

マルチモード光ファイバを用いたモードフォーミングネットワーク におけるフィードバック制御

Feedback Control in Multi-Mode Fiber Mode-Forming Networks

1215041 大島 浄司 (岩下・小林研究室)

(指導教員 岩下 克 教授)

1. 研究背景・目的

近年、広く普及している光アクセスネットワークでは、通信事業者からの光信号は光スプリッタを介して全ユーザポートに送信されるため、第三者に信号を窃取・解読される恐れがある。そのため、信号が所望の受信ポートのみに送信されることが望まれる。

本研究では、通信事業者からの送信信号に制御を加えることで、信号を所望の受信ポートのみに安定的に送信させることを目的とした。制御は受信ポートの受信信号から無線通信で運用される MIMO (Multi Input Multi Output) 技術を光ファイバに应用することで算出し、送信信号への制御信号を得た後、フィードバック経路を通じて送信信号に加えた。尚、光ファイバに加わる外的要因等によって伝送路の状態が時々刻々と変わるため、その変化に対応する送信信号へのフィードバック制御を行い、信号が所望の受信ポートのみに安定的に送信され続けることを実験により確認した。

2. 原理

送信・受信が 2×2 伝送における信号制御の原理を図 1 に示す。このシステムは、送信信号 $X = [x_1, x_2]^T$ 、制御を加える重み行列 W 、マルチモード光ファイバ (MMF) と MMF 前後の 2 つのカップラ (CO) が持つ伝送路特性 H_{MMF} 、及び受信ポート $Y = [y_1, y_2]^T$ で構成されている。ここで、 Y は

$$Y = H_{MMF} \cdot W \cdot X \quad (1)$$

と線形的に表され、成分毎に書くと、

$$y_1 = (h_{11}w_{11} + h_{12}w_{21})x_1 + (h_{11}w_{12} + h_{12}w_{22})x_2 \quad (2)$$

$$y_2 = (h_{21}w_{11} + h_{22}w_{21})x_1 + (h_{21}w_{12} + h_{22}w_{22})x_2 \quad (3)$$

となる。式(1)の W に H_{MMF} の逆行列 H_{MMF}^{-1} を付与すれば、

$Y = X$ となり、 x_1 は y_1 のみに、 x_2 は y_2 のみに送信される。

尚、 $H_T = H_{MMF} \cdot W$ とし、 H_{MMF} は MIMO 処理によって X 及び Y から測定できる H_T と送信信号を制御する設定値より推定した W を用いて算出する。式(1)において、 H_T を単位行列とするため、 Y の (1,1) 成分第 2 項 (式(2)) を

$$h_{11}w_{12} + h_{12}w_{22} = 0 \quad (4)$$

$$w_{12}/w_{22} = -h_{12}/h_{11} \quad (5)$$

とし、 w_{12} には w_{22} に対して $-h_{12}/h_{11}$ となる制御値を付与する。同様に、 Y の (2,1) 成分第 1 項 (式(3)) を

$$h_{21}w_{11} + h_{22}w_{21} = 0 \quad (4)$$

$$w_{21}/w_{11} = -h_{21}/h_{22} \quad (5)$$

とし、 w_{21} には w_{11} に対して $-h_{21}/h_{22}$ となる制御値を加える。これによって、 W にフィードバック制御を行うこと

で信号が所望の受信ポートのみに送信される。

3. 実験結果

W に H_{MMF} の逆行列を約 0.6 秒おきに 60 秒間フィードバックし続けたときの H_T の各成分の振幅を図 2 に示す。図 2 の左図は MMF を揺らさなかった場合、右図は制御開始から 10 秒頃、及び 30 秒頃の時に MMF を揺らした場合である。また、MMF を揺らさなかった時の典型的な時刻における各受信信号のアイパターンを図 3 にそれぞれ示す。 $Y = H_T \cdot X$ において、 H_T が対角行列ならば、分離できている。図 2 から H_T の (1,2), (2,1) 成分が対角成分より 20dB 以上小さく、安定した連続フィードバック制御が実現された。MMF を揺らした場合、 H_T の変化速度がフィードバック制御より速いため、 H_T の大きな変化に対応できなかった。また、6 秒後、30 秒後、60 秒後のアイパターンから信号が分離されていることが分かる。

4. まとめ

送信信号にフィードバック制御をすることで、信号を所望のポートのみに安定的に送信され続けることが実現された。より安定的な制御を行うためには、より高速なフィードバック制御が求められる。

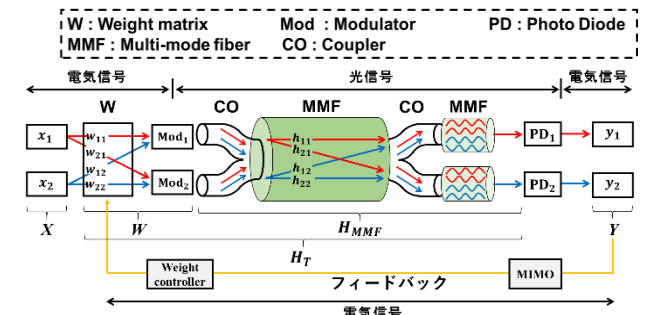


図 1. 送信信号のフィードバック制御原理

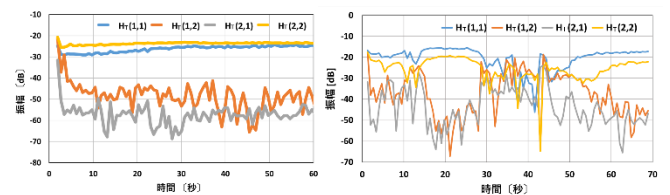


図 2. H_T の各成分の振幅

(左図: MMF を揺らさない場合 右図: MMF を揺らした場合)

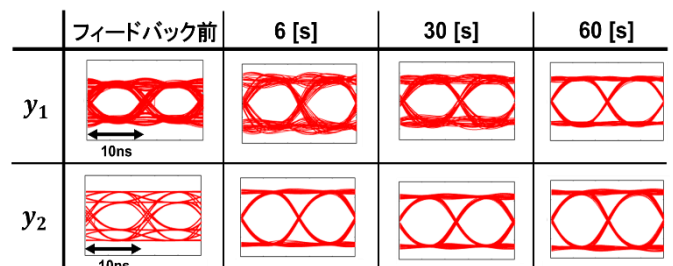


図 3. 典型的な時刻における受信信号の送信信号との相互相関