屋外架設 S M F による 1.3 μ m 帯 2.5Gbit/s $\times$ 4 波長多重伝送実験

正員 山下育男 正員 青海恵之 (関西電力) 非会員 宮崎 滋 (OMP)

Demonstration of 4 $\times$ 2.5Gbit/s WDM Transmission in a 1.3- μ m Wavelength Band Using SMF Cables Constructed in a Field
Ikuko Yamashita, Member, and Shigeyuki Seikai, Member (Kansai Electric Power), Shigeru Miyazaki, (Osaka Media Port)

キーワード: 波長多重, 伝送実験, 1.3 μ m, 半導体増幅器, P D F A, ビットエラーレート, 無中継

1. まえがき

現在敷設されている光ファイバの多くは、零分散波長が 1.3 μ m 帯のシングルモード光ファイバ (S M F) である。S M F を用いて高速大容量の伝送を行う方法として、光波長を 1.55 μ m 近辺とし、光線路に分散補償ファイバを付加する方法が提案されている。しかしトータルの光損や装置規模を考慮すると、1.3 μ m 帯近辺で波長多重する方法も有効である。波長多重伝送では、伝送損失及び合波や分波での損失補償に光増幅が必須であるが、1.3 μ m 帯用光増幅器については、実用に供し得る特性をもつ半導体光増幅器 (S O A) ^[1] や P r ³⁺ ファイバ増幅器 ^[2] (P D F A) が報告されている。しかし、これらの光増幅器を用いた波長多重の実験例はあまりなく ^[3]、フィールドでの実験は皆無である。そこで市街地の既設の S M F ケーブルを用い、1.3 μ m 帯 2.4Gbit/s $\times$ 4 波長多重無中継伝送実験を行った。光増幅器としては、送信器では S O A あるいは P D F A を用い、受信器では偏波依存性の小さい S O A を用いた。

2. 4 波長多重伝送実験系

4 波長多重伝送の実験構成を図 1 に示す。送信側では、波長 1306nm, 1310nm, 1314nm, 1318nm の 4 波を光ファイバ型カプラで合波し、L N 変調器で 2.488Gbit/s で外部変調した。受信側では同様の光カプラで 4 分岐し、それぞれに光フィルタを用いた。光増幅器は、受信器ではブリアンプ用に設計された低偏波依存性の S O A (Philips 製) を用い、送信器ではポストアンプ用の偏波依存 S O A (Philips 製) を用いた。さらに比較のため、N F が 8dB とやや高いが、高出力が得られポストアンプに適する P D F A (NEL 製) を送信側において試みた。このとき送信光強度は L N 変調器出力光強度 -12dBm/波に対し、S O A の場合は 0dBm/波、P D F A の場合は +8.5dBm/波であった。

図 1 4 波長多重伝送実験系

Fig.1 Experimental setup for the 4-channel WDM transmission.

伝送路は、地中敷設ケーブルによる 62km (伝送路 1)、及び配電柱敷設ケーブルによる 66km (伝送路 2) の、2 種類の 1.3 μ m 零分散 S M F に、それぞれブリアンプ前に光減衰器を置いて構成した。光減衰器の挿入損の 2dB を含めた各伝送路の光損は、波長 1314nm で伝送路 1 が 32.5dB、伝送路 2 が 31.1dB であった。

3. 4 波長多重伝送時の伝送特性

伝送路 1 での 4 波長多重伝送時のビットエラーレート (B E R) 特性について、S O A をポストアンプに用いた場合と P D F A を用いた場合を図 2 に示す。横軸は伝送路光損、縦軸は B E R である。伝送路 2 でもほぼ同じ特性となった。また、B E R = 10⁻⁹ となる点で評価したブリアンプ入力光強度及び伝送路光損を表 1 に示す。参考としてブリアンプのみの受信感度特性も示している。

(a) S O A

(a) Case of SOA

(b) P D F A

(b) Case of PDF A

図 2 4 波長多重無中継伝送時の伝送特性
Fig.2 Transmission properties of the 4-channel WDM.

