

文章编号: 1001-3806(2007)05-0486-03

NOLM 全光解复用中信号转换的数值模拟

郭雄英^{1,2}, 杨玲珍^{2*}, 帕力哈提·米吉提¹, 王云才²

(1. 新疆大学 物理系, 乌鲁木齐 830046; 2. 太原理工大学 理学院 物理系, 太原 030024)

摘要: 为了研究非线性光学环形镜解复用输出特性, 采用双曲正割形控制脉冲和信号脉冲, 对基于非线性光学环形镜全光解复用系统中信号的转换进行了理论分析, 得到了脉冲峰值开关效率为 100% 时, 所需最小初始时钟脉冲峰值功率应满足的条件, 数值模拟了走离时间、初始时间延迟和初始时钟脉冲峰值功率对转换信号波形特性的影响。结果表明, 走离效应是导致转换信号波形失真以及峰值功率下降的重要因素, 初始时间延迟可以平衡由走离效应引起的转换信号波形不对称, 初始时钟脉冲峰值功率可以补偿由走离效应导致的转换信号峰值功率下降。

关键词: 光通信; 全光解复用; 非线性光学环形镜; 走离时间

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A

Numerical simulation of converted signal characteristics in all-optical demultiplexing based on a NOLM

GUO Xiong-ying^{1,2}, YANG Ling-zhen², MIJITI Palhaiti¹, WANG Yun-cai²

(1. Department of Physics Xinjiang University, Urumqi 830046 China; 2. Department of Physics College of Sciences Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024 China)

Abstract The mechanism of nonlinear optical loop mirror (NOLM), based on all-optical demultiplexing of hyperbolic secant pulse for both signal and clock was theoretically analyzed. The expression of minimum initial peak power of clock pulses with which the switching efficiency of pulses peak up to 100% can be obtained, was demonstrated. The influence of walk-off time, initial time delay and initial peak power of clock pulses on the shape of output signal were numerically analyzed. The results show that the walk-off between clock pulses and signal pulses plays an important role in all-optical demultiplexing based on NOLM, the larger the walk-off time is, the smaller the peak power of converted signal is, and the more asymmetric the waveform is. Also it is found that proper initial peak power of clock pulses can compensate the walk-off induced degradation, and initial time delay between clock pulses and signal pulses can balance the waveform asymmetric of converted signal induced by walk-off.

Key words optical communication; all-optical demultiplexing; nonlinear optical loop mirror; walk-off time

引 言

波分复用技术是解决光纤通信系统中日益激增容量需求的有效方法。而波分复用器(包括复用器和解复用器)是实现波分复用技术的核心器件, 迄今为止, 已经出现了多种波分复用器件^[1-3]。其中基于非线性光学环形镜(nonlinear optical loop mirror, NOLM)的全光解复用器, 可将光纤通信系统主信道数十 Gbit/s 至数百 Gbit/s 的信号在时域解复用并分配到若干个次信道, 且具有耦合效率高、结构简单、全光纤化、复用解

复用速率高等突出优点, 是目前最有前途的高速解复用器件之一, 引起了人们的极大关注。从 1992 年第 1 次利用 NOLM 将 64 Gbit/s 信号解复用到 4 Gbit/s^[3] 开始, 人们对 NOLM 作为解复用器进行了广泛研究^[4-7]。近年来, 由于高非线性、色散平坦的特种光纤制备工艺逐步成熟, 利用特种光纤构成的 NOLM, 已经实现了将 160 Gbit/s^[5], 320 Gbit/s^[6] 甚至 640 Gbit/s^[7] 的信号解复用到 10 Gbit/s 并从理论上对解复用系统中误码率、时间抖动、码间窜扰及开关窗口等特性与系统参数的关系进行了详细的研究^[8-11], 但对信号脉冲和时钟脉冲的初始时间延迟对解复用系统的影响研究相对较少。作者在考虑走离效应、光纤损耗和初始时间延迟的情况下, 以双曲正割脉冲为例, 数值模拟了 NOLM 全光解复用系统中走离时间、初始时间延迟及初始时钟脉冲峰值功率对解复用转换信号波形特性的影响, 在实际的全时分解复用技术中具有一定的参考价值。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60577019); 山西省留学回国人员科研基金资助项目(200417)

