



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109633670 A
(43)申请公布日 2019.04.16

(21)申请号 201811249086.6

(22)申请日 2018.10.25

(71)申请人 上海无线电设备研究所
地址 200090 上海市杨浦区黎平路203号

(72)发明人 王永志 杨德钊 张明祎 都金丹
王艳平 戴雯

(74)专利代理机构 上海元好知识产权代理有限公司 31323
代理人 徐雯琼 张妍

(51) Int. Cl.
G01S 17/10(2006.01)
G01S 7/486(2006.01)
G01S 7/497(2006.01)

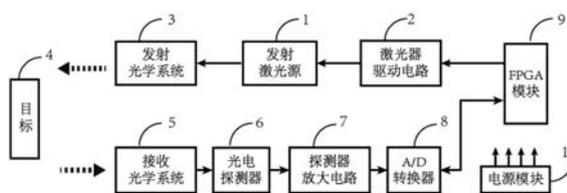
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法

(57)摘要

本发明公开一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,包括:光源采用脉冲激光器,驱动电路驱动激光器发射窄脉宽激光脉冲,经发射光学系统整形后以一定束散角出射。目标回波信号经接收光学系统会聚到光电探测器光敏面上实现光电转换。电信号经预处理后转换为数字信号。利用FPGA移相时钟对回波进行高速采样,测量反射回波的延时与接收信号宽度。根据实际测量的接收信号宽度与延时补偿量的关系曲线,制成数据表格。测距机根据FPGA测得的前沿时刻与接收信号宽度,采用查表方式得到时刻鉴别误差,对测距结果进行校正。本发明可实现较高的测距精度,在激光测距相关领域有较好的应用前景。



1. 一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,该激光脉冲测距方法包含以下步骤:

S1、FPGA模块对回波脉冲信号进行高速采样,测量反射回波的延时与接收信号宽度;

S2、实际测量接收信号宽度与时刻鉴别误差的数据值,拟合两者之间的函数关系曲线,制成数据表格;

S3、测距机根据FPGA模块测得的延时测量值与接收信号宽度,通过查询已制成的数据表格,得到相应的时刻鉴别误差,以实现测距结果进行校正。

2. 如权利要求1所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述步骤S2中,进一步包含:

S21、实际测量过程通过改变目标距离与反射率,测量得到多组接收信号宽度与时刻鉴别误差的数据值,并根据该测量的多组数据拟合函数曲线;

S22、根据拟合的函数曲线,横坐标以FPGA模块的最小采样时间为间隔,制作生成接收信号宽度与时刻鉴别误差之间的数据表格。

3. 如权利要求2所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述步骤S21中,进一步包含:

通过改变目标距离与反射率,对20ns~220ns接收信号宽度范围内的时刻鉴别误差进行离散采样测量;其中,目标板采用反射率为0.3或0.9两种标准目标板,以得到大的回波强度变化范围。

4. 如权利要求2或3所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述步骤S21中,进一步包含:

时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 与接收信号宽度 ΔT 拟合的函数关系式为:

$$\Delta\tau = f'(\Delta T) = A + B \times \exp\left(-\frac{\Delta T}{k}\right) \quad (1)$$

其中,A=59.365,B=96.280,k=42.761,则时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 与接收信号宽度 ΔT 之间近似呈e指数关系。

5. 如权利要求1或2或3所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述接收信号宽度是通过示波器进行监测输出。

6. 如权利要求4所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述步骤S3中,进一步包含:

当FPGA模块通过查表得到时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 后,采用飞行时间测量法计算得到目标距离L;其中,飞行时间测量法中,目标距离L的计算公式为:

$$L = \frac{1}{2} c \times \Delta t \quad (2)$$

式中, c 为真空中的光速, Δt 为飞行时间;飞行时间 Δt 等于延时测量值 $\Delta t'$ 与时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 之和。

7. 如权利要求1或2或3或6所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,其特征在于,

所述FPGA模块采用采样频率为200MHz的FPGA芯片,所述FPGA模块9利用90°时钟移相方法实现4倍频等效采样时钟,倍频后得到1.25ns的时间测量精度。

8. 一种采用如权利要求1-7任意一项所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法的脉冲激光测距机,其特征在于,该脉冲激光测距机包含:

