

# 放大器间距对应用相敏光放大器的平均光孤子系统传输性能影响的研究\*

钱 胜<sup>1,2</sup> 林洪榕<sup>2</sup> 李跃辉<sup>2</sup> 杨爱霞<sup>2</sup>

(1 杭州电子科技大学通信分院, 杭州 310008)

(2 南京邮电大学通信工程系, 南京 210003)

**摘 要** 本文采用计算机系统仿真方法, 研究了相敏光放大器(PSA)作为在线放大器时光孤子系统中放大器间距对系统传输性能的影响, 研究了平均孤子传输方案. 仿真结果表明: 当放大器间距与色散距离比值小于 0.1 时, 系统能够保持良好的传输性能; 在比值大于 0.1 情况下, 系统的传输性能劣化较快. 这是由于 PSA 增益的相敏特性导致孤子脉冲能量的损失所引起的. 采用微调放大器增益的方法能在一定程度上补偿 PSA 放大导致的孤子能量损失, 但这种改善是以增大孤子脉冲旁瓣幅度为代价的.

**关键词** 光孤子传输; 相敏光放大器; 平均孤子; 放大器间距; 系统仿真

**中图分类号** TN929.11 **文献标识码** A

## 0 引言

近年来, 光孤子通信以其能够实现超高速、超长(无中继)距离传输而成为光纤通信领域的研究热点之一. 目前, 光孤子传输实验大多采用掺铒光纤放大器(EDFA)作为在线放大器来补偿光纤损耗导致的孤子能量损失. 由于 EDFA 存在放大的自发辐射(ASE)噪声, 级联 EDFA 的 ASE 噪声积累将引起孤子到达接收端的定时抖动, 限制了系统的传输距离, 称为 Gordon-Haus 限制<sup>[1]</sup>. 此外, 孤子间的互作用也会造成系统传输速率和距离的限制<sup>[2]</sup>.

实用的光孤子传输方案有两种: 平均孤子传输<sup>[3]</sup>和动态孤子传输<sup>[4]</sup>. 平均孤子传输非常稳定, 但是, 为实现平均孤子传输, 要求光放大器间距远小于孤子周期, 这一制约条件使放大器间距通常较小. 动态孤子传输的优点是放大器间距与孤子周期可比拟, 但动态孤子不如平均孤子传输稳定, 传输过程中存在较大的色散波辐射.

相敏光放大器(PSA)是利用介质二阶或三阶非线性效应实现光参量放大的一种光放大器. 其光增益具有相敏特性, 即它仅对脉冲的主相位分量(main quadrature)进行放大, 而衰减其正交相位分量(orthogonal quadrature). 因此, PSA 不仅能够实现光脉冲的能量放大, 而且还同时具有相位滤波功能, 即能够抑制光脉冲传输过程中的展宽<sup>[5]</sup>. 而且, PSA 不存在放大的自发辐射(ASE)噪声, 理论上具

有 0 dB 的噪声指数<sup>[6]</sup>. 因此, 光孤子系统中采用 PSA 作为在线放大器, 无需附加其它的孤子控制技术即可突破 Gordon-Haus 限制<sup>[7,8]</sup>和孤子间的互作用<sup>[8]</sup>. 此外, PSA 增益的相敏特性还使其具有一定的色散补偿效果<sup>[5,9,10]</sup>, 由此可以抑制孤子被放大和衰减时产生的色散辐射. 我们的研究表明, 对 PSA 光孤子系统, 采用平均孤子传输方案, 系统的传输性能显著优于动态孤子传输方案<sup>[8]</sup>.

本文采用数值求解广义非线性薛定谔方程, 即计算机系统仿真方法研究应用 PSA 作为在线放大器的光孤子系统中放大器间距对系统传输性能的影响. 仿真研究仅考虑平均孤子传输方案. 研究表明, 在较小的光纤色散下, PSA 孤子系统的放大器间距可得以显著延长, 但过大的放大器间距会导致孤子脉冲的幅度经长距离传输后出现显著下降. 采用微调放大器增益的方法能在一定程度上补偿 PSA 放大导致的孤子能量损失, 但这种改善是以增大孤子脉冲旁瓣的幅度为代价的.