作者简介: 郭雄英(1980-), 女, 硕士研究生, 主要从事非线性光纤光学和超短脉冲的研究。

* 通讯联系人。E-mail: office_science@tyut.edu.cn

收稿日期: 2006-07-31; 收到修改稿日期: 2006-10-19

1 基于 NOLM 全光解复用原理

图 1 为 NOLM 全光解复用结构图。NOLM 是一个由 3dB 耦合器构成的 sagnac 干涉仪, 信号脉冲 λ_s 从

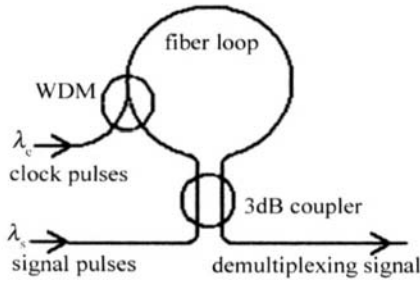


Fig. 1 Schematic of all optical demultiplexing based on NOLM

耦合器的一端输入, 经耦合器后被分为两路反向传输的等振幅信号, 时钟脉冲 λ_c 经波分复用器耦合进光纤环路并沿顺时针传输。由于时钟脉冲的引入, 使得顺时针和逆时针信号脉冲之间产生由交叉相位调制 (cross-phase modulation XPM) 引起的相对相移, 两信号脉冲在环内传输一周后经耦合器干涉输出, 这样时钟脉冲就可以通过 XPM 对信号脉冲进行开关解复用到输出端。

如果定义解复用的开关效率 η 为干涉输出后与输入前功率之比^[8], 则:

$$\eta = [1 - \cos(\Delta\Phi_{XPM})] / 2 \quad (1)$$

式中, $\Delta\Phi_{XPM}$ 为两信号脉冲在环内由 XPM 引起的相对相移。

以信号脉冲为参考, 假设信号脉冲和时钟脉冲是偏振和宽度相同、初始啁啾为 0 的双曲正割脉冲, 其初始振幅分别为:

$$A_s(0, T) = \sqrt{P_s(0)} \operatorname{sech}(T/T_0) \quad (2)$$

$$A_c(0, T) = \sqrt{P_c(0)} \operatorname{sech}[(T - T_d)/T_0] \quad (3)$$

式中, $A(0, T)$ 和 $P(0)$ 分别为脉冲的初始振幅和初始脉冲峰值功率; T 为以信号脉冲为参考的时间变量; T_0 为脉冲宽度; T_d 为时钟脉冲和信号脉冲间的初始时间延迟。

假设由光纤损耗引起的功率衰减缓慢, 峰值功率可用其平均值 \bar{P} 代替^[10]:

$$\bar{P} = \frac{1}{L} \int_0^L P(0) \exp(-\alpha z) dz \quad (4)$$

式中, L 为环路长度; α 为衰减系数; z 为传输距离。

考虑 $L \ll L_d$ 时, 群速色散效应可以忽略, 在此情况下, 经推导可得环内两信号脉冲间由 XPM 引起的相对相移为:

$$\Delta\Phi_{XPM}(T) = \begin{cases} \frac{2\mathcal{P}_c(0)}{\alpha} [1 - \exp(-\alpha L)] \times \operatorname{sech}^2[(T - T_d)/T_0], & (d = 0) \\ \frac{4\mathcal{M}\mathcal{P}_c(0)}{\alpha\tau} [1 - \exp(-\alpha L)] f(T), & (d \neq 0) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $f(T) = \frac{1}{1 + \exp[2(T - T_d - \tau)/T_0]} - \frac{1}{1 + \exp[2(T - T_d)/T_0]}$; γ 为非线性系数; L_d 为色散长度; $\tau = Ld$ 是在长度为 L 的环境中时钟脉冲和信号脉冲间的走离时间; $d = \frac{1}{v_{gc}} - \frac{1}{v_{gs}}$ 为时钟脉冲和信号脉冲间的走离参量; v_{gc} 和 v_{gs} 分别为时钟脉冲和信号脉冲的群速度。