发射激光光源(1),其由激光器驱动电路(2)驱动发光;

发射光学系统(3),其将所述发射激光光源(1)发出的出射光整形后以一定束散角出射,照射到被测目标(4);

接收光学系统(5),其接收经由所述被测目标(4)反射的光信号;

光电探测器(6),其将所述接收光学系统(5)向其发送的光信号转换成电信号;

探测器放大电路(7),其将所述光电探测器(6)转换出的电信号进行放大;

A/D转换器(8),其将所述探测器放大电路(7)发送的放大后的电信号转换成数字信号;

FPGA模块(9),其接收所述A/D转换器(8)发送的数字信号并进行采样处理,测量反射回波的延时与接收信号宽度。

9. 如权利要求8所述的脉冲激光测距机,其特征在于,

所述脉冲激光测距机通过电源模块(10)对各单元进行供电。

10. 如权利要求8或9所述的脉冲激光测距机,其特征在于,

所述发射激光光源(1)发射峰值功率为75W,脉宽约为55ns,波长为905nm;

所述光电探测器(6)采用硅基光电二极管(Si-PIN)。

一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光雷达技术领域,具体涉及一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法。

背景技术

[0002] 目前激光测距方法主要是相位法和脉冲法。相位法测距虽然精度高,但是不能实现长距离的测量。而脉冲法测距具有探测距离远、对光源相干性要求低等优点,它利用激光脉冲持续时间极短,能量在时间上相对集中,瞬时功率很大的特点,在平均光功率相同的条件下,能够实现有限精度的长距离测量。因而被广泛地应用于建筑工程、工业、航空航天、军事、大地大气探测和机器人技术等领域。不同的应用领域对测量范围与精度有不同的要求。因此,提高激光脉冲测距的精度就显得十分必要。

[0003] 脉冲激光测距技术是通过使用具有低发散性的激光脉冲光束来对较远距离目标进行非接角式测量的测距技术。通过测量激光脉冲的飞行时间(TOF)可获得目标的距离信息。TOF方法的原理是通过测量激光脉冲在激光源与目标面间之间往返飞行的时间 Δt 得到目标距离。根据该定义,目标距离L的计算公式为:

$$[0004] \quad L = \frac{1}{2}c \times \Delta t \quad (1)$$

[0005] 式中,c为真空中的光速。

[0006] 在TOF脉冲激光测距技术中,测距误差主要有两类:系统误差和随机误差。其中系统误差主要包括计时误差、时刻鉴别误差以及大气折射率误差;随机误差主要是噪声引起的误差。其中,回波强度变化引入的时刻鉴别误差是脉冲激光测距中主要的误差来源之一。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,针对时刻鉴别误差的补偿,提高了测距精度,用较低的成本实现较高的测距精度,提高激光脉冲测距精度,该方法实现简单,可用于实现抗干扰性强、成本低脉冲激光测距场景。

[0008] 为了达到上述目的,本发明公开了一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,该激光脉冲测距方法包含以下步骤:

[0009] S1、FPGA模块对回波脉冲信号进行高速采样,测量反射回波的延时与接收信号宽度;

[0010] S2、实际测量接收信号宽度与时刻鉴别误差的数据值,拟合两者之间的函数关系曲线,制成数据表格;

[0011] S3、测距机根据FPGA模块测得的延时测量值与接收信号宽度,通过查询已制成的数据表格,得到相应的时刻鉴别误差,以实现测距结果进行校正。

[0012] 优选地,所述步骤S2中,进一步包含:S21、实际测量过程通过改变目标距离与反射率,测量得到多组接收信号宽度与时刻鉴别误差的数据值,并根据该测量的多组数据拟合

函数曲线;S22、根据拟合的函数曲线,横坐标以FPGA模块的最小采样时间为间隔,制作生成接收信号宽度与时刻鉴别误差之间的数据表格。

[0013] 优选地,所述步骤S21中,进一步包含:通过改变目标距离与反射率,对20ns~220ns接收信号宽度范围内的时刻鉴别误差进行离散采样测量;其中,目标板采用反射率为0.3或0.9两种标准目标板,以得到大的回波强度变化范围。