## 1 级联光放大器光孤子传输系统的理论分析和计算模型

对色散位移光纤( $\beta_2 < 0, \beta_3 > 0$ ), 孤子光脉冲在光纤中传输的波形演变可以通过求解广义非线性薛定谔方程(本文仅考虑 ps 级脉冲传输, 广义非线性薛定谔方程中忽略了高阶非线性项和喇曼散射项)给出<sup>[11]</sup>

$$i \frac{\partial U}{\partial \xi} + iU\Gamma + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - i\delta \frac{\partial^3 U}{\partial \tau^3} = -N^2 |U|^2 U \quad (1)$$

式(1)采用以下归一化定义

\*江苏省自然科学基金(BK2002032)资助课题  
Tel: 025-83492615 Email: inhr@njupt.edu.cn  
收稿日期: 2004-04-13

$$U = \frac{A}{\sqrt{P_0}}, \xi = \frac{z}{L_D}, \tau = \frac{t - z/v_g}{T_0}, \Gamma = \frac{\alpha}{L} L_D, \delta = \frac{\beta_3}{6|\beta_2|T_0} \quad (2)$$

式中,  $U$ 、 $\xi$  和  $\tau$  分别为归一化包络幅度变量、距离变量和时间变量,  $\Gamma$  和  $\delta$  分别为光纤的归一化损耗和归一化高阶色散参量,  $A$  是信号脉冲的电场包络函数,  $z$  是信号传输距离,  $t$  为时间,  $\alpha$  为光纤衰减常数,  $\beta_2$  是一阶色散参量,  $\beta_3$  是二阶色散参量(方程中忽略了二阶以上色散参量),  $v_g$  为光波群速度,  $T_0$  和  $P_0$  分别为初始脉冲的脉宽和峰值功率.  $L_D$  称为光纤色散长度,  $L_D = T_0^2/|\beta_2|$ . 式(1)中参量  $N$  由式(3)给出

$$N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma P_0 T_0^2}{|\beta_2|} \quad (3)$$

式中,  $L_{NL}$  称为光纤非线性长度.  $L_{NL} = 1/\gamma P_0$ , 其中  $\gamma$  是光纤非线性系数. 式(3)中  $N \geq 1$ . 当  $N=1$  且忽略光纤损耗和高阶色散时, 对反常色散( $\beta_2 < 0$ ) 光纤, 光脉冲可以保形、保速传输, 即形成基态光孤子. 对于基态孤子, 脉冲峰值功率  $P_0$  应满足  $P_0 = \frac{|\beta_2|}{\gamma T_0^2} = \frac{1}{\gamma L_D}$ . 当  $N \geq 2$  时形成高阶光孤子. 高阶孤子在某个传输距离内将经历分裂、合并、分裂, 最后恢复到初始状态. 该距离称为孤子周期  $z_0$ ,  $z_0 = \frac{\pi}{2} L_D$ .

本文采用分步傅里叶方法数值求解广义非线性薛定谔方程, 即用计算机系统仿真方法来研究光孤子在光纤中的传输特性. 考虑的是色散位移光纤(DSF)加周期性级联集总相敏光放大器的光孤子传输系统. 仿真中采用单脉冲传输表征孤子的波形演变, 双脉冲传输表征孤子间的互作用. 初始脉冲波形为高斯光脉冲. 仿真中仅考虑平均孤子( $z_s (= L_s/z_0) \ll 1$ ,  $L_s$  为放大器间距)传输方案, 并采用了预加重措施.

仿真中表征光纤色散参量是光纤色散系数  $D$  和色散斜率  $dD/d\lambda$ . 它们和  $\beta_2$  及  $\beta_3$  之间的关系为

$$\beta_2 = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} D \quad \beta_3 = \frac{\lambda^3}{(2\pi c)^2} [2D + \lambda \frac{dD}{d\lambda}] \quad (4)$$

由信号脉冲包络在光纤中的传输方程可以导出, PSA 的输出和输入之间有如下关系<sup>[5,12]</sup>

$$A_{out}(z, T) = \sqrt{G} \frac{[A_{in}(z, T) + e^{i\phi} A_{in}^*(z, T)]}{2} + \frac{[A_{in}(z, T) - e^{i\phi} A_{in}^*(z, T)]}{2\sqrt{G}} \quad (5)$$