由 (1) 式可知, 当 $\Delta\Phi_{XPM}(0) = \pi$ 时, 可获得峰值开关效率为 100% 的转换信号, 根据 (5) 式推导可得此时所需最小初始时钟脉冲峰值功率应满足:

$$P_{c,\pi}(0) = \begin{cases} \frac{\pi\alpha}{2\gamma[1 - \exp(-\alpha L)]} & (d = 0) \\ \frac{\pi\alpha\tau}{4\gamma T_0[1 - \exp(-\alpha L)] f(T_d + \tau/2)} & (d \neq 0) \end{cases} \quad (6)$$

从 (6) 式可以看出, 所需最小初始时钟信号峰值功率与时钟脉冲和信号脉冲之间的走离时间有关。同时通过对 (5) 式求极值可知, 要使转换信号峰值位于 $T = 0$ 处, 初始时间延迟应满足 $T_d = -\tau/2$ 。

2 数值模拟与分析

基于上述理论数值模拟了走离时间、初始时间延迟和初始时钟脉冲峰值功率对转换信号波形特性的影响, 模拟所用参数为: $T_0 = 10\text{ps}$, $\gamma = 10 \cdot 9\text{W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, $\alpha = 0.02\text{km}^{-1}$ 。在模拟过程中, 以干涉输入时信号脉冲峰值功率 $P_s(L)$ 为参考功率进行了归一化, 其中, $P_s(L)$ 表示峰值功率为 $P_s(0)$ 的信号脉冲在光纤中经传输 L 后的峰值功率。

2.1 走离时间对输出波形的影响

图 2 中给出了时钟脉冲和信号脉冲间的走离时间对输出的转换信号波形的影响, 其中, 取 $T_d = 0$,

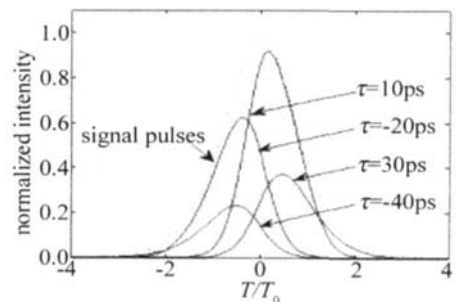


Fig. 2 The influences of walk-off time on converted signal shape

$P_c(0) = \frac{\pi\alpha}{2\gamma[1 - \exp(-\alpha L)]}$ 。从图中可以看出, 不同走离时间下, 转换信号峰值相对信号脉冲峰值偏移量不同, 随着 $|\tau|$ 的增大逐渐增大, 当 $\tau > 0$ 时, 转换信号

峰值移向 $T > 0$ 处, 这是由于走离效应使得群速度相对较快的信号脉冲后沿所受 XPM 作用大于前沿, 获得较大的相对相移, 因而脉冲后沿输出功率大于前沿, 峰值移向后沿。| τ | 越大, 这种调制不平衡越严重, 输出波形越不对称, 同时信号脉冲受到的 XPM 效应越弱, 使得转换信号峰值功率也越小。反之亦然。

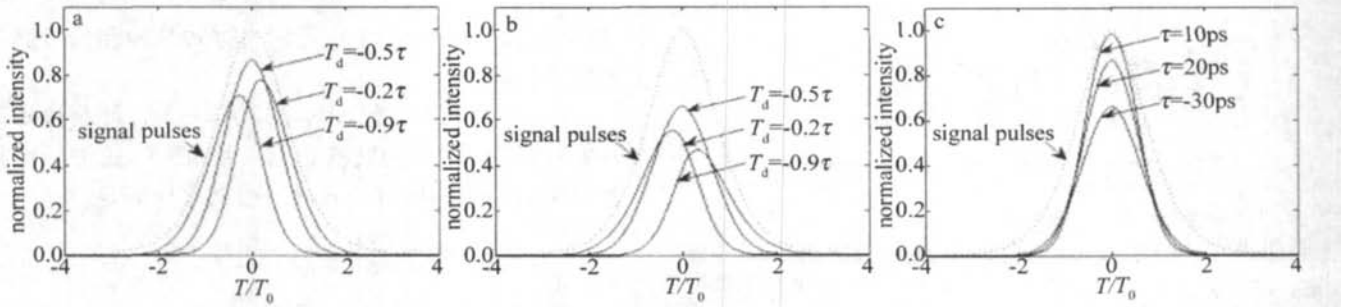


Fig 3 The influences of initial time delay on converted signal shape.
a- $\tau = 20\text{ps}$ b- $\tau = -30\text{ps}$ c- $T_d = -\tau/2$

$T_d = -\tau/2$ 时, 转换信号脉冲峰值位于 $T = 0$ 处, 此时输出脉冲前后沿不对称现象消失, 这是由于适当初始时间延迟的引入, 使得信号脉冲前后沿获得相等得相对相移, 因而输出波形对称。从图 3c 中可以看出, 引入 $-\tau/2$ 的初始时间延迟后, 转换信号波形较无初始时间延迟时有了很大的改善, 但此时转换信号峰值功率仍随 | τ | 的增大而迅速下降。

2 3 初始时钟脉冲峰值功率对输出波形的影响

图 4 中给出了 $\tau = 10\text{ps}$ 和 $\tau = -30\text{ps}$ 时, 初始时

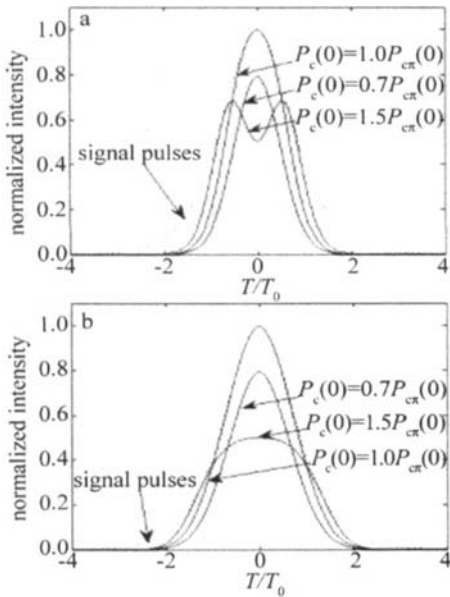


Fig 4 The influences of initial peak power of clock pulses on converted signal shape
a- $\tau = 10\text{ps}$ b- $\tau = -30\text{ps}$

钟脉冲峰值功率对输出的转换信号波形的影响, 其中, 取 $T_d = -\tau/2$ 。从图中可以看出, 当初时钟脉冲峰值功率满足 $P_c(0) = P_{cr}(0)$ 时, 可得到峰值开关效率

2 2 初始时间延迟对输出波形的影响

图 3 中给出了 $\tau = 20\text{ps}$ $\tau = -30\text{ps}$ 和 $T_d = -\tau/2$ 时, 时钟脉冲和信号脉冲间的初始时间延迟对输出的转换信号波形的影响, 其中, 取 $P_c(0) = \frac{\pi\alpha}{2\gamma[1-\exp(-\alpha L)]}$ 。从图 3a 和图 3b 中可以看出, 当

为 100% 的转换信号, 当 $P_c(0) \neq P_{cr}(0)$ 时, 转换信号峰值功率较小, 且在 $P_c(0) > P_{cr}(0)$ 的情况下会出现双峰。这是由于当 $P_c(0) \neq P_{cr}(0)$ 时, 信号脉冲峰值所获相对相移不等于 π , 峰值开关效率小于 100%, 使得转换信号峰值功率较小, 若峰值开关效率小到使得输出的峰值功率低于其前后沿某处的输出功率时, 由于对称性, 转换信号将会出现双峰结构。因此, 必须适当地选取初始时钟脉冲峰值功率, 才能获得最佳输出。

3 结 论

对 NOIM 全光解复用系统中信号的转换进行了理论分析和数值模拟。结果表明, 信号脉冲与时钟脉冲间的初始时间延迟可平衡由走离效应导致的转换信号脉冲形状不对称, 初始时钟脉冲峰值功率可平衡由走离效应导致的转换信号峰值功率的下降, 为了得到波形对称且峰值开关效率为 100% 的转换信号, 应满足: (1) 时钟脉冲和信号脉冲间的初始时间延迟 $T_d = -\tau/2$ (2) 初始时钟脉冲峰值功率 $P_c(0) = P_{cr}(0)$ 。在实际的解复用技术中对系统参数的选择具有一定指导意义和参考价值。

参 考 文 献

[1] HE W X, SHI W K. Experimental study on long period fiber grating applied in two channel wavelength division demultiplexer [J]. Laser Technology 2002, 26(2): 111~113(in Chinese).
[2] BILODEAU F, JOHNSON D C, THERIAULT S *et al*. An all fiber dense wavelength division multiplexer/demultiplexer using photoinprinted Bragg gratings [J]. IEEE Photonics Technology Letters 1995 7(4): 388~390
[3] ANDREKSON P A, OLSSON N A, SMPSON J R *et al*. 64Gbit/s all optical demultiplexing with the nonlinear optical loop mirror [J]. Photonics Technology Letters 1992 4(6): 644~647

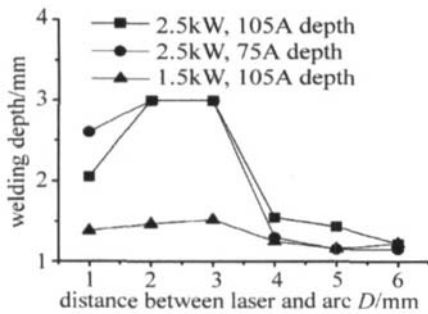


Fig. 8 Effect of D on bead width

致激光能量散失严重, 穿透能力下降, 熔深较小。

在 D 为 2 mm ~ 3mm 时得到最大熔深 (3mm), 是 D 为其它参数下的 1.46 倍 ~ 2.54 倍。当 $D > 3$ mm 后, 随着 D 的增加, 激光与电弧两者等离子逐步分离, 相互作用开始减弱; 另一方面, 保护气体由喷嘴至熔池的距离增加, 对熔池的保护作用和激光等离子体屏蔽的抑制能力也相对减弱, 降低了工件的激光吸收率。在 D 达到 6mm 时, 激光电弧等离子体完全分离, 焊接熔深与单独激光焊熔深相当。

3 结论

(1) TIG 电弧在小电流条件下不稳定, 激光的加入可以提高其稳定性, 提高焊缝的表面成形质量。复合焊接可以提高焊缝的桥接能力、增大焊接熔深。在激光功率 $P > 2.5$ kW 时, 会产生小孔效应, 激光压缩电弧, 其对复合焊接熔深影响显著。

(2) 激光-TIG 焊接中, 在电弧电流小于 150A 时, 激光对电弧的压缩作用强, 焊接熔宽与两热源的热输入关系密切; 当电流大于 150A 时, 激光对电弧的引导作用变弱, 等离子膨胀、长大, 仅电弧电流是焊接熔宽的决定性因素。

(3) 激光-TIG 焊接中, 热源的复合效果对两者间距 D 十分敏感, 存在一个最佳间距 (2mm ~ 3mm), 该条件下的焊接熔深是 D 为试验中其它参数下的 1.46 倍 ~ 2.54 倍。

参考文献

- [1] MODENESIP J, APOLNARIO E R, PEREIRA M. TIG welding with single-component fluxes [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000(99): 260~265
 - [2] ZHU Y F, DONG Ch L. Laser arc hybrid welding technology [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2002(9): 32~34 (in Chinese).
 - [3] PAN Y H. The welding of 316L stainless tube [J]. Gansu Science and Technology, 2006, 22(3): 46 (in Chinese).
 - [4] PAN Z X. The welding arts and crafts of 316L stainless [J]. Welding, 2002(12): 36 (in Chinese).
 - [5] STEEN W M. Arc augmented laser processing of materials [J]. JAP, 1980, 51(11): 5636~5641
 - [6] CHEN Y B, LEI Zh L, LI Q. Study of welding characteristics in CO₂ laser-TIG hybrid welding process [A]. International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2003 [C]. Orlando Laser Institute of America, 2003, 41~47
 - [7] LU L M, WANG J F, SONG G. Hybrid laser-arc welding of AZ31B Mg alloy [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(2): 1523~1526 (in Chinese).
 - [8] PEIERING D, FUHRMANN C, WOLF N. Investigations and applications of laser-arc hybrid welding from thin sheets up to heavy section components [A]. International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2003 [C]. Orlando Laser Institute of America, 2003, A1~A10
 - [9] CHEN Y B, CHEN J, LI L Q, et al. The arc shape & welding bead characteristic of the action of laser & arc [J]. Transaction of the China Welding Institution, 2003, 24(2): 55~56 (in Chinese).
 - [10] XIAO R S, CHEN K, CHEN JM. Experimental research of the plasma shielding mechanism in the process of CO₂ laser welding [J]. Laser Technology, 2001, 25(3): 238~241 (in Chinese).
- (上接第 488 页)
- [4] UCHIYAMA K, TAKARA H, KAWANISHI S, et al. 100Gbit/s all optical demultiplexing using nonlinear optical loop mirror with gating width control [J]. Electron Lett, 1993, 29(21): 1870~1871
 - [5] OXENLOWE L K, SIAHLO A I, BERG K S, et al. A photonic crystal fibre used as a 160 to 10Gbit/s demultiplexer [J/OL]. http://www.crystal-fibre.com/publications/postleadline_papers.htm, 2006-09-16
 - [6] CLAUSEN A T, SIAHLO A I, SEOANE J, et al. 320 to 10Gbit/s demultiplexing using a NOLM based on commercially available components [J]. Electron Lett, 2005, 41(5): 265~266
 - [7] SIAHLO A I, CLAUSEN A T, OXENLOWE L K, et al. 640Gbit/s OTDM transmission and demultiplexing using a NOLM with commercially available highly nonlinear fiber [J]. Conference on Lasers and Electro-Optics, 2005, 2: 883~885.
 - [8] XIE B, SUN X H, ZHANG M D. Studies on characteristics of NOLM demultiplexer [J]. Journal of Electron Devices, 2000, 23(1): 31~35 (in Chinese).
 - [9] CHEUNG C Y, SWIFT G, GHASSEMLOOY Z. Effect of Gordon-Haus jitter on nonlinear optical loop mirror (NOLM) demultiplexing [J]. Proc SPIE, 2001, 4216: 85~94
 - [10] CHEUNG C Y, GHASSEMLOOY Z, SWIFT G, et al. Mathematical modelling and BER analysis of 100Gbit/s NOLM demultiplexer using a soliton shaped pulse for control and data [J]. Optoelectronics, 2000, 147(4): 245~250
 - [11] SHIH X, LIN J T. Performance analysis of the nonlinear optical loop mirror as the demultiplexer of OTDM system [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 1998, 21(4): 17~20 (in Chinese).