

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月2日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760294

研究課題名（和文） 光軸ずれに強い並列光無線通信方式の評価とその実現

研究課題名（英文） Evaluation and Implementation of Parallel Optical Wireless Communication System for Shifting of Optical Axis

研究代表者

松元 隆博 (MATSUMOTO TAKAHIRO)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：10304495

研究成果の概要（和文）：本研究では、LED素子とアバランシェフォトダイオード（APD）素子、FPGA搭載ボードからなる光無線通信システムによる多重伝送実験によって、光ZCZ-CDMAシステムが他局からの干渉と光軸ずれによる干渉を抑圧できることを確かめた。伝送実験の結果、他局からの干渉は抑圧できるが、理論通り完全には除去することは出来ないことがわかった。また、光軸ずれによる干渉は約±30度の範囲でその干渉を抑圧できることが明らかになった。なお、この30度は使用したLEDの指向角半値幅であった。

研究成果の概要（英文）：In this research, I verified that this system can suppress co-channel interference and interference by shifting of optical axis by data multiplex transmission experiment of optical code division multiple access (OCDMA) system using optical zero-correlation zone (ZCZ) codes which is called optical ZCZ-CDMA system, consisting of an infrared light emitting diode (LED), an avalanche photo diode (APD) module and field programmable gate array (FPGA) boards corresponding to 400,000 logic gates. As a result of data transmission experiment, optical ZCZ-CDMA system can suppress co-channel interference, but can't remove completely co-channel interference, and interference by shifting of optical axis is suppressed from about -30 to 30 degrees.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：光無線通信，光軸ずれ，スペクトル拡散，光ZCZ符号，ZCZ-CDMA方式，マッチドフィルタ，FPGA，LED

1. 研究開始当初の背景

近年、電波法の規制を受けず、電波に比べて広い帯域を利用できるため高速伝送が期

待でき、また隣室へ光が通過しないため耐盗聴性に優れている光無線通信が注目を集めている。特に、次世代の照明用光源として期

待されている白色 LED を照明として利用しつつ、同時に通信を行なう研究等、発光素子として LED を用いた光無線通信の研究が活発に行なわれている。LED はレーザダイオードに比べ、安価で長寿命である反面、応答速度が遅いため高速伝送が困難である。それを解決する手段として、LED を 2 次元的に並列に並べ、それぞれ別々のデータを送信することで高速伝送する方式が提案されている。この方式では、LED の指向性の問題で、希望する LED からの光以外に、近傍の LED からの光も受信素子に入力され、それが干渉となり通信速度の劣化に繋がる。この近傍からの干渉を抑圧する方法として、光符号分割多重(光 CDMA)方式が考えられる。この方式は、拡散符号によって各信号を識別する方式で、光波長分割多重方式に比べ、光の波長を変えることなく実現できるため、システムを簡単かつ安価に実現できる。光符号分割多重方式では、各符号間の相互相関特性によって上記干渉(以後、符号間干渉)を受ける。これまで、光通信用の符号として 1 と 0 の要素からなる光直交符号や拡張プライム符号が提案されているが、系列要素の制限から相互相関関数を 0 にすることが出来ず、符号間干渉を無くすることが出来なかった。

それに対して、研究代表者らは復調点の前後のある範囲で相互相関関数が完全に 0 となる光 ZCZ (Zero Correlation Zone) 符号を提案している。これは符号数が数学的上界を満たすため、並列数を増加でき、また光軸ずれがある場合でも近傍からの干渉を抑圧できるため、更なる通信速度の高速化、システムの小規模化が期待できる。また、この通信方式の実現を目指し、この符号に対するマッチトフィルタの小規模な構成法と符号発生器の小規模な構成法をそれぞれ提案し、FPGA (Field Programmable Gate Array)を用いて実装することで、従来の構成法に比べて小規模の回路規模で実現出来ることを明らかにしている。したがって、送受信機の小型化も期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、高速で、光軸ずれに強い並列光無線通信方式の実現を目指す。これは、我々が提案している光 ZCZ 符号を光符号分割多元接続 (CDMA) 方式に適用することで実現できる。この光 ZCZ 符号は復調点の前後のある範囲で、相互相関関数が完全に 0 になるため、光軸ずれがあり送受信間の到達時間がずれた場合においても、隣接する LED 間の干渉を抑圧できる。したがって、光軸合わせのためのハードウェアを簡素化でき、また高速伝送するための並列数を増やすことができ通信速度の高速化が期待できる。このときの並列数は符号の数を意味するが、光 ZCZ

符号は符号数が数学的上界を満たす理想的な符号であるため、並列数を理論的限界まで増やすことができる。従来、一般的に用いられている光直交符号や拡張プライム符号を用いた光 CDMA 方式では、符号間の干渉を完全に 0 にすることが出来ないため、高速伝送するための並列数に制限があった。また、根本的に符号の数が少ないため、並列数を増やすことができなかった。

本研究では、提案する通信方式の性能を計算機シミュレーション、及び試作する送受信機による光空間伝送実験によって評価して、本方式の有効性を明らかにする。また、この通信方式の送受信機を小規模な回路で実現する構成法を検討する。我々は既に送信機で用いる符号発生器と受信機で用いるマッチトフィルタを小規模な回路で実現する構成法を提案しているため、送受信機の小型化も期待できる。