式中,  $A_{in}(z, T)$ 、 $A_{out}(z, T)$  分别为放大器输入和输出脉冲的复电场,  $A_{in}^*(z, T)$  是  $A_{in}(z, T)$  的复共轭,  $G$  为放大器的增益,  $\phi$  是信号光和泵浦光之间的相位差. 考虑到实验性的 PSA 均采用光锁相环来锁定泵浦光的相位, 以使得泵浦光的相位能始终精确跟踪信号光的相位<sup>[13]</sup>. 研究表明, 只要泵浦光和信号光之间的相移  $\phi$  控制在一定的范围内, 相移对系统传输性能的影响可以忽略<sup>[14]</sup>. 因此, 本文假定泵浦光和信号光的相位完全一致, 即  $\phi=0$ , 则输入和输出的关系可简化如下

$$A_{out}(z, T) = \sqrt{G} \text{Re}\{A_{in}(z, T)\} + \frac{1}{\sqrt{G}} \text{Im}\{A_{in}(z, T)\} \quad (6)$$

式中,  $\text{Re}\{A_{in}(z, T)\}$ 、 $\text{Im}\{A_{in}(z, T)\}$  分别表示输入信号光的实部和虚部. 式(7)和(8)表明了 PSA 增益的相位敏感性. 对于理想情况, 即泵浦光与信号光无相移( $\phi=0$ ) 情况下, PSA 对脉冲中心部分进行放大. 而在脉冲中心的两侧, 相位为  $\pi/2, 3\pi/2, \dots$  的地方光能量被 PSA 衰减, 而相位为  $\pi, 2\pi, \dots$  的地方得到放大. 这样, 脉冲经 PSA 放大后得到压缩, 但两侧出现旁瓣. 在长距离传输情况下, 如旁瓣较小, 对系统的传输性能影响可以忽略, 而过大的旁瓣将导致系统传输性能显著劣化. 本文研究的是放大器增益完全补偿光纤损耗的情形, 因此 PSA 的增益取为  $G = \exp(\alpha L_s)$ .

### 3 仿真结果和分析

利用计算机系统仿真方法研究放大器间距对应用 PSA 的平均光孤子系统传输性能的影响. 仿真计算中考虑了群速度色散(GVD)、高阶群速度色散和自相位调制(SPM)效应. 仿真中采用的参量为: 光载频波长  $\lambda_0 = 1552$  nm, 信号速率  $B = 10$  Gb/s, 光纤损耗系数  $\alpha = 0.25$  dB/km, 脉宽  $\tau_s = 20$  ps, 光纤色散系数  $D = 0.2$  ps/nm·km, 色散长度  $L_D = 564.51$  km, 色散斜率为  $dD/d\lambda = 0.07$  ps/nm<sup>2</sup>·km, 非线性系数  $\gamma = 2.16$  /W·km, 其他参量值如表 1(其中  $Q$  为预加重因子).

表 1 仿真参量值表

Spacing/km	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Parameter									
$L_s/L_D$	0.0354	0.0531	0.0709	0.0886	0.1063	0.1240	0.1417	0.1594	0.1771
$Q$	1.2976	1.4491	1.5988	1.7463	1.8885	2.0253	2.1568	2.2825	2.4031
P/mW	1.3806	1.7220	2.0961	2.5008	2.9246	3.3636	3.8143	4.2722	4.7353

首先研究放大器间距较小时,采用 PSA 作为在线放大器的平均光子系统的传输性能. 图 1 给出放大器间距 20 km 时,孤子传输 10000 km 时的波形演变. 图中每隔 20 个放大器输出一次结果. 图 2 给出了孤子脉冲传输 10000 km 后的主瓣和旁瓣幅度随放大器间距变化曲线. 从图中可以看到,当放大器间距为 20 km ( $L_a/L_D=0.0354$ ) 时,采用 PSA 作为在线放大器,孤子传输 10000 km 后,即约相当于 20 个色散距离时,脉冲幅度几乎没有变化,波形保持得很好. 可见当放大器间距很小的时候,对平均光子系统,采用 PSA 作为在线放大器能够获得优异的传输性能.

