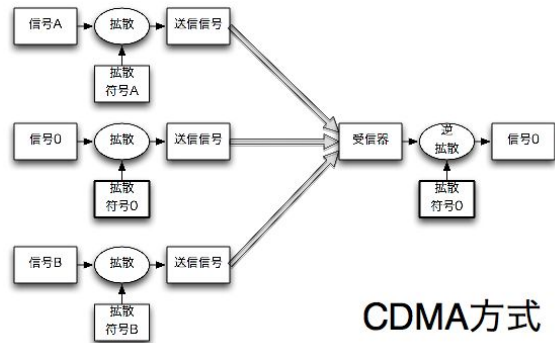
(2) 変復調方式の提案

この受信器は(1)のような構造なので、出力が2つあり、反転した信号が出力されるようになっている。

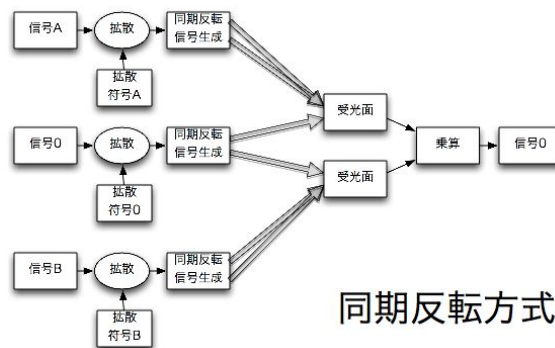
この反転した信号を一つにまとめて、復号することが、受信器以降の信号処理系の役割の一つである。

この2つの端子からは、1) 所望信号および2) 非所望信号 3) 環境ノイズ の和が出力される。信号処理系は2) 3) の影響を排除し、1) のみを復調しなければならない。ところで、2つの端子から出力される信号のうち、相関の高い信号は、所望信号のみである。したがって、2つの信号の出力を乗じた場合、所望信号の相関の絶対値が大きくなり、それ以外の信号の相関の平均は0に近づく。

この特性をさらに活かすために、送信信号に、送信器ごとに異なるランダム数列を乗じることにした。このようにすることで、送信器ごとの信号の相関が低くなり、より高い精度で所望信号のみを復調できるということが期待できる。送信器ごとのランダム数列を拡散符号と考え、本研究で提案した手法はCDMA方式と類似した信号処理の手順になる。ただしCDMAと異なり、送受信器が拡散符号を共有していなくても復号できるという特徴を持つ。



CDMA方式



同期反転方式

(3) 光学系の評価

本研究は、可視光に近い波長の光を用いた通信を行う。また、発光器を発してレンズに入射した光が受光面上に収束する（結像する）と考え、この収束点が複数ある象限の一つあるいは二つに存在することで、信号の現出あるいは相殺が決まるという特性を用いている。

通信の解析では、受信側が得る信号の電力（信号電力）を用いることが一般的である。光通信の場合は、送信器を発して受信器に入射する光の放射束がこの信号電力に相当する。

また、収束点の観察では、どのくらいの放射束がどの象限に入射したかを知る必要がある。収束が一点に定まらず、ある程度の範囲を持つとき、場合によっては2つの象限に入射する可能性がある。

研究の初期の段階において、実世界上のある1点から発せられてレンズに入射した放射束は、受光面上のある1点に収束する、という機能をもつ単レンズを想定して光学系の動作を表現していた。この場合、レンズの送信器（発光器）に対する立体角の計算が容易に行えるので、最終的に受光面に入射する

