

GD5551 型

64×64 InGaAs 盖革雪崩焦平面相机

产品使用说明书

中电科技集团重庆声光电有限公司

二〇二〇年六月

目 录

特别声明:	II
修订记录:	3
1 特点及用途	1
2 相机工作原理	1
3 光电特性	2
3.1 光学接口	2
3.2 电学接口	3
3.3 相机参数	3
3.4 采集软件功能 ^①	5
4 典型特性曲线	5
5 相机外形尺寸与接口	6
5.1 相机外形尺寸	6
5.2 光敏面尺寸	7
5.3 引出端排列	8
6 相机应用连接	8
7 软件安装及操作说明	9
7.1 软件开发的主要特点.....	9
7.2 软件主要用途	9
7.3 软件安装操作说明.....	9
8 故障分析与排除	16
9 使用方法与注意事项	17
10 运输与储存	17
11 开箱检查	17
12 附录.....	19

特别声明：

- ☐ 本说明书旨在详尽描述64×64 InGaAs 盖革雪崩焦平面相机的主要特征、性能和使用规范；
- ☐ 在使用该产品之前，请仔细阅读本说明书，以确保产品的有效使用和质量安全；
- ☐ 若对本说明书所提供的相关信息有任何不明或质疑之处，请及时与我们联系；
- ☐ 在使用过程中，若您对该产品有任何意见或建议，敬请与我们联系；
- ☐ 未经许可，不得以任何方式对本说明书的相关文字、图表进行摘录、复制与撰改；
- ☐ 本说明书提供的信息仅作为该器件产品的详情参考，我们保留后期在未通知用户的情况下对产品信息作相应更改的权利。

注意事项：

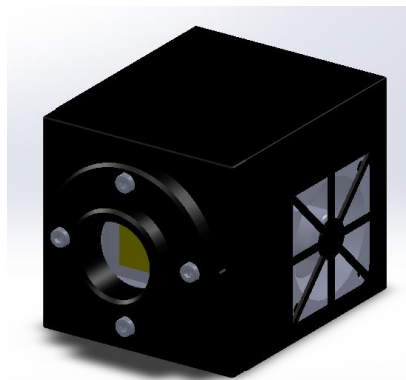
- ☐ 64×64 InGaAs 盖革雪崩焦平面相机为静电放电敏感产品，在贮存、使用过程中，必须采取适当的静电防护措施。

修订记录:

版本号	修订日期	修订说明
V. 1. 0	2017-11	第一版
V. 2. 0	2019-11	第二版
V. 2. 2	2019-11	第二版更改
V. 3. 0	2019-12	第三版
V. 4. 0	2020-06	第四版 更改组件外形、温控方式等
V. 5. 0	2020-07	第五版 增加了 InGaAsP 版本相机

1 特点及用途

InGaAs 盖革雪崩焦平面相机采用激光脉冲飞行时间测量 (TOF) 方式获取目标的三维距离信息, 可应用于激光制导、障碍规避、三维地形测绘等领域。InGaAs 盖革雪崩焦平面探测灵敏度可以达到单光子量级, 可在一定概率下探测到单光子信号; 探测器在像元内完成了激光脉冲飞行时间的数字量化, 从而避免了复杂模拟链路传输所



引入的信号衰减, 信号处理过程简单, 噪声影响极小; 同时, 利用单次激光脉冲即可实时构成一帧目标的完整三维图像, 具有所需激光功率低、无需扫描结构、图像不失真等特点; 系统结构简单、体积小、重量轻、功耗低。