[0014] 优选地,所述步骤S21中,进一步包含:时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 与接收信号宽度 ΔT 拟合的函数关系式为:

$$[0015] \quad \Delta\tau = f'(\Delta T) = A + B \times \exp\left(-\frac{\Delta T}{k}\right) \quad (1)$$

[0016] 其中, $A=59.365$, $B=96.280$, $k=42.761$,则时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 与接收信号宽度 ΔT 之间近似呈e指数关系。

[0017] 优选地,所述接收信号宽度是通过示波器进行监测输出。

[0018] 优选地,所述步骤S3中,进一步包含:

[0019] 当FPGA模块通过查表得到时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 后,采用飞行时间测量法计算得到目标距离值L;其中,飞行时间测量法中,目标距离L的计算公式为:

$$[0020] \quad L = \frac{1}{2}c \times \Delta t \quad (2)$$

[0021] 式中,c为真空中的光速, Δt 为飞行时间;飞行时间 Δt 等于延时测量值 $\Delta t'$ 与时刻鉴别误差 $\Delta\tau$ 之和。

[0022] 优选地,所述FPGA模块采用采样频率为200MHz的FPGA芯片,所述FPGA模块9利用90°时钟移相方法实现4倍频等效采样时钟,倍频后得到1.25ns的时间测量精度。

[0023] 本发明还提供了一种采用如上文所述的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法的脉冲激光测距机,该脉冲激光测距机包含:

[0024] 发射激光光源,其由激光器驱动电路驱动发光;

[0025] 发射光学系统,其将所述发射激光光源发出的出射光整形后以一定束散角出射,照射到被测目标;

[0026] 接收光学系统,其接收经由所述被测目标反射的光信号;

[0027] 光电探测器,其将所述接收光学系统向其发送的光信号转换成电信号;

[0028] 探测器放大电路,其将所述光电探测器转换出的电信号进行放大;

[0029] A/D转换器,其将所述探测器放大电路发送的放大后的电信号转换成数字信号;

[0030] FPGA模块,其接收所述A/D转换器发送的数字信号并进行采样处理,测量反射回波的延时与接收信号宽度。

[0031] 优选地,所述脉冲激光测距机通过电源模块对各单元进行供电。

[0032] 优选地,所述发射激光光源发射峰值功率为75W,脉宽约为55ns,波长为905nm;所述光电探测器采用硅基光电二极管。

[0033] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:本发明的激光脉冲测距方法的测距精度范围内,随机误差与大气折射率误差可以忽略;本发明通过测量回波比较电平的宽度,用以补偿激光脉冲测距技术中的系统误差,可以以较低的成本实现较高的测距精度,该技术实

现简单,可用于实现抗干扰性强、成本低脉冲激光测距场景。

附图说明

[0034] 图1本发明的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法工作原理图;

[0035] 图2本发明的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法固定阈值前沿时刻鉴别方法误差产生原理示意图;

[0036] 图3本发明的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法采样测量数据及拟合曲线;

[0037] 图4本发明的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法加入误差补偿算法后的残余误差分布;

[0038] 图5本发明的利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法探测器输出激光脉冲波形。

具体实施方式

[0039] 本发明提供了一种利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法,为了使本发明更加明显易懂,以下结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0040] 本实施中搭建了基于FPGA的脉冲激光测距样机,如图1所示,该脉冲激光测距样机包含:发射激光光源1、激光器驱动电路2、发射光学系统3、接收光学系统5、光电探测器6、探测器放大电路7、A/D转换器(模数转换器)8和FPGA模块9。

[0041] 发射激光光源1由激光器驱动电路2驱动发光,出射光经由发射光学系统3整形后以一定束散角出射,照射到被测目标4,经被测目标4反射的回光信号由接收光学系统5接收,接收到的光信号由光电探测器6接收并转换为电信号,光电转换器6转换出的电信号经探测器放大电路7放大后,经A/D转换器8由FPGA模块9进行采样处理。