放射束を容易に算出できる。

また、この仮定通りだとすると、受光面上の光線の収束範囲が無限に小さいのだから、発光器の間隔が無限に小さくても対応することができることになる。

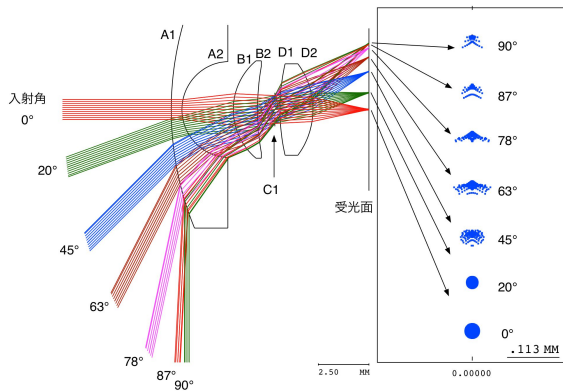
しかし、実際の光学系ではこのような条件を満たすレンズを考えることは難しく、特に光線が収束する範囲が無限に小さい円になることはない(無限に小さい送信器は検出できない)。それに加え、本研究では比較的広い視野角をもつ光学系であることが求められるので、光学系には複数のレンズが必要になる。

レンズが複数の場合、入射光線の立体角を簡単には算出できないので、光線追跡によって収束パターンや入射放射束を算出し、

1) 信号電力が入射角に対してどのように変化するか

2) 検出可能な送信器の大きさの最小値はどのくらいか

などを数値的に求める必要がある。



(4) 変復調、符号復号化方式によるビット誤り率の分布の調査

(1) で述べた、同期反転信号による信号の相殺と、(2) で述べた変復調機構を計算機上で再現し、実際の使用環境を模したパラメータ(環境ノイズおよび、非所望信号によるノイズ)を与え、十分な品質で通信を行えるかどうかを数値シミュレーションによって確かめた。

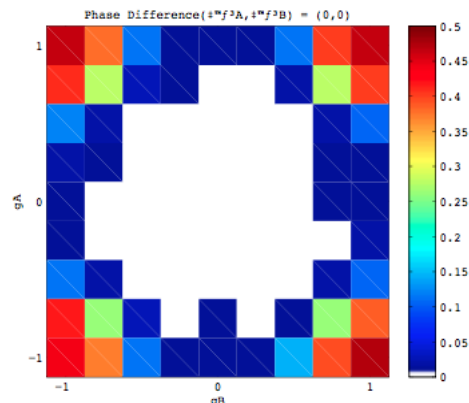
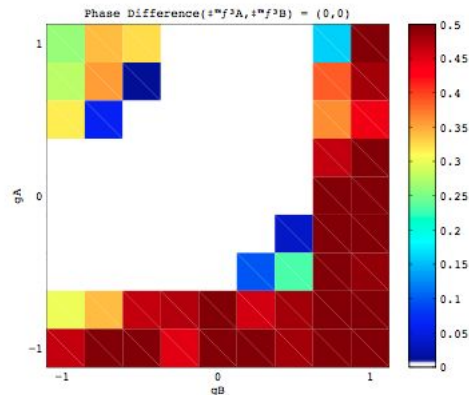
この調査では、所望信号を發する目標送信器の周囲に、所望信号と同じ変調方式の非所望信号を發する非目標送信器を2つ設置し、この非所望信号の A) 信号振幅 B) 搬送波の位相 によって、所望信号の復号にどのように影響するかを調査した。

なお各送受信器には、畳み込み符号による符号化とビタビ復号を行う機構を組み込み、誤り訂正機構とした。

本研究では(2)における拡散符号の乗算を再現するために、搬送波の位相をランダムなタイミングで 180° シフトさせるランダム位相シフトを使用することにした。この位相シフトの効果を見るために、非所望信号が所望信号に対して様々な振幅・位相をとる時に、どの程度のビット誤り率で通信が行えるか

を、各々のパラメータを設定した通信環境で一定数のビットを送信し、受信・復調・復号化した受信ビットと送信ビットを比較し、誤りビットをカウントすることで確かめた。

次に示す2つの図は、所望信号の受信振幅を1としたとき、両側にある非所望信号源からの信号の受信振幅を縦軸および横軸の-1から1にとった場合のBERの分布図である。1枚目の分布図はランダム位相シフトを実施しない場合、2枚目の分布図はランダム位相シフトを実行した場合の結果である。この分布図から、ランダム位相シフトを含んだ復調方式を実施することで、全体的にBERが改善されることと、また左右両側の非所望信号源による信号の悪化の仕方が、混入する信号振幅に比例したパターンに改善されていることがわかる(2枚目では、非所望信号の信号