2 相机工作原理

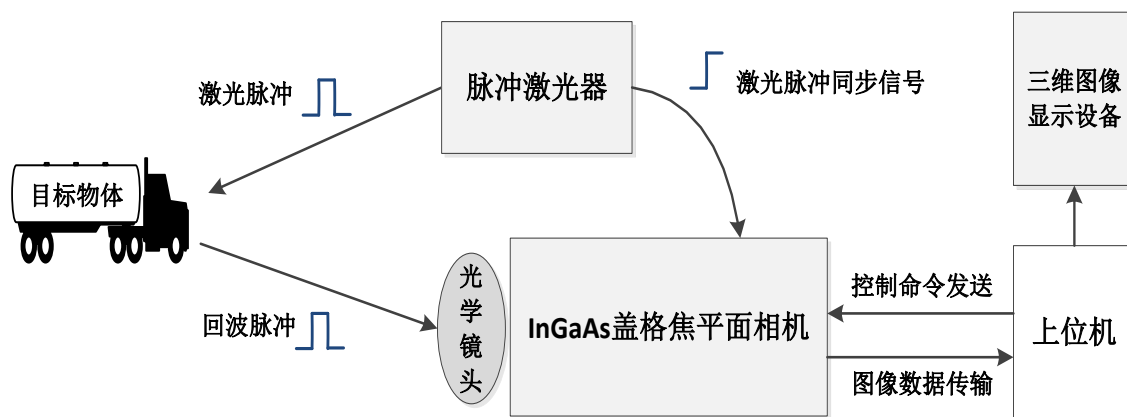


图 2-1 相机典型应用示意图

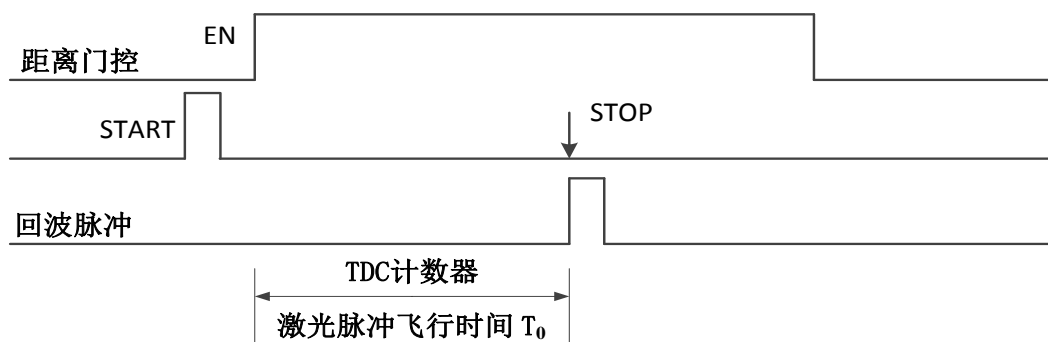


图 2-2 GM-APD 焦平面像元中高频时钟计数器 TDC 工作原理示意图

如图 2-1、2-2 所示,实际工作中脉冲激光器发射一个激光脉冲的同时向 InGaAs 盖格焦平面相机发送一个同步信号,相机同步产生一个 START 计时开始脉冲信号;START 信号经过固定延时后产生距离门控信号 EN 给 ROIC 作为每个像元中高频时钟计数器 TDC 的起始信号;当激光脉冲回波信号返回到达相机感光靶面时,感光像元将产生盖革雪崩信号,ROIC 中阈值鉴别电路检测到雪崩信号后产生一个 CMOS 兼容的电压脉冲 STOP,该脉冲 STOP 停止像元的高频时钟计数器 TDC,而后在 EN 信号结束后串行输出各像元的 TDC 计数值。

TDC 为一个 12 bit 的计数器,取值范围为 0~4094。

激光脉冲飞行时间 $T_0 = \text{TDC} \times T_{\text{bin}}$,其中 T_{bin} 为高频计数器的时间分辨率(见表 3-1)。

由于光速 c 为常数 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 可以得到激光脉冲的飞行距离 D_f :

$$D_f = \text{TDC} \times T_{\text{bin}} \times c$$

进一步可以得到被探测目标的距离 D_T :

$$D_T = D_f \div 2 = \text{TDC} \times T_{\text{bin}} \times c \div 2$$

所以,在完成一次激光回波检测,并全部读出每个像元的 TDC 计数器值后,就可以获得一帧完整的目标三维图像。

3 光电特性

3.1 光学接口

- 光学接口: C-Mount

3.2 电学接口

- 电源输入：+12V
- 数据输出：CameraLink
- 控制命令接口：串口
- 电源输入接口类型：电源线直接引出
- 数据输出接口类型：SDR-26（含串口通信）
- 外触发接口类型：SMA

3.3 相机参数

表 3-1 InGaAs 相机主要参数

特征参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
相机规格与配置参数						
传感器阵列规模			64×64			
感光靶面尺寸			3.2×3.2			mm
像元中心距	D			50		μm
工作波长	λ		950		1650	μm
时间分辨率	T _{bin}		1.0			ns
门控时间范围	T _{gate}		25×T _{bin}		4094×T _{bin}	ns
串口波特率	Baud			115200		Baud/s
帧频	F _R				25	KHz
功耗	PC	F _R = 25 KHz			24	W
输入电压	V _{IN}		10	12	13	V
输入电流	I _{IN}	V _{IN} = 12 V			2	A
工作环境温度	T _{OP}		-20		40	℃
重量	W _t			720		g
相机尺寸			65×65×77.5(不含法兰盘)			mm