3. 研究の方法

平成 21 年度は、研究の準備として、まず光伝送方式の仕様の検討とその送受信機の試作を行った。具体的には ZCZ 符号をデジタル値で発生させる符号発生器とその符号をアナログ信号に変換させる DA 変換器、その信号を光信号に変換させる LED、空間上に伝送された光信号を受信するための APD 素子、そのアナログ出力信号をデジタル値に変換する AD 変換器、そのデジタル値を復調するためのマッチトフィルタなどによる送受信機の構成を検討した。ここでは比較的部品を調達しやすい波長 850nm の近赤外線の光を用いた送受信機を設計した。つぎに、それらの機器を組み合わせて、実際に送受信機の設計とその試作を行った。また、動作試験により、SN 比が高い状況で送受信が正確に行えることを確認した。

平成 22 年度は、提案方式の性能評価を行うため、まず光伝送方式を適用した送受信機のベースバンド処理部の設計とその FPGA 上への試作を行った。具体的には送信で用いる ZCZ 符号をデジタル値で発生させる符号発生器と、受信した信号と ZCZ 符号との相関処理を行うマッチトフィルタ等で構成される、送信、受信を行うデジタル回路を、回路規模を考慮して演算語長を決定し、また小規模な回路構成を検討した上で、FPGA 上に試作した。つぎに、平成 21 年度に試作した送受信機のアナログ部と接続して、動作試験を行った。多重実験を行った結果、他局からの干渉を抑圧できることが確認できた。

平成 23 年度は、前年度までに試作を行った送受信機を用いた並列光空間伝送実験と、計算機シミュレーションによって、提案する光 ZCZ 符号を用いた CDMA 方式の性能評価を行った。

4. 研究成果

試作した送受信機を用いた並列光空間伝送実験では、送信機を4台用いて、4チャンネル多重の多重伝送実験を行い、ビット誤り率特性を計測した。その結果、理論通り他局の干渉を完全に抑圧することはできなかったが、干渉は比較的強く抑えられることが確認できた。また光軸ずれによる影響を求める実験では、並列に送信機3台を並べて並列伝送し、受信機に対して光軸を-70度から70度まで回転させたときのビット誤り率特性を計測した。その結果、-30度から30度まではビット誤り率特性の劣化が起こらず、光軸ずれの影響を抑圧できることがわかった。これはLEDの指向性によるもので、この30度は光のパワーがちょうど半分になる角度であった。

また、光直交符号を用いたCDMA方式と提案する光ZCZ符号を用いたCDMA方式との性能比較を計算機シミュレーションによって行った。性能比較では、シンチレーションと背景光、APD雑音、熱雑音による干渉と多元接続による他信号による干渉によるビット誤り率特性への影響をそれぞれ明らかにした。その結果、光直交符号を用いた方式に比べて、光ZCZ符号を用いた方式の方がビット誤り率特性を向上できることがわかった。

以上の結果より、提案する光ZCZ符号を用いた光CDMA方式は完全に他局の干渉を抑圧することは出来ないが他の方式より影響を抑えることができ、光軸ずれの影響もLEDの指向性が広ければ、その影響を無視出来ることがわかった。

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30件)

① T. Matsumoto, M. Inoue, H. Torii, S. Matsufuji, "Study on BER Performance of Atmospheric Optical CDMA System Using Optical ZCZ Code," Proc. of the 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'12), pp. 210-213, March 2012 (査読有).

② T. Matsumoto, S. Matsufuji, "Compact Matched Filter Banks of Optical ZCZ Codes Using Fast Algorithm for M-sequence Type Hadamard Matrix," Journal of Signal Processing, Vol. 14, No. 6, pp. 427-432, Nov. 2010 (査読有).

③ T. Matsumoto, S. Matsufuji, "Optical ZCZ Code Generators Using Sylvester-type Hadamard Matrix," International Journal of Communications, Issue 1, Vol. 4, pp. 22-29, Sept. 2010 (査読有).

④ T. Matsumoto, Y. Suwaki, S. Matsufuji, "Indoor Experiment of BER Performance of Optical CDMA System Using Optical ZCZ Code," Proc. of the 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT2010), pp. 890-893, Feb. 2010 (査読有).

⑤ T. Matsumoto, Y. Suwaki, S. Matsufuji, "Experimental Evaluation of Parallel Transmission Using Optical ZCZ-CDMA System," Proc. of the Fourth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications (IWSDA09), pp. 118-121, Oct. 2009 (査読有).

[学会発表] (計27件)

① 井上, 松元, 松藤, "光ZCZ-CDMA方式とOOC-CDMA方式の性能比較," 第13回IEEE広島支部学生シンポジウム予稿集, (c)通信, B-23, pp. 271-272, Nov. 12-13, 2011 (東広島市, 広島大学).

② 貞末, 松元, 松藤, "同期信号に使用できる光ZCZ符号の符号発生器の小規模構成法," 第13回IEEE広島支部学生シンポジウム予稿集, (c)通信, A-25, pp. 67-68, Nov. 12-13, 2011 (東広島市, 広島大学).

③ 貞末, 松元, 松藤, "鋭い非周期自己相関特性を持つ光ZCZ符号の発生器の試作," 第12回IEEE広島支部学生シンポジウム予稿集, (c)通信, C-23, Nov. 6-7, 2010 (松江市, 島根大学).

④ 井上, 松元, 松藤, "光ZCZ-CDMA方式の誤り率特性に関する一検討," 第12回IEEE広島支部学生シンポジウム予稿集, (c)通信, C-21, Nov. 6-7, 2010 (松江市, 島根大学).

⑤ 洲脇, 松元, 松藤, "光ZCZ-CDMA方式の並列伝送実験," 第11回IEEE広島支部学生シンポジウム予稿集, (c)通信, C-06, pp. 190-191, Nov. 21-22, 2009 (宇部市, 山口大学).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松元 隆博 (MATSUMOTO TAKAHIRO)
山口大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：10304495