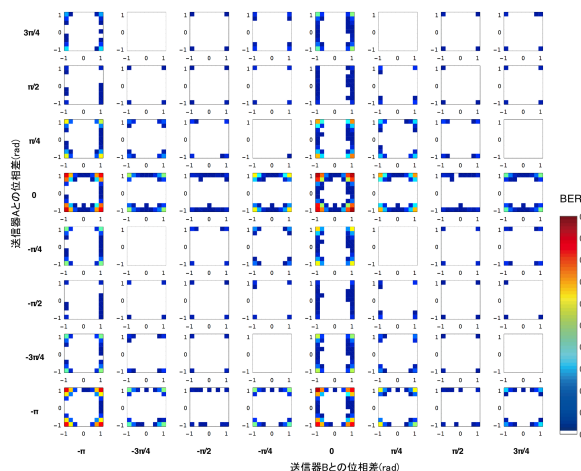
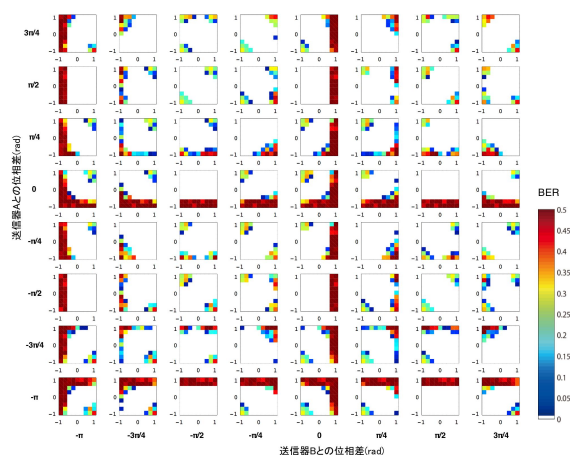


振幅の大きくなるグラフの軸付近で必ず BER が悪化しており、0軸を挟んで対象である。これに対して、1枚目では悪化している軸とそうでない軸があり、0軸を挟んで非対称の様相を呈している。

つぎに、非所望信号と所望信号の搬送波の位相を-180° から 180° までさまざまにずらして通信を行うことで、BER の分布がどのように変化するかを調べた。前にあげた2つの図は、所望信号と非所望信号の搬送波の位相差が0である場合のものである。この試行では、それぞれの非所望信号源について所望信号との位相差を-180° から 180° の間を8つに区切り調査した。その結果がつぎの2枚の図である。前の図がランダム位相シフトなし、

後の図がランダム位相シフトありの図である。

ランダム位相シフトの効果によって、全体的に BER が改善したことと、また、すべての位相差の場合において、BER が悪化する領域



が、グラフの片軸に集中していたものが両軸付近に集中するようになり、0軸に対して対象に分布するようになっていることがわかる。これはユーザビリティ上有用な特性である。

以上の結果から、提案した光空間通信システムでは、隣接して3つの送信器を設置し、3つの信号が受信器に入射している場合であっても、所望信号をある程度の誤り率以下で復号できることが示された。

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)

光藤雄一、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、情報処理学会論文誌、査読有、53(4)、2012、pp1425-1432

[学会発表](計 3 件)

光藤雄一、GhostBannar システムにおける光信号の変調方式の研究、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会研

究報告、2012、2012-UBI-33(24)、pp1-5

光藤雄一、タグシステムに用いる拡散符号を共有しない擬似 CDMA 通信の提案、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会研究報告、2012、2012-UBI-36(11)、pp1-4

光藤雄一、矩形の読み出し領域を生成する光空間信号の周波数拡散を応用した変調方式の提案、情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会研究報告、2015、2015-UBI45(54)、pp1-8

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

光藤雄一 (MITSUDO, Yuichi)

公益財団法人九州先端科学技術研究所

生活支援情報技術研究室・研究員

研究者番号：70404803

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし