

·激光技术·

控制光对受激布里渊散射光存储的影响

司 军,丁迎春

(北京化工大学物理系,北京 100029)

摘 要:首先对光纤中受激布里渊散射的耦合波方程进行了离散化,然后利用MATLAB编程对受激布里渊散射光存储过程进行了数值求解,并从理论上对控制光的时间线型和光谱线型对光存储的影响进行了研究。虽然在受激布里渊散射光存储的原理中,读脉冲和写脉冲在光存储中所起的作用不同,但是理论分析却没有看到读写脉冲的差异。计算还表明,当控制脉冲的谱足够宽时,控制脉冲时间线型上的差别对存储结果并无明显影响。啁啾高斯型和矩形控制脉冲由于其宽谱线型可以得到较好的存储结果。

关键词:受激布里渊散射;光存储;控制脉冲;时间线型;光谱线型

中图分类号:O437.2

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)06-0033-06

Effect of Control-light on Light Storage via SBS

SI Jun, DING Ying-chun

(Department of Physics, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The coupled wave equation in the optical fiber based on stimulated Brillouin scattering (SBS) is discretized, the light storage process via SBS is solved by MATLAB, and the effect of the temporal line profile and spectral line profile of the control-light on the light storage is studied. The read pulse and write pulse play a different role in light storage, but the differences of these can not be found in the theory analysis. The calculations show that the differences of the temporal line profile of the control pulse do not obviously affect the stored results. The chirped Gaussian pulse and rectangular pulse can get the best storage because of their wide spectrum.

Key words: stimulated Brillouin scattering; light storage; control pulse; temporal line profile; spectral line profile

实现全光存储需要对光的群速度进行控制,目前已经有多种慢光技术得到了广泛的研究^[1-2]。其中受激布里渊散射(SBS)慢光技术由于其能够在室温下实现、全光波段工作和低阈值的特点受到了人们极大的关注^[3-6]。

基于SBS的光存储方法已经有报道并被实验证明^[7-9]。原理可以描述如下:两束光从光纤的两端被注入到光纤中,一束是强的脉冲激光作为控制光(包括读脉冲和写脉冲),另一束是弱的脉冲激光作为数据脉冲。代表了要被存储的信息字节的数据脉冲进

入到光纤的同时,写脉冲从相反方向进入光纤,通过SBS相互作用,数据脉冲的能量基本被抽空并以相干声激发(声波)的形式存储在光纤中,声波的频率等于数据脉冲和控制脉冲的频率差。数据脉冲的能量只有一小部分被转变成了声波,多数的能量被转移给了写脉冲。经过一个可控的存储时间,读脉冲以与写脉冲相同的方向经过光纤,它抽空了声波,数据脉冲被从光纤中释放并沿原来的方向传播。从存储原理中能够知道,写脉冲的作用是把数据脉冲能量抽空并以声波的形式存储在光纤中,而读脉冲的作

收稿日期:2011-10-21

基金项目:国家自然科学基金(60978006)

作者简介:司军(1987-),男,贵州贵阳人,硕士。主要研究方向为非线性光学;丁迎春(1966-),女,黑龙江人,教授,硕士生导师。主要研究方向为非线性光学、计算机视觉、激光技术与计量等。

用是把声波从光纤中恢复。读、写脉冲的作用完全不同。那么对于控制脉冲,对存储过程有影响的到底是读、写脉冲的时间分布线型还是光谱线型?还是都有影响?这个问题的研究至今未见报道。

文中对 2 ns 的高斯型数据脉冲在不同的读、写脉冲条件下的存储情况进行了数值模拟研究。目的是研究读、写脉冲的时间线型和光谱线型对 SBS 光存储过程的影响,找到实现光存储的最佳条件。