特征参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
光电性能参数						
光填充因子	FF				60	%
有效像元率	N_{OP}	像元 PDE 与 DCR 分别在 4σ 范围内	95	98		%
单光子探测率	PDE	$T = -20^{\circ}\text{C}$, $V_{ex}=3\text{V}$, $\lambda = 1550\text{nm}$		20		%
	σ_{PDE}	$T = -20^{\circ}\text{C}$, $V_{ex}=3\text{V}$, $\lambda = 1550\text{nm}$		6	8	%
暗计数率	DCR	$T = -20^{\circ}\text{C}$, PDE = 20%		15	30	KHz
	σ_{DCR}	$T = -20^{\circ}\text{C}$, PDE = 20%		6	12	KHz
时间抖动	T_J	$T = -20^{\circ}\text{C}$, PDE = 20%		500	800	ps
累积串扰概率	$P_{(tot)}$	$T = -20^{\circ}\text{C}$, PDE = 20%		20		%

表 3-2 InGaAsP 相机主要参数

特征参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
相机规格与配置参数						
传感器阵列规模			64×64			
感光靶面尺寸			3.2×3.2			mm
像元中心距	D			50		μm
工作波长	λ		980		1150	μm
时间分辨率	T_{bin}		1.0			ns
门控时间范围	T_{gate}		$25 \times T_{bin}$		$4094 \times T_{bin}$	ns
串口波特率	Baud			115200		Baud/s
帧频	F_R				25	KHz
功耗	PC	$F_R = 25\text{ KHz}$			24	W
输入电压	V_{IN}		10	12	13	V
输入电流	I_{IN}	$V_{IN} = 12\text{ V}$			2	A

特征参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
工作环境温度	T _{0P}		-20		40	℃
重量	W _t			720		g
相机尺寸			65×65×77.5(不含法兰盘)			mm
光电性能参数						
光填充因子	FF				60	%
有效像元率	N _{0P}	像元 PDE 与 DCR 分别在 4 σ 范围内	95	98		%
单光子探测率	PDE	T= -20℃， V _{ex} =3V ，λ =1064nm		25		%
	σ _{PDE}	T= -20℃， V _{ex} =3V ，λ =1064nm		5	8	%
暗计数率	DCR	T= -20℃， PDE =25%		10	20	KHz
	σ _{DCR}	T= -20℃， PDE =25%		3	5	KHz
时间抖动	T _J	T= -20℃， PDE =25%		500	800	ps
累积串扰概率	P _(tot)	T= -20℃， PDE =25%		20		%