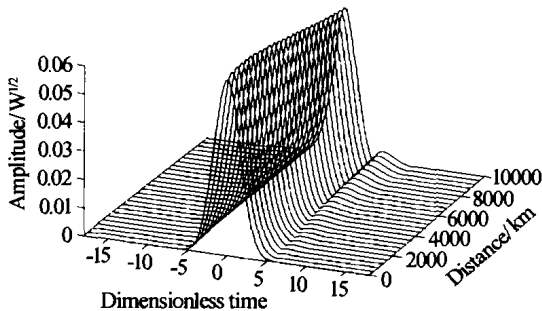


图 1 放大器间距为 20 km 孤子脉冲传输 10000 km 时的波形演变  
Fig. 1 Soliton pulse shape evolution of transmission over 10,000 km for 20 km amplifier spacing

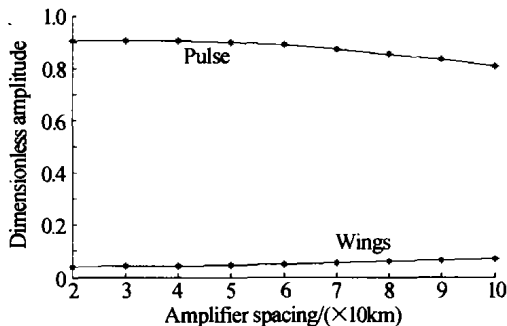


图 2 不同放大器间距时孤子脉冲传输 10000 km 后的主瓣幅度和旁瓣幅度变化  
Fig. 2 Soliton pulse and its wing amplitudes after 10000 km transmission for different amplifier spacing

下面研究放大器间距对平均光子系统的传输性能的影响. 图 3 给出在不同放大器间距下,孤子传输 10000 km 后的波形对比. 为了研究方便,对脉冲的幅度进行了归一化处理. 对应的其它参量取值如表 1. 从图中可以看到,在  $L_a/L_D < 0.1$  的情况下,孤子传输 10000 km,即约不到 20 个色散距离时,放大器间距的变化对系统传输性能的影响不大. 孤子脉冲幅度和旁瓣的大小都比较稳定,系统具有良好的传输性能. 而当  $L_a/L_D > 0.1$  时,放大器间距对系统传输性能的影响明显. 随着放大器间距的增加,脉冲主瓣幅度下降,旁瓣幅度则上升. 之所以出现这种现象是由于 PSA 增益的相敏特性所决定的. 从 PSA 输入输出的式(6)可以看出,应用 PSA 作为在

线放大器,当信号光和泵浦光相位完全一致时,PSA 仅放大输入信号的实部而衰减其虚部,也就是放大了信号光的无啁啾部分而衰减了有啁啾部分,虽然,这可以抑制脉冲传输过程中由于光纤色散而出现的脉宽展宽,但同时也使孤子能量出现损失. 这导致孤子脉冲在传输过程中幅度有下降趋势. 放大器间距越大,即  $L_a/L_D$  越大,孤子在传输过程中产生的色散波越多,PSA 对色散波的衰减导致孤子能量的损失也越大,脉冲幅度下降就越显著.

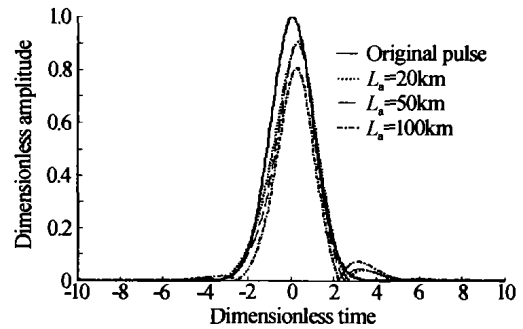


图 3 放大器间距取不同值时孤子脉冲传输 10000 km 后的波形  
Fig. 3 Soliton pulse shapes after transmission 10,000 km for different amplifier spacing

针对在放大器间距较大的情况下 PSA 对孤子脉冲的放大引起孤子能量损失的问题,我们尝试通过微调放大器增益的方法来解决. 对于放大器间距为 100 km 的情况,我们将放大器增益提高 0.03 dB (取 25.03 dB),并和放大器间距取 50 km 的情形作比较,仿真结果如图 4. 微调放大器增益后,脉冲幅度虽然得到了较好的保持,但是旁瓣的幅度确也有上升. 为了研究旁瓣引起的孤子相互作用,我们也仿真了双孤子(孤子对)传输的情况,如图 5. 从图中可以看到,在我们设定的其它相同参量情况下,微调放大器增益后,系统的性能确实得到了改善,脉冲主瓣的幅度得到了较好的保持,旁瓣的幅度略有增大,但还不至于引起显著的孤子相互作用. 显然,微调放大器增益后放大器的间距可以显著增大.