[0042] 本发明通过电源模块10负责对以上各单元进行供电。

[0043] 其中,发射激光光源1发射峰值功率为75W,脉宽约为55ns,波长为905nm。本发明采用硅基光电二极管(Si-PIN)作为光电探测器6。

[0044] FPGA模块9对回波脉冲信号进行高速采样,测量信号的延时与脉宽。

[0045] 接收信号宽度 ΔT 等于超过阈值部分的脉冲宽度。FPGA模块9利用 90° 时钟移相方法实现4倍频等效采样时钟。优选地,FPGA模块9采用采样频率为200MHz的FPGA芯片,倍频后可以得到1.25ns的时间测量精度。

[0046] 图2所示为本发明利用接收信号宽度修正测量误差的激光脉冲测距方法固定阈值前沿时刻鉴别方法误差产生原理示意图。

[0047] 本发明的激光脉冲测距方法包含以下过程:

[0048] S1、FPGA模块对回波脉冲信号进行高速采样,测量反射回波的延时与接收信号宽度;

[0049] S2、根据实际测量的接收信号宽度 ΔT (如图2所示的数字标记12)与延时补偿量(即时刻鉴别误差 $\Delta \tau$)的关系曲线,制成数据表格。

[0050] S3、测距机根据FPGA模块测得的延时测量值 $\Delta t'$ (如图2所示的数字标记14)与接收信号宽度 ΔT (如图2所示的数字标记12),采用查表方式(即步骤S2中制作的表格)得到时

刻鉴别误差,对测距结果进行校正。

[0051] 所述步骤S2中,本发明的接收信号宽度 ΔT 与时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ (如图2所示的数字标记15) 的函数关系是实际测量数据经函数拟合后得到的经验关系式。在实际测量过程,利用示波器监测输出接收信号宽度,通过改变目标距离与反射率,测量得到多组 $(\Delta T, \Delta \tau)$ 数据,然后根据测量数据拟合函数曲线。根据得到的拟合函数,横坐标以FPGA模块的最小采样时间为间隔,制作生成 $(\Delta T, \Delta \tau)$ 的数据表格。

[0052] 具体地,为了得到时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 与接收信号宽度 ΔT 的近似函数关系 $f'(\Delta T)$, 实验中,通过改变目标距离与反射率,对20ns~220ns接收信号宽度范围内的时刻鉴别误差进行了离散采样测量,测量结果如图3所示。

[0053] 在实验中,为了得到大的回波强度变化范围,采用了反射率为0.3(实心点)和0.9(空心点)两种标准目标板。其中采用反射率为0.3的目标时,测距样机可以在0.5m~15m范围内实现有效信号探测。

[0054] 通过对实验数据进行曲线拟合17,如图3所示,得到了时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 与接收信号宽度 ΔT 近似的解析函数关系式:

$$[0055] \quad \Delta \tau = f'(\Delta T) = A + B \times \exp\left(-\frac{\Delta T}{k}\right) \quad (2)$$

[0056] 其中, $A=59.365$, $B=96.280$, $k=42.761$; 由此可以看出,时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 与接收信号宽度 ΔT 之间近似呈e指数关系。

[0057] 本发明的测距样机FPGA模块的计时精度为1.25ns,为简化降低计算复杂度,根据公式(2)并以1.25ns为接收信号宽度 ΔT 单位间隔制作时刻鉴别误差值表。

[0058] 本发明的测距机可根据FPGA模块9测得的延时测量值 $\Delta t'$ 与接收信号宽度 ΔT ,再采用查表方式得到时刻鉴别误差 $\Delta \tau$,对测距结果进行校正,得到最终测量结果。

[0059] 当FPGA模块通过测量得到的接收信号宽度 ΔT 查表得到时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 后,计算得到目标距离值L。其中,本发明采用飞行时间测量法实现距离测量,飞行时间 Δt (如图2中的数字标记11) 等于延时测量值 $\Delta t'$ 与时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 之和,从而可计算目标距离值。