1 理论模型

受激布里渊散射过程可以通过一维耦合波方程来进行描述,包括了前向的数据场(+z向),后向的控制场(-z向)和前向的声波场。慢变包络近似下三波耦合方程^[10],给出如下

$$\frac{\partial A_d}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial A_d}{\partial t} = -\frac{\eta g_B}{2} A_c Q \quad (1)$$

$$-\frac{\partial A_c}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial A_c}{\partial t} = -\frac{\eta g_B}{2} A_d Q^* \quad (2)$$

$$2\tau_B \frac{\partial Q}{\partial t} + Q = A_d A_c^* \quad (3)$$

式中, A_c , A_d 是数据脉冲和控制脉冲(读、写脉冲)的慢变电场包络。 Q 是相关的声波的慢变振幅, $Q = 2v_a \rho / i\gamma_e \epsilon_0 \Omega_B \tau_B$, 其中, τ_B 是声子寿命; v_a 是声速; γ_e 是光纤的电致伸缩系数; Ω_B 是布里渊频移, $\eta = c\epsilon_0 n_f / 2$; n_f 是光纤的折射率; v_g 是光脉冲在光纤中的群速度; g_B 是 SBS 增益系数; ϵ_0 是真空中介电常数。

在 SBS 过程,信号脉冲的增益谱 $g(\omega)$ 由 $g(\omega) = g_i(\omega) \otimes I(\omega)$ 给出^[11], $I(\omega)$ 是信号脉冲的功率谱, $g_i(\omega)$ 是 SBS 过程的固有增益谱,单模光纤中的 SBS 固有增益谱约为 35 MHz^[12]。对于宽带信号(GHz 带宽), $g_i(\omega)$ 的带宽可以忽略。因此, $g(\omega)$ 可以近似为 $g_0 \cdot \delta(\omega + \Omega_B)$, g_0 是峰值吸收系数。在此近似下,对于宽带信号有 $g(\omega) \approx g_0 \cdot I(\omega)$ 。因此,增益谱与信号脉冲的谱有同样的形状和宽度。

所以,在 SBS 光存储过程中,当控制脉冲的谱完全覆盖或者远大于数据脉冲的增益谱,并且控制脉冲的能量足够大时,数据脉冲的能量在“写”过程中能被全部抽空而且在“读”过程中能被完全读出,读出效率也能得到极大提高。

为了减少控制脉冲的能量,同时又能获得长的

存储时间,选取了具有高布里渊增益系数和长声子寿命的 As_2Se_3 光纤作为存储介质, As_2Se_3 光纤的具体参数参考了文献[9]中的数据。

在数值模拟中采用半高宽为 2 ns 的高斯型脉冲作为数据脉冲,控制脉冲是 1.5 ns 的高斯、啁啾高斯和矩形脉冲,通过傅里叶变换能够得到它们的频谱如图 1 和图 2 所示。从图 1 和图 2 中可以看到对于脉宽相等的脉冲,啁啾高斯的谱最宽,高斯型的最窄。1.5 ns 的控制脉冲的谱宽都大于 2 ns 的数据脉冲。为验证耦合波方程程序的正确性,参照文献[7]中的参数进行了模拟计算,所得结果与文献[7]中结果完全一致。