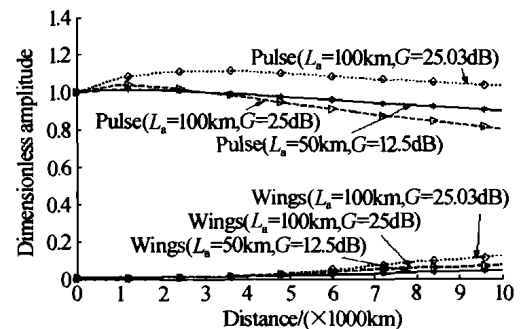


图 4 当  $D=0.2$  ps/nm/km,  $\tau_s=20$  ps 时不同放大器增益下孤子脉冲主瓣幅度和旁瓣幅度随传输距离的变化  
Fig. 4 Soliton pulse and its wing amplitudes as a function of transmission distance with different gain for  $D=0.2$  ps/nm/km,  $\tau_s=20$  ps

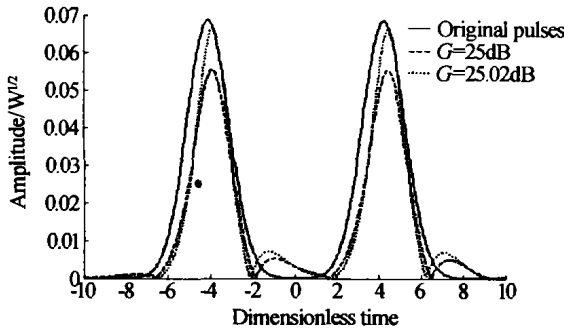


图 5 当  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$  时不同放大器增益下孤子对传输 10000 km 后的波形

Fig. 5 Soliton pair shapes after transmission 10,000 km with different gain for  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$

为了进一步表明微调放大器增益的效果,我们同时仿真了减小脉宽至  $\tau_s=12 \text{ ps}$ ,其它参量不变(相应色散长度为  $L_D \approx 203 \text{ km}$ ),以及增大光纤色散系数至  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,其它参量不变(相应色散长度为  $L_D \approx 225 \text{ km}$ )两种情况下系统的传输性能.我们将放大器间距分别取为 40 km(对应放大器增益为 10.03dB)和 80km(对应放大器增益为 20.07dB).对  $\tau_s=12 \text{ ps}$ ,图 6 出示孤子传输 10000 km 时的脉冲主瓣幅度和旁瓣幅度随传输距离的变化.图 7 示出双孤子传输 10000 km 后不提高增益和提高增益时的脉冲波形.从图 6、7 中我们可以看出,当放大器间距为 40 km 时,孤子脉冲传输 10000 km 后主瓣幅度虽然得到很好的保持,但旁瓣的幅度已经达

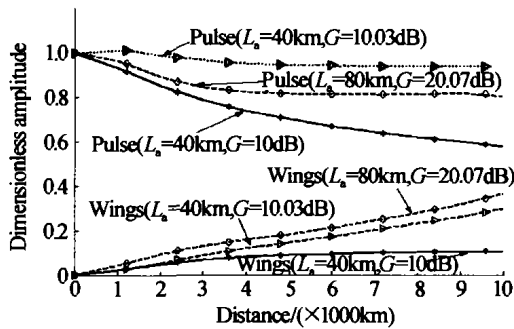


图 6 当  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=12 \text{ ps}$  时不同的放大器增益下孤子脉冲主瓣幅度和旁瓣幅度随传输距离的变化

Fig. 6 Pulse and its wing amplitudes of soliton as a function of transmission distance with different gain for  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=12 \text{ ps}$

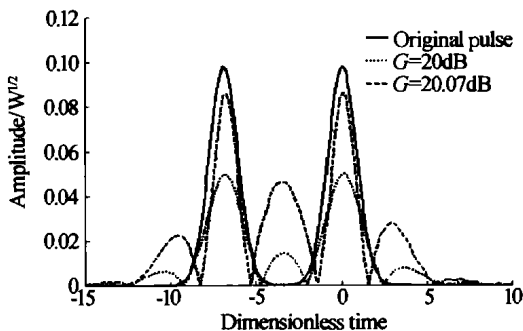


图 7 当  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=12 \text{ ps}$  时不同放大器增益下,孤子对传输 10000 km 后的波形

Fig. 7 Soliton pair shapes after transmission 10,000 km with different gain for  $D=0.2 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=12 \text{ ps}$

到主瓣幅度约 1/3 处.当放大器间距为 80 km 时,主瓣幅度虽也能得到较好保持,但旁瓣幅度已经达到主瓣幅度 1/2.如图 7,过高的旁瓣幅度将引起孤子间的显著相互作用,其影响程度已经无法容忍.显然,这种情况下提高放大器增益难以收到良好的效果.不过,从图 6 中亦可以看出,对较短的传输距离,旁瓣的影响仍然是可以接受的.