どの場合も 4 波間で平均した良好な伝送特性が得られており、受信感度も伝送路なしの場合とほぼ同等の結果が得られていることがわかる。ポストアンプに P D F A を用いた場合と S O A を用いた場合との伝送路光損の差は、それぞれの送信出力である +8.5dBm と 0dBm の差がほぼそのまま現れている。長スパンの伝送を考慮すれば P D F A の高出力が必要となるが、数十 km のスパンであれば S O A でも対応可能と思われる。また波長間の B E R 特性の差は、光増幅器での利得差および A S E の差によると考えられるが、

無中継伝送の場合には波長毎の送信出力の調整で改善できると思われる。今回の実験では伝送路の分散の影響を考慮する必要はなく、光増幅器や伝送路での非線形現象による影響も生じていないと考えられる。但し本実験は4波一括変調であるが、波長多重時にはSOAでの相互変調の影響が懸念される。このため別途に室内で独立に変調させた4波で受信感度を調べたところ、1波の場合からのパワーペナルティは2dB以内であった。これより図2(a)に関しては、さらに1dB程度の劣化を見込んでおく必要がある。

表1 受信感度と伝送路許容光損
Table.1 Sensitivity and power budget.

伝送パターン		受信感度 (dBm)	伝送路光損 (dB)
ポストアンプ	伝送路		
SOA	伝送路1	-33.6	33.6
SOA	伝送路2	-33.4	33.4
PDFA	伝送路1	-34.4	42.9
PDFA	伝送路2	-34.5	43.0
(プリアンプのみ)		-34.5	—

4. 伝送特性の安定性

フィールドの光ケーブルを伝搬する光の偏波状態はランダムに変動すると考えられる。今回のプリアンプ用SOAの利得は1dB程度の偏波依存性があるため、伝送特性が時間と共に変動する可能性がある。そこで図3のように伝送路1の中間にプリアンプ用SOAを中継器として用い、実験の便宜上1314nmのみを2.488Gbit/sで直接変調して4波長多重伝送を行い、1314nmのBER特性の変動を観測した。

図3 4波長多重伝送での安定性の測定系

Fig.3 Experimental setup for measurement of BER stability of the 4-channel WDM transmission.

図4 4波長多重伝送での安定性

Fig.4 BER stability of the 4-channel WDM transmission.

ここで各増幅器については、変化が現れやすいようにBER=10⁻¹¹付近になるよう受信器入力を設定した。比較のためPDFAでも時間をずらして同様の測定を行った。図4は、10分ごとにその間の平均BERを測定した結果で

ある。今回は偏波変動は緩やかであり、SOAとPDFAの間で大きな差は現れず、安定したBERが継続して得られたことがわかる。

5. まとめ

市街地に敷設されたSMFを用いて、1.3μm帯による2.5Gbit/s×4波長多重伝送実験を行った。プリアンプ及びポストアンプにSOAを用いた場合、BER=10⁻⁹に対する伝送路光損として33.6dBを得た。ポストアンプにPDFAを用いた場合、送信出力の差にあたる約8dB、この特性が向上した。また伝送路の偏波変動の影響は、BERではSOAとPDFAで大きな差はない結果となった。

〔謝辞〕

ご協力いただいた阪本正律氏、猪口勝司氏に感謝します。

(平成 9年 9月24日受付)

文 献

[1] L.F.Tiemeijer, P.A.J.Thijs, P.van Dongen, J.J.M. Binsma, E.J.Jansen, and S.Walczyk, "33dB fiber to fiber Gain +13dBm fiber saturation power polarization independent 1310nm MQW laser amplifiers", Proc. OAA'95, Davos, Switzerland, June, Paper PD1, 1995.

[2] M.Yamada, M.Shimizu, T.Kanamori, Y.Ohishi, Y.Teruyama, K.Terumura, K.Oikawa, H.Yoshinaga, K.Kikushima, Y.Miyamoto and S.Sudo, "Low-noise and high-power Pr-doped fluoride fiber amplifier", IEEE Photon. Technol. Lett., 7, 8, pp.869-871 (1995).

[3] H.de Waardt, L.F.Tiemeijer, and B.H.Verbeek, "2x10 Gbit/s WDM1310-nm optical transmission over 63.5-km standard single-mode fiber using optical pre-amplifiers", IEEE Photon. Technol. Lett., 7, 1, pp.104-107 (1995).

山下 育男 (正員) 1965年10月27日生。88年大阪大学工学部通信工学科卒。90年同大学修士課程了。同年関西電力株式会社入社、現在、同社総合技術研究所員。

青海 恵之 (正員) 1945年9月19日生。69年大阪大学工学部通信工学科卒業。74年同大学博士課程了。同年日本電信電話公社入社。87年立命館大学理工学部教授。91年関西電力株式会社入社。電子情報通信学会より82年度論文賞、85年度業績賞を受賞。工博。OSA、電子情報通信学会、各会員。

宮崎 滋 1965年3月24日生。87年大阪大学工学部通信工学科卒業。同年関西電力株式会社入社、現在、大阪メディアポート技術部計画課にて、ネットワーク設計に従事。