3.4 采集软件功能^①

- 相机上电检测
- 延迟时间调节
- 门宽条件
- 工作温度设定
- 偏置电压调节
- 数据存储^②

①该软件仅支持 32bit 或 64bit 的 WINDOWS XP 或 WINDOS7 操作系统。

②数据的存储格式：RAW。

4 典型特性曲线

产品的光谱响应特性曲线见图 4-1。

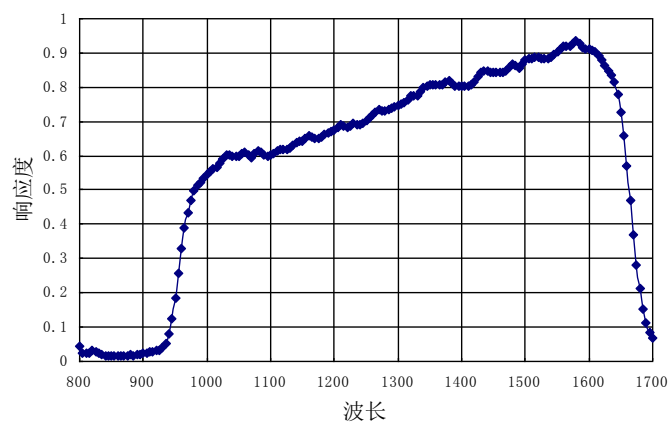


图 4-1 InGaAs 光谱响应特性曲线

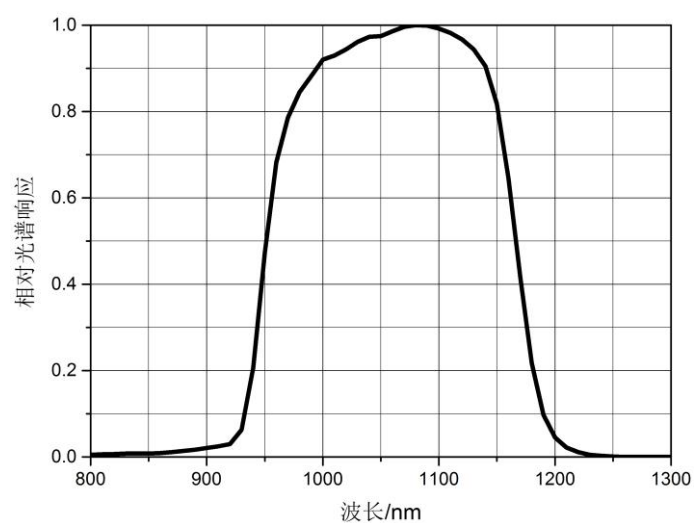
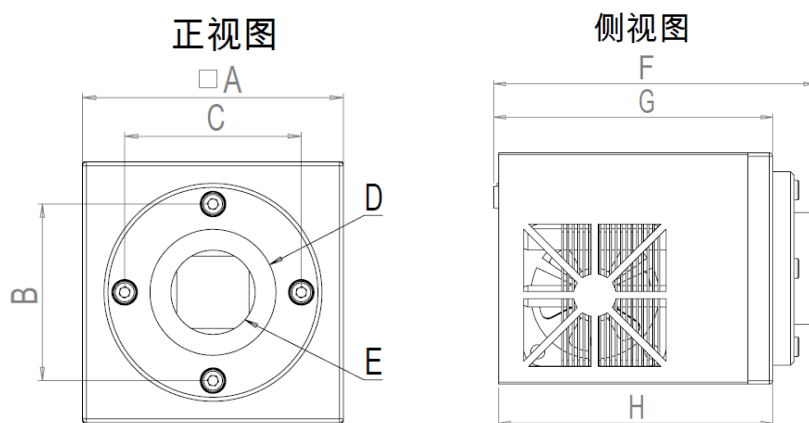


图 4-2 InGaAsP 光谱响应特性曲线

5 相机外形尺寸与接口

5.1 相机外形尺寸



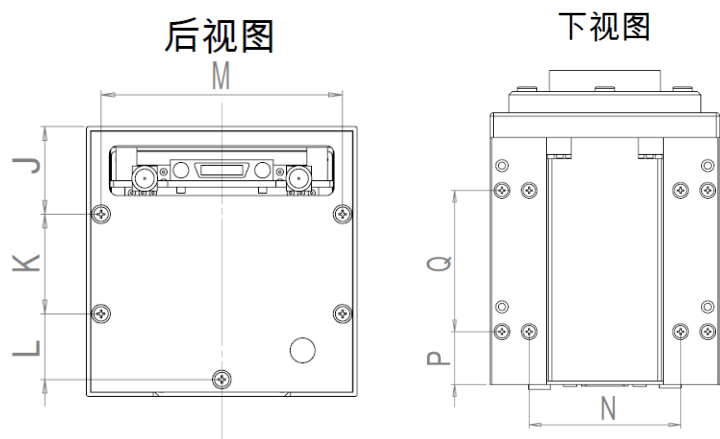


图 5-1 外形图

表 5-1 相机外形尺寸(单位:毫米)

代号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
尺寸 (mm)	65	44	44	Ø31.4	M25.4	90.5	78.5	77.5	21	24	15.8	58	42.8	15	40
公差 (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

F 为后端接头到法兰盘尺寸

G 为后端接头到前盖尺寸（不包括法兰盘）

H 为机芯尺寸（不包括法兰盘和数据接头）

5.2 光敏面尺寸

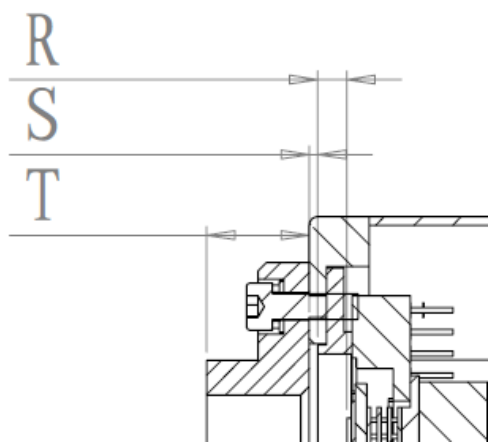


图 5-2 光敏面尺寸图

表 5-2 光敏面尺寸(单位:毫米)

