

多次元変調方式における光ファイバ波長分散のゆらぎ及び非線形効果による伝送特性

Transmission characteristics by fluctuation and nonlinear effect of optical fiber wavelength dispersion in multidimensional modulation scheme

高木 歩 那賀 明

Ayumu Takagi Akira NAKA

茨城大学大学院 理工学研究科 電気電子システム工学専攻

Major in Electrical Electronic Systems Engineering, Ibaraki University

1. 背景・目的

近年の長距離伝送の需要に伴い、光通信では波長分散と非線形効果による伝送特性劣化が大きな問題となっている。光増幅器の光出力パワーを増大させると信号対雑音比を大きくすることができる反面、光ファイバの非線形効果の影響が無視できないものとなる。

また、近年の研究報告の多くは、伝送用光ファイバの波長分散値が長手方向で変動していない理想的なものとして、実験やシミュレーションが行われている。しかし、実際には伝送用光ファイバの波長分散値は長手方向で、ばらついていると考えられる[1]。

本研究では、非線形効果を考慮した長距離光増幅中継系における1波およびWDM(8波)伝送での、4次元変調方式(4D-PS-QPSK)について波長分散ゆらぎに対する伝送特性を定量的に評価する。

2. 評価に用いた手法と構成

図1に示す信号生成と適応等化、BER(誤り率)判定には自作した解析プログラム、伝送(光増幅中継系)には市販伝送シミュレータをそれぞれ用いて数値解析を行う。本研究では、シンボルレート 32Gbaud の 4D-PS-QPSK 信号を生成する。得られたBERは、 Q^2 値に変換して特性を評価する。

光増幅中継系では、伝送損失0.2dB/kmの光ファイバ120km、光増幅器の中継数40台から構成される総伝送距離4800kmとする。表1に計算に用いた光ファイバの種類と特性を示す。光ファイバにはSMF(Single Mode Fiber)とDSF(Dispersion Shifted Fiber)を使用し、光増幅器の雑音指数4.5dBに設定する。受信器では、電気的に累積した光ファイバの分散補償を行ったあと、適応等化を行い、BERを評価する。

波長分散ゆらぎの条件として、図2に1つのファイバの波長分散の様子を示す。ファイバの相関長($L=20$)で、波長分散ゆらぎ($\sigma=0.1, 0.2, 0.5$)を組み込む。そのため、120kmのファイバを6区間に分ける。総伝送距離4800kmであるため、240個の区間に分けられる。実際の伝送路では平均波長分散値を0としたとき平均波長分散値を中心に正規分布に近い分散値のばらつきをするが、平均波長分散自体が変化し、分散補償が正確に適用出来なくなるため、今回のシミュレーションでは、一様に波長分散値をばらつかせる。これらの条件に非線形効果を組み込んで伝送シミュレーションを行う。

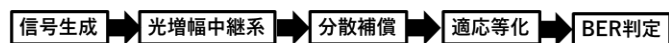


図1 評価構成

表1 光ファイバの種類と特性

名称	分散値D (ps/nm/km)		有効コア面積 A_{eff} (μm^2)
	平均値	標準偏差 σ	
SMF	16	0.1, 0.2, 0.5	80
DSF	+0.1, ±1, ±4		50

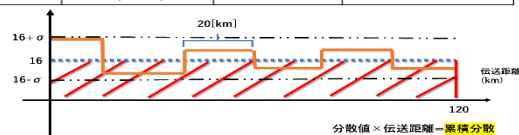


図2 1つのファイバの波長分散の様子(SMF:D=16)

3. 評価結果

図3、図4に非線形効果及び波長分散ゆらぎを考慮した1波およびWDM(8波)の光増幅器出力パワーに対する伝送特性を示す。図の実線は波長分散ゆらぎを適用していないものである。非線形効果については分散値の絶対値が大きく、 A_{eff} が大きいファイバほど Q^2 値の劣化が小さいことが分かる。1波と比較して、WDM(8波)の Q^2 値の最大値が劣化しているのは、相互位相変調と信号光間の四光波混合の影響を受けたためである。

波長分散ゆらぎを適用すると、ゆらぎなしの Q^2 値を中心に、上下に Q^2 値が分布することが分かる。条件として平均波長分散値が変わらないように設定しているにも関わらず、上下に結果が分布するのは、波長分散値がゆらぐことによって、それぞれ異なるチャージングがかかっているのが要因と推察される。

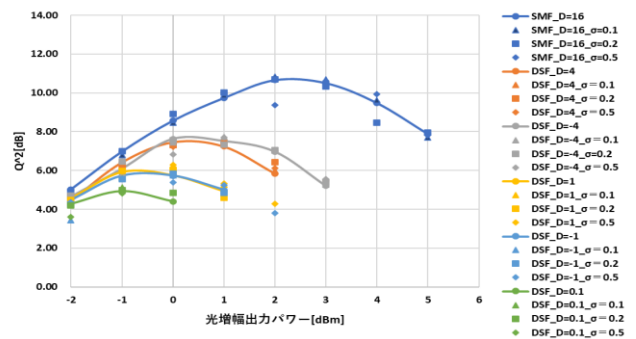


図3 非線形あり1波の光増幅器出力パワーにおける Q^2 値

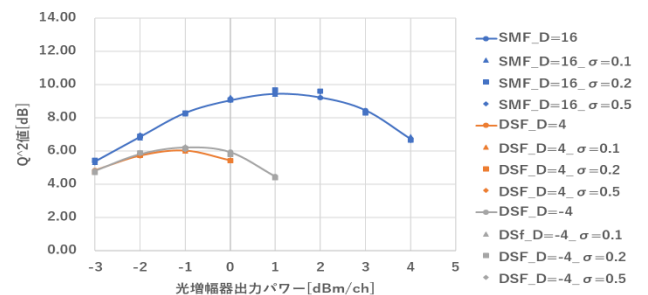


図4 非線形あり8波の光増幅器出力パワーにおける Q^2 値

4. 結論

非線形効果及び波長分散ゆらぎを考慮した、1波伝送およびWDM(8波)伝送の伝送特性について、波長分散ゆらぎを適用すると、ゆらぎなしを中心に、上下に Q^2 値が分布することを確認した。波長分散の大きさにかわらず、ゆらぎを大きくすると、 Q^2 値がよりばらつくことを確認した。

参考文献

[1] 弓削哲也, 早田叔弘, 岡廻隆生, “敷設光ファイバの長手方向波長分散値ばらつきが高速 TDM 伝送に与える影響”, 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J84-B, no.7, pp.1247-1254, 2001年7月.