[0060] 如图4所示,考查采用以上补偿算法后的残余误差 $\Delta \tau'$ (如图4所示的数字标记18),实验中接收信号宽度 ΔT 在(20~220) ns范围内选取若干采样点进行测量,得到补偿后测量延迟与真实值之间的误差。

[0061] 通过分析以上采样点误差分布可以看出:接收信号宽度 ΔT 在(40~220) ns范围,残余误差 $\Delta \tau'$ 在 ± 2 ns以内,即测距误差小于0.3m;当接收信号宽度 $\Delta T < 40$ ns,即回波信号强度接近设定的阈值电压(如图2所示的数字标记13)时,残余误差较大。这是由回光太弱,测距机中接收信号宽度抖动误差较大导致的。

[0062] 补偿时刻鉴别误差后,系统的残余误差主要来源于两个方面:一是FPGA模块采样时钟频率有限引起的计时误差(计时精度1.25ns),它会引起包括时刻鉴别误差 $\Delta \tau$ 与接收信号宽度 ΔT 在内的测量误差;二是发射脉冲形状不规则引入的补偿误差,发射脉冲波形如图5所示,可以看出发射脉冲波形中包含较多高频成分,这导致误差拟合曲线与实际误差量难以实现高度符合。

[0063] 综上分析,本发明为进一步提高误差补偿精度,采取以下两种措施:一是适当提高FPGA模块的采样时钟频率,以提高时刻测量精度;二是在探测器输出信号后增加低通滤波

器,滤除信号中的高频成份,使输出信号波形平滑,降低回光强度起伏引起的接收信号宽度的高频抖动。

[0064] 尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍,但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述内容后,对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此,本发明的保护范围应由所附的权利要求来限定。