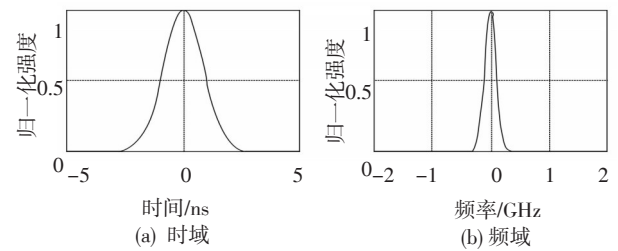


图1 半高宽为 2 ns 的高斯型数据脉冲及其频谱

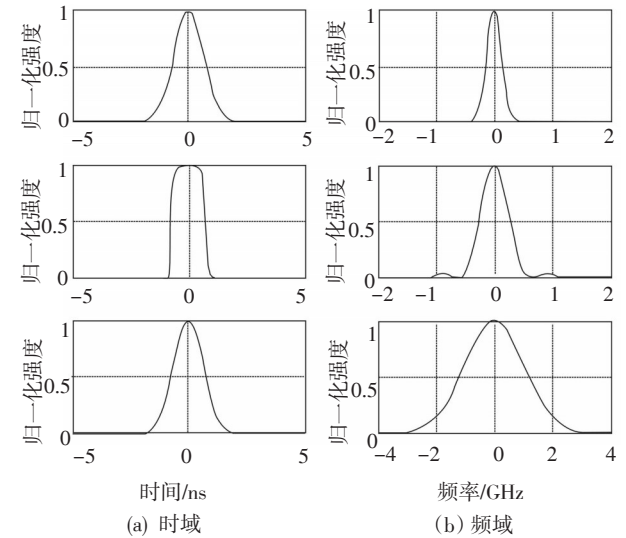


图2 半高宽为 1.5 ns 的高斯型、矩形和啁啾高斯型控制脉冲(从上到下)及其频谱

2 数值计算结果与讨论

2.1 控制脉冲的时间线型对存储的影响

研究了 3 种时间线型下的控制脉冲的光存储。3 种时间线型分别是高斯、矩形和啁啾高斯。数据脉冲都是 2 ns 的高斯型脉冲,3 种控制脉冲的半高宽都是 1.5 ns,存储时间分别为 5、9、13、17 和 21 ns,结果

如图3所示。

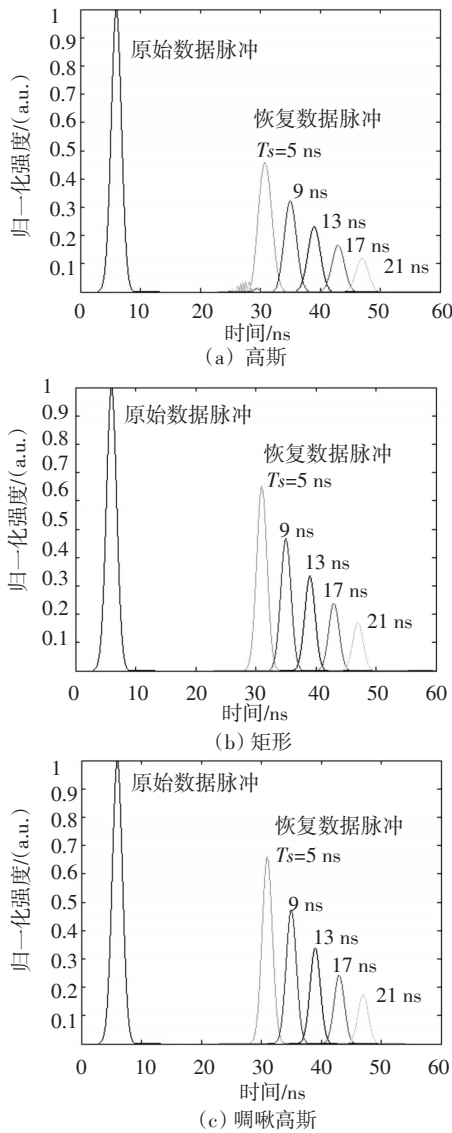


图3 控制脉冲分别为高斯、矩形和啁啾高斯时的光存储

当控制脉冲为高斯型时,数据脉冲出现了很明显的没有被完全抽空的现象,恢复后的数据也有明显的展宽。对于控制脉冲分别为啁啾高斯和矩形时,数据脉冲被完全抽空,而且也得到了较为理想的恢复。3种情况下的读出效率和脉宽如图4所示。当控制脉冲为高斯型时,恢复的数据脉冲的脉宽大于2 ns,其读出效率也小于其他2种脉冲;当控制脉冲为矩形和高斯型时,恢复数据脉冲的脉宽约为2 ns,说明数据脉冲几乎无展宽的恢复了,读出效率在2种情况下也是相等的如图4a所示。图4b中恢复数据的脉宽在存储时间是5 ns时出现了异常的展宽,这是由于未抽空的数据脉冲与恢复的数据脉冲发生间

扰,导致了脉宽的改变。

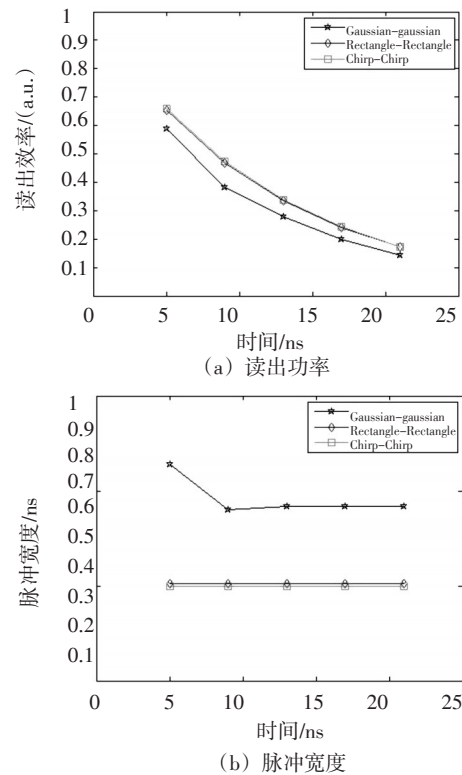


图4 在三种不同的控制脉冲条件下,读出效率和恢复的数据脉冲的脉冲宽度随存储时间的变化关系曲线

从存储原理中知道,写脉冲的作用是把数据脉冲能量抽空并以声波的形式存储在光纤中,而读脉冲的作用是把声波从光纤中恢复,读、写脉冲的作用完全不同。为了研究不同的读写脉冲对SBS光存储的影响,计算了不同时间线型组合的读、写脉冲对读出效率和恢复的数据脉冲脉宽的影响,如表1所示。数据脉冲同样是2 ns的高斯脉冲,控制脉冲的脉宽是1.5 ns。通过6种不同的控制脉冲组合的研究,读写脉冲在存储中不同的作用并不明显。例如从表1中可以看到读脉冲是高斯、写脉冲是矩形与读脉冲是矩形、写脉冲是高斯时存储结果没有太大差别。所以尽管从原理上读写脉冲的作用不同,但是模拟结果显示读、写脉冲时间线型的变化对存储结果并无影响。

综上所述,一方面,当控制脉冲中存在高斯型脉冲时,SBS光存储的读出效率较低,恢复的数据脉冲也存在着展宽。这是由于当时间线型上脉宽相同时,高斯型脉冲的谱是最窄的,控制脉冲的谱可以与数据脉冲的谱相比拟,所以原始的数据脉冲没有被写脉冲完全抽空或者是声波没有完全被读脉冲恢复。而对于

表1 控制脉冲为三种时间线型脉冲组合的光存储

存储时间 /ns	读出效率/(%)						恢复数据脉宽/ns						
	读脉冲	高斯	矩形	高斯	啁啾 高斯	啁啾 高斯	矩形	高斯	矩形	高斯	啁啾 高斯	啁啾 高斯	矩形
5	写脉冲	矩形	高斯	啁啾 高斯	高斯	矩形	啁啾 高斯	矩形	高斯	啁啾 高斯	高斯	矩形	啁啾 高斯
9	59.4	59.5	60.0	60.3	65.8	65.9	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.01	2.01
13	42.4	42.5	42.5	42.7	47.1	47.2	2.23	2.22	2.22	2.22	2.22	2.01	2.01
17	30.4	30.5	30.5	30.6	33.7	33.8	2.23	2.22	2.22	2.22	2.22	2.01	2.01
21	21.8	21.9	21.8	21.9	24.2	24.2	2.23	2.22	2.22	2.22	2.22	2.01	2.01
21	15.6	15.7	15.7	15.7	17.4	17.4	2.23	2.22	2.22	2.22	2.22	2.01	2.01

矩形脉冲和啁啾高斯型的控制脉冲,两者的谱都足够宽,原始数据脉冲在光纤中存储时可以得到充分抽空而转换为声波,在恢复时可以得到有效地恢复。读、写脉冲时间线型上的改变对存储结果没有影响。另一方面,读写脉冲的不同作用表现不明显。

2.2 控制脉冲的谱对存储的影响

由前面结论得知,在控制光的谱足够宽的情况下,存储结果不受控制脉冲时间线型的影响。这部分内容将讨论在时间线型不变情况下,谱的变化对存储结果的影响。数据脉冲仍然采用半高宽为2 ns的高斯脉冲,控制脉冲则采用不同脉宽的高斯型脉冲。根据傅里叶变换得知,脉冲频域上的谱宽与时间线型上的脉宽成反比例关系。

从图5中可以明显看出,随着控制脉冲的脉宽逐渐变宽,谱宽逐渐变窄,数据脉冲的读出效率逐渐减小。当控制脉冲的脉宽是0.5 ns的高斯型时,恢复的数据脉冲几乎没有展宽。控制脉冲为脉宽1.9 ns的高斯时,读出效率相比其他两种情况急剧的减小了,而且有很明显的原始数据脉冲未被抽空的现象。

读出效率和恢复的数据脉冲脉宽随控制脉冲脉宽的变化如图6所示。读出效率随着控制脉冲脉宽

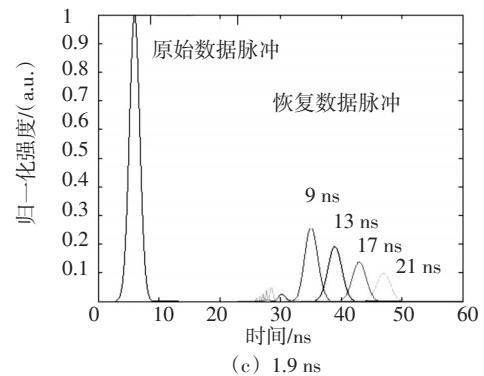
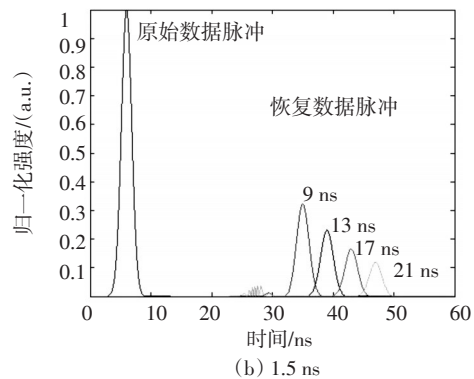
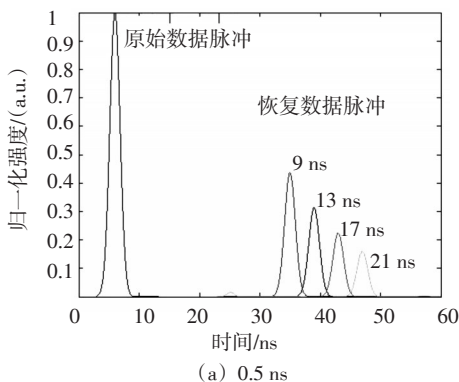


图5 控制脉冲分别是脉宽为0.5、1.5和1.9 ns的高斯型脉冲时的光存储图。

的增加(控制脉冲谱宽的变窄)而减小,当存储时间为21 ns时读出效率几乎相等,说明在存储时间较长时控制脉冲的谱对存储结果的影响成为较次要的因素。控制脉冲谱宽的变窄同样也导致了恢复的数据脉冲谱宽的展宽。在控制脉冲是半高宽为0.5 ns的高斯脉冲时,4个存储时间下的恢复脉冲脉宽为2.08 ns,几乎无畸变地恢复了原始数据脉冲。控制脉冲的脉宽增加,恢复的数据脉冲的脉宽也急剧增加,最宽时达2.65 ns。但从图中6可以明显看出存储时间为9 ns时,恢复的数据脉冲脉宽的展宽较小。

当控制脉冲为0.5 ns的高斯型时,得到了较好的存

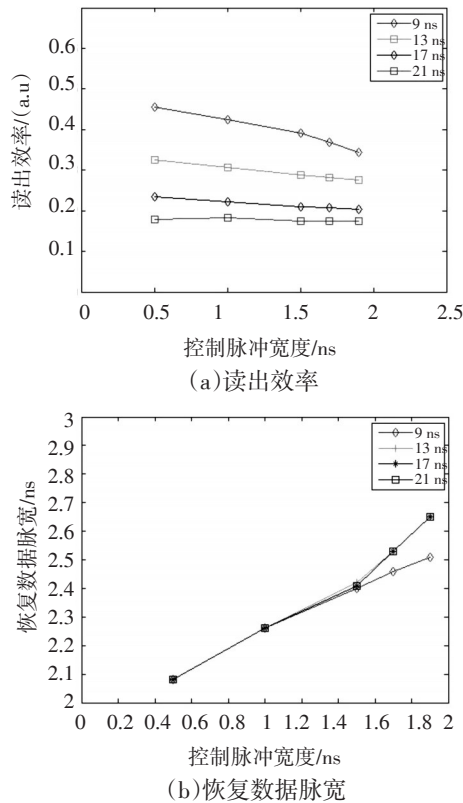


图6 读出效率和恢复数据脉宽随控制脉冲脉宽变化示意图

储结果。此时的数据脉冲与控制脉冲的时域和频域比较如图7所示。可以明显看到0.5 ns的高斯型脉冲的谱宽要远大于2 ns时的谱宽,约为它的4倍。对于2 ns的高斯数据脉冲,高斯型控制脉冲的谱宽要大于数据脉冲的谱宽的3倍时才能有效地恢复数据脉冲。

3 结论

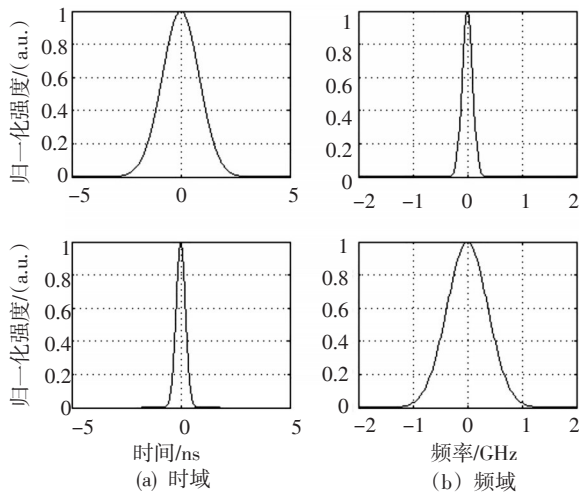


图7 半高宽为2 ns(上)和0.5 ns(下)的高斯脉冲的时域和频域图

当数据脉冲固定时,控制光的谱成为影响受激布里渊散射光存储的关键因素。3种脉宽相同而时间线型不同的控制脉冲,如高斯型、矩形和啁啾高斯型,在频域上,矩形和啁啾高斯的谱宽要远大于高斯型脉冲的谱宽,所以在读出效率和恢复的数据脉冲脉宽这两个判断受激布里渊散射光存储效果的因素上表现也不一样。当控制脉冲在时间线型上的脉宽与数据脉冲相比拟时,矩形和啁啾高斯的存储效果要远好于高斯型控制脉冲。当控制脉冲的谱都足够宽时,时间线型上无论是高斯、矩形或啁啾高斯,存储结果几乎一模一样,所以时间线型上的差别对存储效果并无影响。采用谱足够宽的高斯型控制脉冲也可以获得较理想的存储结果。控制光的选取对SBS光存储尤其关键,虽然3种时间线型的控制脉冲都能取得较好的存储效果,但是要求高斯型脉冲的脉宽非常窄,所以在存储过程中采用矩形和啁啾高斯型脉冲较为合适。

参考文献

- [1] J J Longdell, E Fraval, M J Sellars, et al. Stopped light with storage times greater than one second using electromagnetically induced transparency in a solid [J]. Physical Review Letters, 2005, 95:063610.
- [2] J E Sharping, Y Okawachi, A L Gaeta. Wide bandwidth slow light using a Raman fiber amplifier [J]. Optics Express. 2005,13:6092.
- [3] T Sakamoto, T Yamamoto, K Shiraki, T Kurashima. Low distortion slow light in flat Brillouin gain spectrum by using optical frequency comb [J]. Optics Express, 2008, 16:8026.
- [4] T Schneider. Time delay limits of stimulated-Brillouin-scattering-based slow light systems [J]. Optics Letters, 2008, 33: 1398
- [5] T Schneider, R Henker, K U Lauterbach ,et al. Distortion reduction in slow light systems based on stimulated Brillouin scattering [J]. Optics Express, 2008, 16:8280.
- [6] Thomas Schneider, Andrzej Wiatreck, Ronny Henker. Zero-broadening and pulse compression slow light in an optical fiber at high pulse delays [J]. Optics Express , 2008,16: 15617.
- [7] Zhaoming Zhu, Daniel J Gauthier, Robert W Boyd. Stored light in an optical fiber via Stimulated Brillouin Scattering [J]. Science, 2007, 318:1748.
- [8] V P Kalosha, Wenhai Li, Feng Wang, et al. Frequency-shifted light storage via stimulated Brillouin scattering in optical fibers [J]. Optics Letters, 2008, 33: 2848.

- [9] Zhiyao, Xiaojun Zhou, Rui Liang, et al. Numerical investigation on buffer performance based on acoustic excitation by stimulated Brillouin scattering in an As₂Se₃ fiber [J]. Optics Communications, 2009, 282:2746.
- [10] Zhaoming Zhu, Daniel J Gauthier, Robert W Boyd. Supporting online material for stored light in an optical fiber via Stimulated Brillouin Scattering. [J]. Science, 2007, 318: 1748.
- [11] Zhaoming Zhu, Andrew M C Dawes, Daniel J Gauthier. 12-GHz-bandwidth SBS slow light in optical fiber [C]// Optical Fiber Communication Conference. American, 2006: PDP1.
- [12] Miguel Gonzalez Herraiez, Kwang Yong Song, Luc Thevenaz. Arbitrary-band Brillouin slow light in optical fibers. [J]. Optics Express, 2006, 14:1395.

(上接第24页)

的条件下,铝板的辐射温度为140℃,而使用热管导热散热时铝板的辐射温度仅为65℃,很好地表明了热管导热散热的作用。

4 结束语

文中分析了热管导热机理,通过热管温控装置的设计、搭建,设计了对铝板加热而使用热管导热散热的模拟实验,很好地表明了热管导热散热的作用,而不同工作性质的热管技术在红外抑制方面的应用尚需进一步的研究。

参考文献

- [1] 张建奇,方小平.红外物理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.

(上接第27页)

4 结论

通过算法软件仿真结果(如图1所示)与硬件实现效果(如图4所示)比对,可以发现:仿真阶段采集到的红外图像经过文献[1]所提到的改进算法出来后,再加入灰度值取反的操作,使得图像在观察上更接近于人眼的明视觉,在软件上很好地对单幅红外图像实现了图像增强。图4是将改方法应用于实时硬件系统,接监视器输出,图像模糊出现的可能性较小,图像较之原图像,轮廓得到加强,更易于识别图像目标。硬件实时系统验证了锐化算法的有效性。

参考文献

- [1] 吴宗凡.红外热像仪的原理和技术发展[J].光学及光电仪器,1997:28-30.
- [2] 李星.红外热图像实时处理器的研究与设计[D].南京:南京理工大学,2002.
- [3] 郭婧,黄家才.一种组合边缘检测算法实现红外图像增强

- [2] 杨辉,谢卫,张栓勤,等.红外抑制新方法探讨[J].光电技术应用,2010,25(3):6-9.
- [3] 康建英.热管技术简介[J].中国特种设备安全,2006,22(9):65.
- [4] 魏新宇.热管技术的应用展望[J].甘肃冶金,2006,28,(3):98-102.
- [5] 莫才颂,李权.热管传热及散热分析[J].茂名学院学报,2006,16(3):31-34.
- [6] M N伊凡诺夫斯基, V P索罗金, I V雅戈德金.热管的物理原理[M].潘永密,顾金初,华永利.北京:中国石化出版社,1991.
- [7] 黄问盈.热管与热管换热器设计基础[M].北京:中国铁道出版社,1996.
- [8] 庄骏,张红.热管技术及其工程应用[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [9] 李时娟,杨彬.新型平板热管传热性能的实验研究[C]//第十一届全国热管会议论文集,2008:288-292.

[J].红外技术,2010,32(3):133-136.

- [4] 赵春江,施文康,邓勇.新的梯度边缘检测方法[J].光电工程,2005,32(4):86-88.
- [5] 余锦华,范宏波,郑智捷.红外视频图像实时二维增强算法与实现[J].红外技术,2005,27(3):227-230.
- [6] 王坤.MATLAB在对图像进行边缘检测方面的作用[J].沈阳师范大学学报(自然科学版),2005,23(2):161-165.
- [7] 毕军,张长江.红外图像边缘检测的循环移位算法[J].光电工程,2005,32(5):27-30.
- [8] 王娜,李霞.一种新的改进Candy边缘检测算法[J].深圳大学学报(理工版),2005,22(2):149-152.
- [9] 张军,李含善.可编程视频信号输入处理器SAA7111[J].国外电子元器件,2002(8):39-42.
- [10] 吴豫,孟宪元. Flash 编程器的FPGA实现[J].半导体技术,2003,28(5):48-51.
- [11] 徐大诚.C51编程在I2C总线接口通信中的应用[J].计算机应用,2002(9):80-82.
- [12] 潘松,黄继业.EDA技术实用教程[M].3版.北京:科学出版社,2009.