

MIMOによる光空間多重通信のマルチユーザー化

1200139 榎村 準一 (光制御・ネットワーク研究室)

(指導教員 岩下 克 教授)

1. 研究背景・目的

情報化社会の進展により大容量無線通信への需要が高まっている。しかし現在使用されている電波は有限であり、更なる高速化・大容量には課題がある。

そこで電波法で規制されていない可視光や赤外線を使用する光空間通信が研究されている[1]。

大容量光通信を行う方法として、MIMO(multiple-input and multiple-output)技術がある。MIMOは複数の送信器と受信器を用いて、通信容量を拡大する手法である。しかしこの手法では送信中は受信器1台が送信器を占有してしまい、他の受信機に待ち時間が発生してしまう。そこで本研究では、あらかじめ送信器でMIMO処理を行うプリコーディングを行い、それぞれの受信器に向けて光を届ける事で複数の受信器に同時に信号を送ることができるMU-MIMO(Multi User MIMO)について実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 光空間多重通信の原理

複数の送信LEDを用いて光空間多重通信を行い、所望の場所に所望の信号を送信し、大容量化を図ることを目的とした。MU-MIMO技術を用いる無線通信では電波の位相を制御して電波の放射方向を制御するが、光空間通信では光電界の位相を制御するのは極めて困難のため、光強度を制御する。図1にその原理を示す。送信信号 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ は重み行列 W_{mn} を通じて多重され、LEDから送信する。送信された光は空間を通過してPDに照射される。それぞれのLEDから照射された光電力はチャンネル行列 H_{mn} の減衰をうけ、PDで電気信号に変換され、 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$ として受信される。このとき $Y = HWX$ 関係が成り立ち、 $W = H^{-1}$ とすることで受信信号を送信信号と同じにすることができる。PDでは各受信器からのチャンネル行列の要素を集め、逆行列を計算し、重み行列を制御することで光空間多重通信が可能になる。ここで通常逆行列ではチャンネル行列は正方行列である必要があるが、受信ダイバーシティのために受信信号のチャンネル数が送信信号より少なく、正方行列でない場合がある。このため擬似逆行列を導入し、値を求める。

3. 実験構成

上記の原理を確認するため、図1の実験系を構成した。4つの赤外線LEDで構成された送信器と2台の4つのPIN-PDで構成された受信器で通信を行った。送信信号はNucleoで4ch分のM系列信号を512bit分作成し、D/Aコンバータ(DAC)でLEDから送信した。フォトダイオード(PD)で受信した信号はオシロスコープで確認するほか、BER(Bit Error Rate)を測定した。

(1)MIMOによる受信ダイバーシティ

受信器を1台使用して、送信信号を4chから減らし送信器のLEDの数を4未満に変更した状態で4つのPDで受信した際のMIMOによる受信ダイバーシティ効果を確認する。

(2)MU-MIMOによる送信

受信器を2台使用して、マルチユーザーとしてMU-MIMOによる通信を行った。4つあるLEDのうち、2つを1つの受信器に向けて送信するものとする。受信器にある4つのPDのうちチャンネル行列の結果をもとにPDが搭載されている受信器に向けられたLEDが点灯した際に感度が良いPDを2つ取り出し、1台の送信器と2台の受信器でプリコーディングによる4x4MU-MIMOを構成した。なお選択しなかったPDの出力を選択したPDの結果に足し合わせることで合成による受信ダイバーシティを構成した。

4. 実験結果

(1) MIMOによる受信ダイバーシティ

図3に送信に使用したLED数によるBER(Bit Error Rate)の変化を示す。LEDを減らすことでBERが向上することが分かる。

(2) MU-MIMOによる送信

プリコーディングを用いたMU-MIMOによる重み制御の結果を図3に示す。横軸はMIMOを用いて重み制御を行った際のBER、縦軸は重み制御を行わなかった結果のBERである。MIMO処理した結果ではBERが向上した。

5. まとめ

プリコーディングを使用したMU-MIMOによるマルチユーザー化を行った。今後は光空間多重通信の容量の拡大に向けて伝送速度の向上をさせる研究を進めていく予定である。

参考文献

[1] K.Kobayashi et al. "Multi-User MIMO in Visible Light Communications by Superposed Intensity Modulated Signals" WP4-A4, OECC/PSC, 2019.

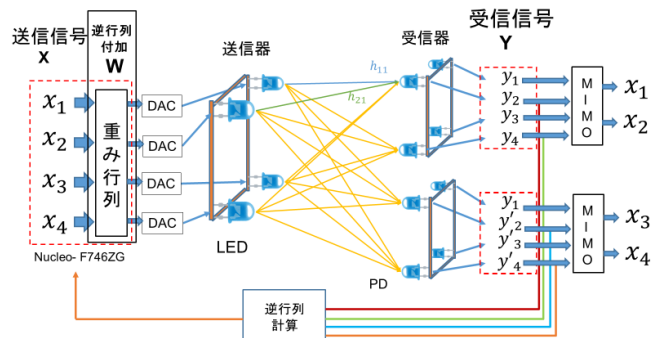


図1 実験構成

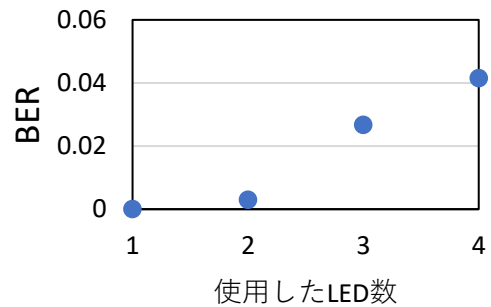


図2 送信器数によるBERの変化

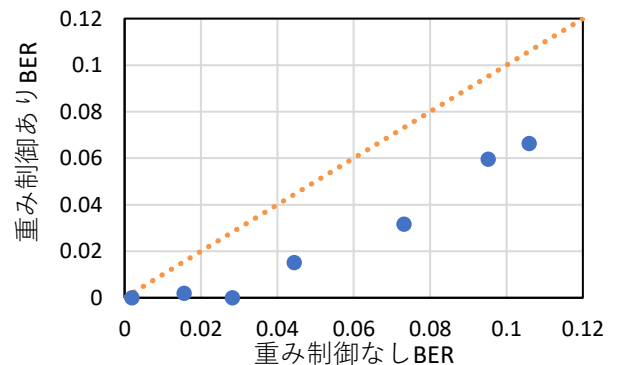


図3 重み制御によるBER変化