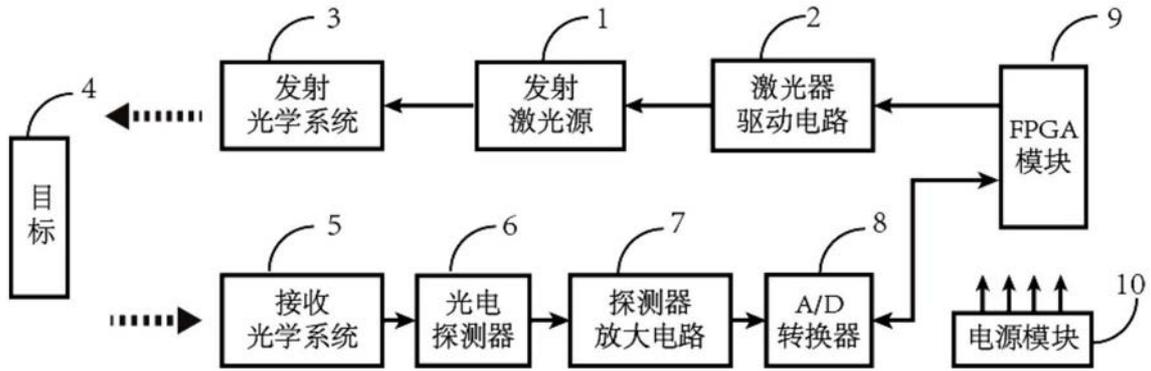


图1

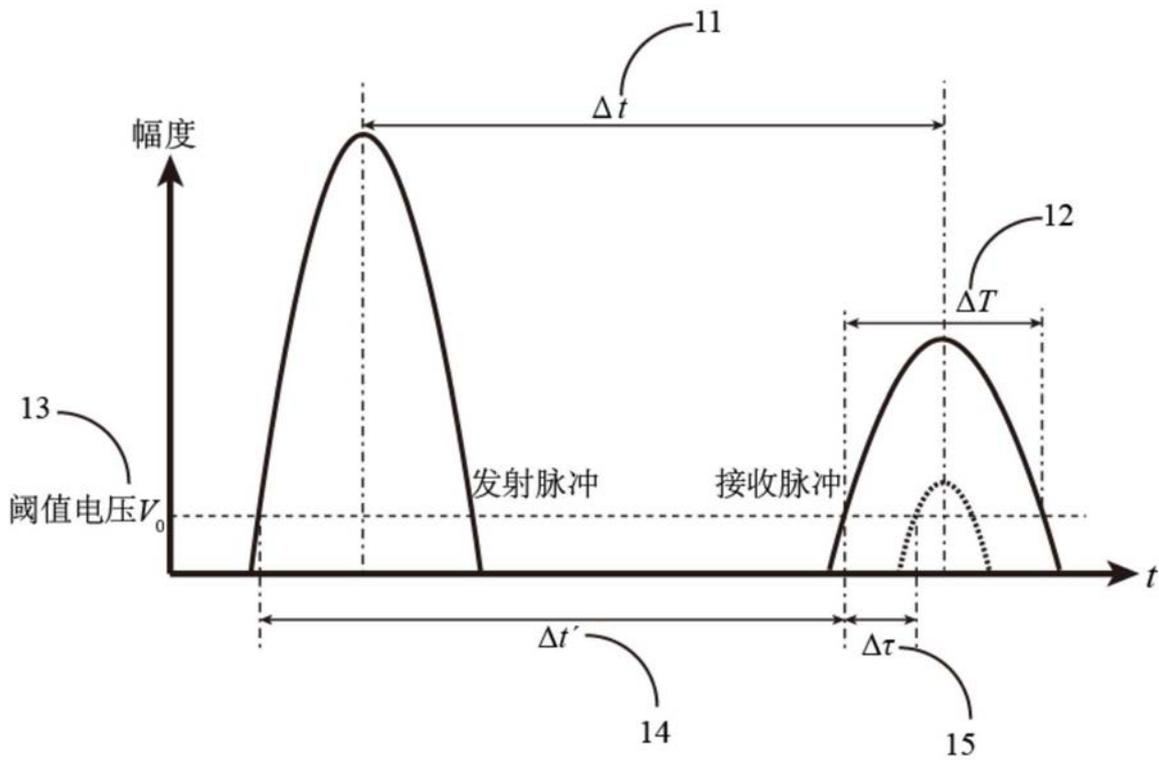


图2

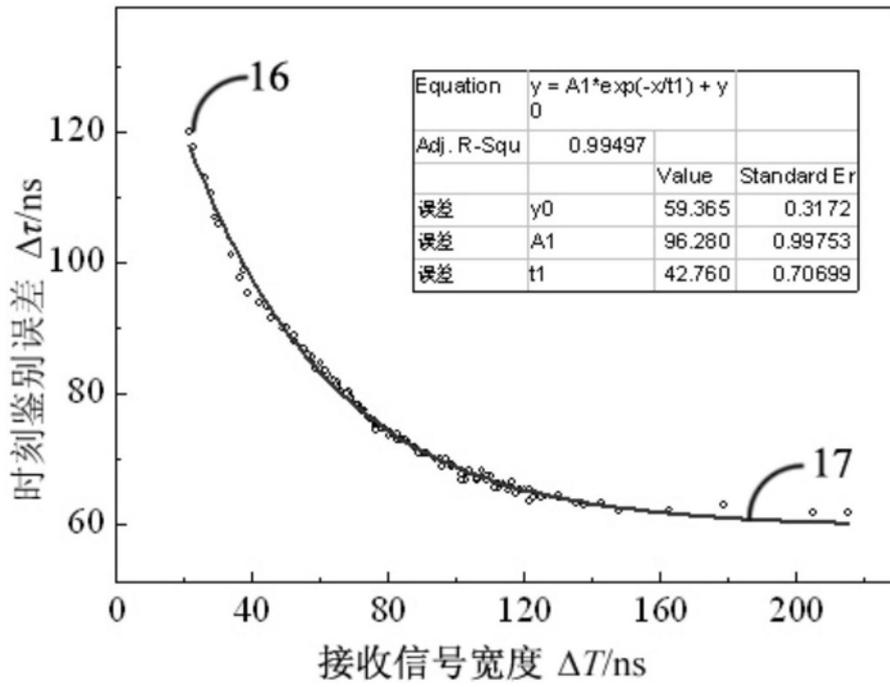


