

適応変調によるマルチユーザーMIMO 光空間多重システムの大容量化

High Capacity Multi-User MIMO Optical Spatial Multiplexing System

Using Adaptive Modulation Schemes

1245061 榎村 隼一 (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無線通信への需要が高まっている。しかし電波は有限であり、更なる高速化・大容量には課題がある。そこで我々の研究では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について研究を行った [1]。しかし、光空間通信の容量の拡大には LED (Light Emitting Diode)や PD (Photo Diode)に十分な帯域がなく高速に通信ができない。このため、変調速度を抑えたまま大容量光通信を行う方法として、以前の光空間通信での MU-MIMO で使用されていた ZF (Zero Forcing)法に代わり、高い S/N (Signal Noise Rate)が期待できる BD (Block Diagonalization) 法や、1シンボルで表すデータ量を増やす多値化、キャリア周波数に信号を乗せる事で高い S/N が期待できるサブキャリア変調などを使用し、それらを可変的に使用する適応変調について検討を行ったのでその結果を報告する。

2. 原理確認

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。図 1 にその原理を示す。ユーザーが複数の PD を持っており、チャンネル行列もユーザー毎に考える。チャンネル行列を特異値分解し、ユーザー毎のチャンネル行列 $H^{(1)}, H^{(2)}$ を作製する。このチャンネル行列を元に送信側で送りたいユーザー用の信号を送り異なるユーザーの信号は 0 になるようにする。そして受信後にユーザーが持っている PD 間の信号をチャンネル行列をかけることにより分離する。

$$HW = \begin{bmatrix} H^{(1)}W_{BD}^{(1)} & H^{(1)}W_{BD}^{(2)} \\ H^{(2)}W_{BD}^{(1)} & H^{(2)}W_{BD}^{(2)} \end{bmatrix} \rightarrow 0 \quad (1)$$

$$H_0^{(i)} \tilde{v}_n^{(i)} = U_i \begin{pmatrix} S_i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_s^{(i)} \\ v_n^{(i)} \end{pmatrix}^H \quad (2)$$

$$\tilde{S}_i = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_i \end{pmatrix} \quad (3)$$

ユーザー k に対する受信信号 $y^{(k)}(t)$ は $y^{(k)}(t) = b(\lambda^{(k)})x^{(k)} + N$ となり、受信振幅は特異値 $\lambda^{(k)}$ に依存する。

3. 実験構成

トレーニングパターンでチャンネル行列を測定し、特異値分解により、期待できる S/N を予測する。その予測値を元に伝送可能な最大の変調方式を決定する。実験は 1 チャンネル当り 50Mbps の信号を MU-MIMO 処理を施し、BD 法による処理とサブキャリア変調を用いて行った。図 2 に実験構成を示す。データ送信前に送信器と受信器間の伝搬特性を測定するチャンネル行列を推定、送信データに BD 法の MU-MIMO 処理を施した信号を作成し、送受信を行った。送信信号の変調方式はユーザーが持つ PD 間の重みを表すチャンネル行列の特異値 λ_i を元に 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), BPSK (Binary PSK) を可変的使用した。受信後は信号を復調し、S/N を測定した。

4. 実験結果

図 3 に (a)BPSK, (b)QPSK, (c)16QAM 変調の復調結果とし

て、コンスタレーションを示す。

図 4 に適応変調を用いた BD 法によるサブキャリア変調を用いた MU-MIMO での λ_i の変化による S/N の変化を示す。 λ_i は LED と PD 間の距離を変更する事で変化させた。 λ_i が大きい値を下回ると変調方式を切り替わり、S/N を高い状態にすることができた。

5. まとめ

LED と PD を使用した MU-MIMO による通信を行った。BD 法とサブキャリア変調を用いた適応変調により S/N と通信容量の両立について確認した。

参考文献

[1] J.Makimura, R.Yamamoto, H.Kobayashi, K.Iwashita "Multi-User MIMO Visible Light Communication Using BD Schemes With Downlink Precoding," ACP, T4A.126, 2021

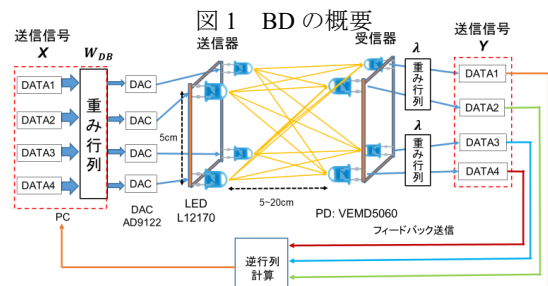
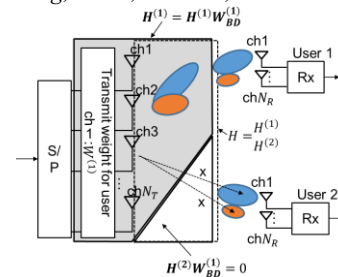


図 2 実験構成

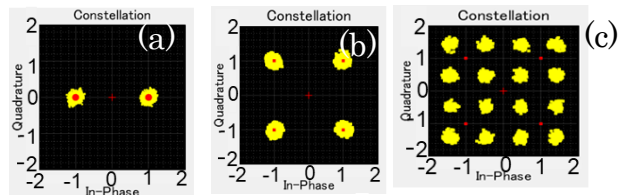


図 3 サブキャリア変調の復調結果

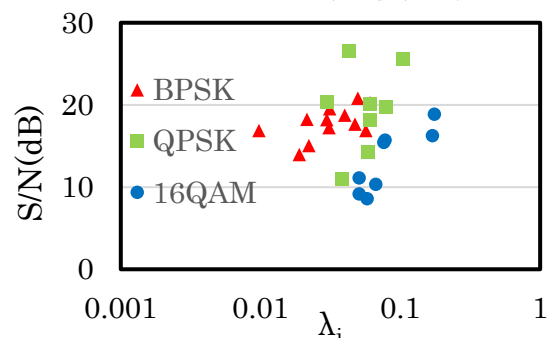


図 4 適応変調による S/N の変化