对  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,图 8 出示孤子传输 10000 km 时的脉冲主瓣幅度和旁瓣幅度随传输距离的变化.图 9 示出双孤子传输 10000 km 后不提高增益和提高增益时的脉冲波形.图 8、9 所示的结果和图 6、7 相似.

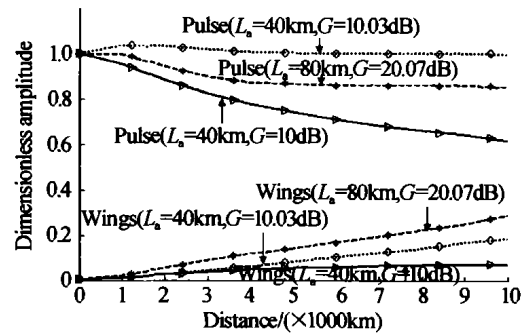


图 8 当  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$  时不同的放大器增益下孤子脉冲主瓣幅度和旁瓣幅度随传输距离的变化

Fig. 8 Pulse and its wing amplitudes of soliton as a function of transmission distance with different gain for  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$

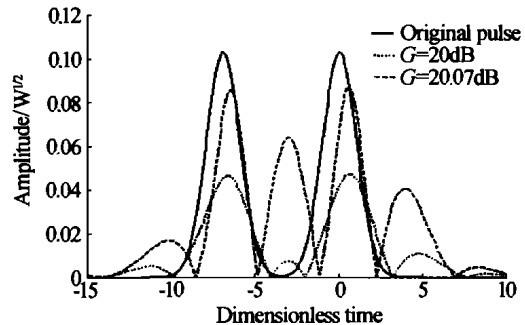


图 9 当  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$  时不同放大器增益条件下,PSA 平均孤子系统中孤子对传输 10000 km 后的波形

Fig. 9 Soliton pair shapes after transmission 10,000 km with different gain for  $D=0.5 \text{ ps/nm/km}$ ,  $\tau_s=20 \text{ ps}$

对比图 8、图 9 和图 6、图 7 可以发现,减小孤子脉宽和增大光纤色散(在两者色散距离相同的条件下)对系统影响几乎是一致的.

由以上的仿真结果可以看出,微调放大器增益只能在一定范围内、一定程度上延长放大器的间距.如果孤子脉宽较小,光纤色散较大,则微调放大器增益难以起到增大放大器间距的效果.这是由于上述两种情况下色散长度  $z_0$  较短,增大放大器间距  $L_a$  使得系统难以充分满足平均孤子传输条件( $z_a (= L_a / z_0) \ll 1$ ),系统中色散波增大,孤子脉冲经 PSA 放

大后旁瓣增高明显,长距离传输后过高的脉冲旁瓣引起显著的孤子相互作用,系统的传输性能严重劣化.

#### 4 结论

本文采用计算机系统仿真的方法研究了应用相敏光放大器(PSA)作为在线放大器的光孤子系统中,放大器间距对系统传输性能的影响. 仿真研究仅考虑平均孤子传输方案. 研究结果表明:

1)对平均孤子传输系统,应用 PSA 作为在线放大器可以显著延长放大器间距,尤其是在小的光纤色散情况下.

2)在放大器间距不大( $L_a/L_D < 0.1$ )的情况下,系统传输性能十分优异. 放大器间距的增大对系统传输性能的影响较小. 但是,当  $L_a/L_D > 0.1$  时,随着放大器间距的增加,系统性能劣化逐渐明显. 经长距离传输后,孤子脉冲的幅度将显著下降. 这是由于 PSA 对色散波的衰减导致孤子能量的损失过大所引起的.