图3

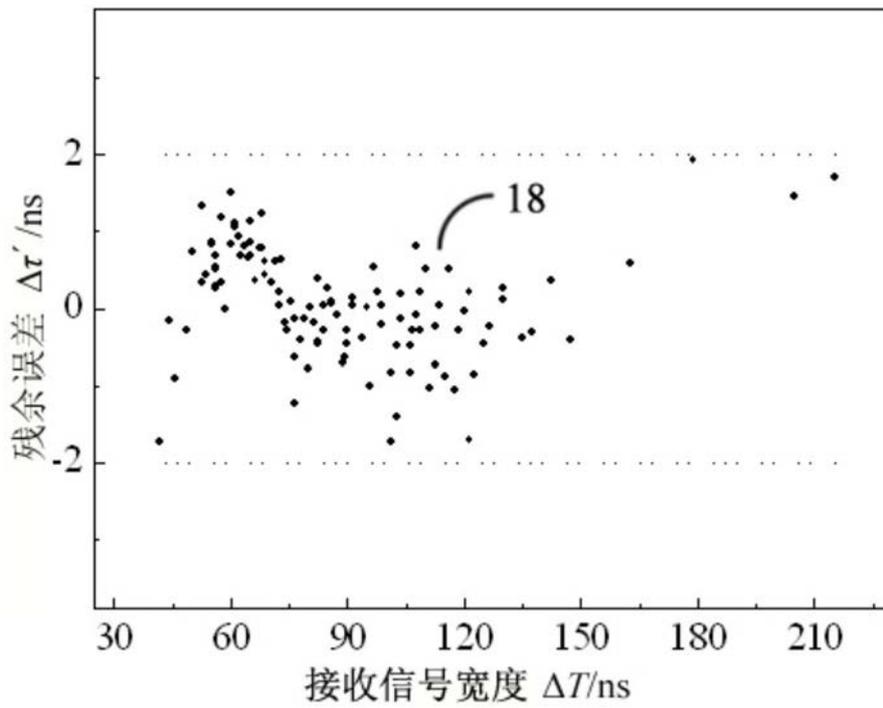


图4

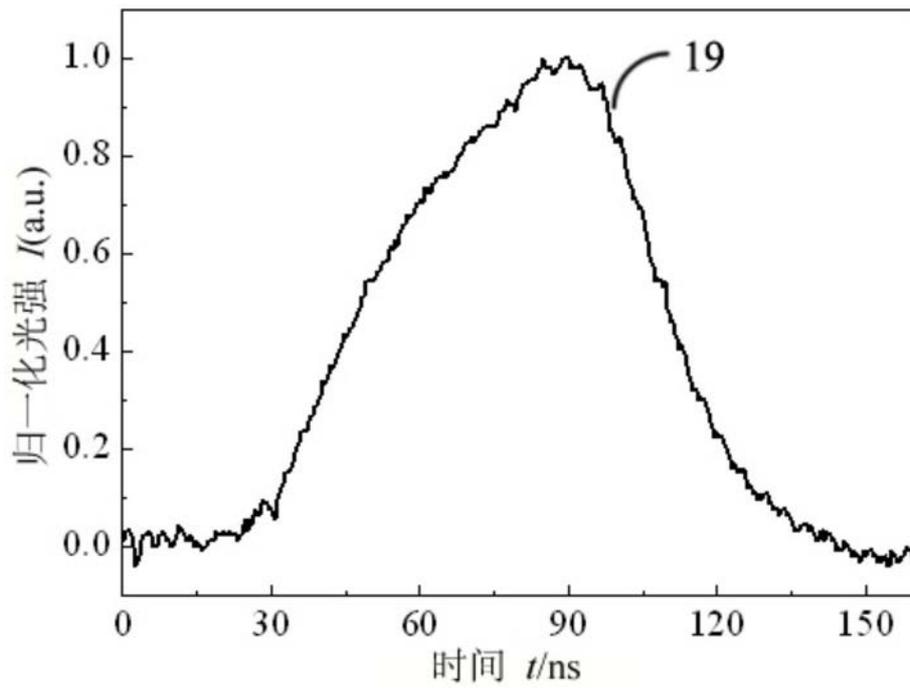


图5