3)适当增加 PSA 增益的方法可以在一定程度上补偿孤子能量的损失,改善系统的传输性能,但这是以同时显著增大孤子脉冲旁瓣为代价的. 对较小的孤子脉宽和较大的光纤色散,过大的放大器间距将引起脉冲经 PSA 放大后出现显著的旁瓣,经长距离传输后过高的旁瓣将导致严重的孤子相互作用,这种情况下增加放大器增益难以取得增大放大器间距的效果.

#### 参考文献

- Gordon J P, Haus H A. Random walk of coherently amplified solitons in optical fiber transmission. *Opt Lett*, 1986, **11**(10): 665~667
- Anderson D, Lisak M. Bandwidth limits due to mutual pulse interaction in optical soliton communication systems. *Opt Lett*, 1986, **11**(3): 174~176
- Hasegawa A, Kodama Y. Guiding-center soliton in optical fibers. *Opt Lett*, 1990, **15**(24): 1443~1445
- Nakazawa M, Suzuri K, Kuboat H, *et al.* Dynamic optical soliton communication. *IEEE J Quantum Electron*, 1990, **26**(12): 2095~2101
- Li R D, Kumar P, Kath W. Dispersion compensation with phase-sensitive optical amplifiers. *J Lightwave Technol*, 1994, **12**(3): 541~549
- Mecozzi A, Tombesi P. Parametric amplification and signal-to-noise ration in optical transmission lines. *Opt Commum*, 1995, **75**(3): 256~262
- Yuen H P. Reduction of quantum fluctuation and suppression of the Gordon-Haus effect with phase-sensitive linear amplifiers. *Opt Lett*, 1992, **17**(1): 73~75
- Lin H R, Yang A X, Qian Sh, *et al.* Using PSAs as in-Line Amplifiers to overcome the Gordon-haus Restriction and to suppress soliton Interaction in soliton transmission system. APOC 2003, Nov. 2003, Wuhan China, Paper 5281~88
- Lin Hongrong, Yao Baofu, Chen Ruquan. ISI limitation for non-zero dispersion shift fiber communication system using in-line phase-sensitive amplifiers. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(3): 246~250
- Lin Hongrong, Chi Xiaoling. The transmission performance of high-speed single mode fiber communication system using in-line PSA and it' s comparison to EDFA system. *Acta photonica Sinica*, 2001, **30**(10): 1243~1250
- Agrawal G P. *Nonlinear Fiber Optics*. New York: Academic Press, 1989
- Imajuku W, Takada A. Theoretical analysis of system limitation for AM-DD/NRZ optical transmission systems using in-line phase-sensitive amplifiers. *J Lightwave Technol*, 1998, **16**(7): 1158~1170
- Imajuku W, Takada A. In-line phase-sensitive amplifier with optical-PLL-controlled internal pump light sour. *Electrion Lett*, 1997, **33**(25): 2155~2156
- Lin H R, Chen R Q, Xu J. The effect of phase-shifting between pumping and signal light on transmission performance of optical fiber communication system with in-line PSA. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(10): 927~931

## The Effect of Amplifier Spacing on the Transmission Performance of Average-soliton System Using PSA as In-Line Amplifier

Qian Sheng<sup>1,2</sup>, Lin Hongrong<sup>2</sup>, Li Yuehui<sup>2</sup>, Yang Aixia<sup>2</sup>

*1 Col. of Com., Hangzhou University of Electronic Science and Technology, Hangzhou 310008*

*2 Dept. of Com. Engg., Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003*

Received date: 2004-04-13

**Abstract** In this paper, the effect of amplifier spacing on the performance of average-soliton transmission system using PSA as in-line amplifiers has been analyzed theoretically by computer simulation. Our simulation results show that when the ratio of amplifier spacing to dispersion distance is below 0.1, the performance of soliton system is well enough. But when it is above 0.1, the system performance is deteriorated quickly. The reason is that due to the phase sensitivity of its gain, PSA can cause soliton energy loss, thus result in the amplitude of soliton pulse descending significantly after long distance transmission. Raising PSA's gain a little can compensate the loss, thus improve system performance. But the improvement is at cost of heightening the wing amplitude of soliton pulse.

**Keywords** Optical soliton transmission; Phase-sensitive amplifier (PSA); Average-soliton; Amplifier spacing; Computer simulation



**Qian Sheng** from Anhui Province, Got Master Degree from Nanjing University of Posts and Telecommunications, assistant, College of Communication, Hangzhou University of Electronic Science and Technology. He is interested in high-speed optical fiber communication, fiber nonlinearities and their applications.