代号	R	S	T
----	---	---	---

尺寸	3.5	1	12
公差	0.5	0.1	0.5

R 为光敏面到光窗上表面距离

S 为光窗上表面到相机前盖距离

T 为法兰盘高度

5.3 引出端排列

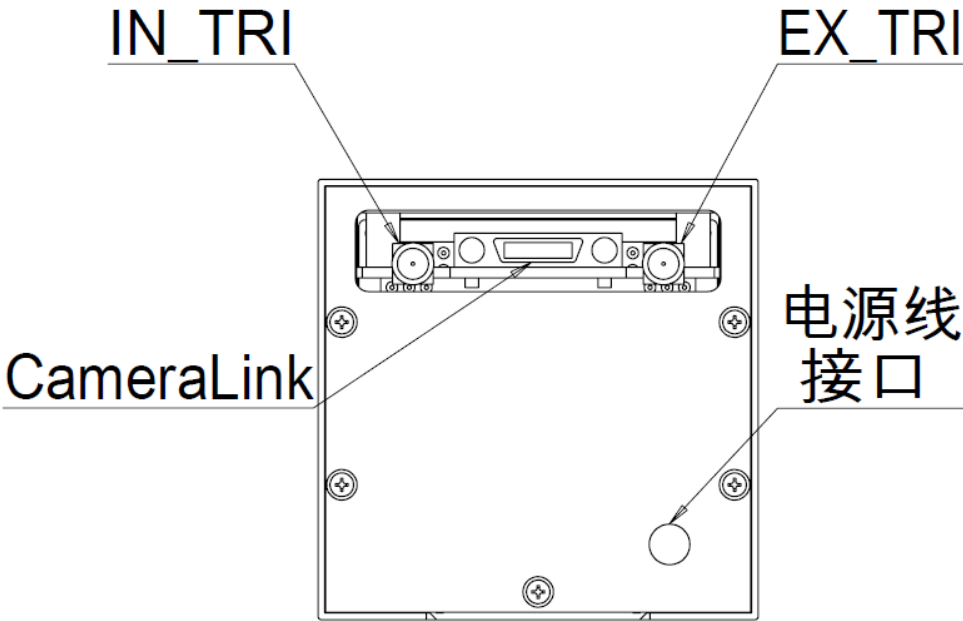


图 5-3 引出端口位置图

表 5-3 引出端口定义

符号	EX_TRI	IN_TRI	CameraLink	POWER (Vcc)
定义	外触发接口	内触发接口	数据接口	+12V单电源供电

6 相机应用连接

相机连接方式如图 6-1。

特别注意：开关机顺序。

开机顺序：连接相机电源线 ➡ 连接 Cameralink 数据线 ➡ 打开图像

采集软件打开相机电源 → 上电自检 → 串口自检
采集图像 → 图像正常显示 → 设定工作温度
打开制冷开关 → 设定偏压值 → 打开偏压设置正常工作。

关机顺序：关闭偏压 → 关闭温控 → 恢复到室温后停止采集
关闭图像采集软件 → 关闭相机电源
拔掉 Cameralink 连接线 → 拔掉电源线。

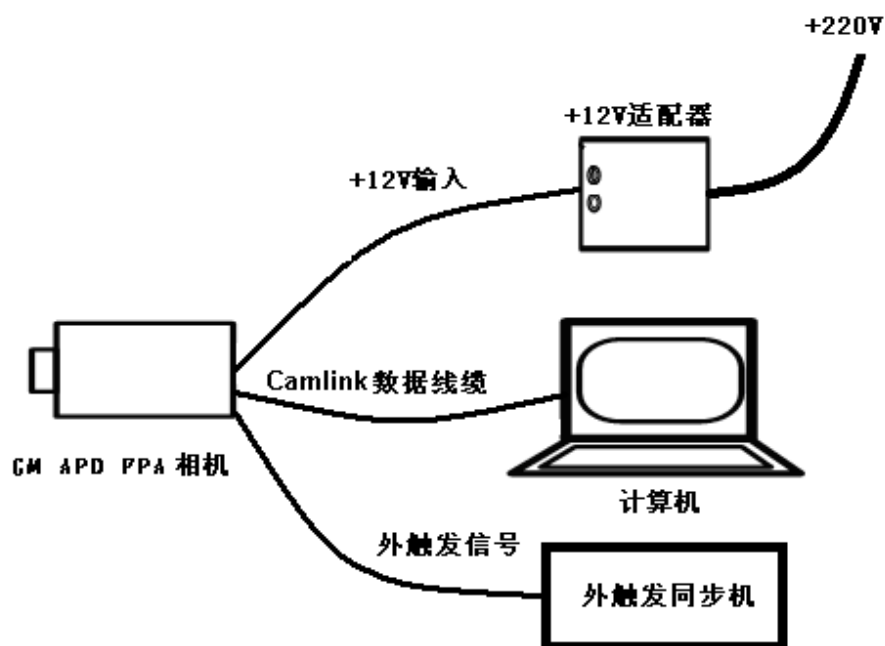


图 6-1 相机典型应用连接示意图

7 软件安装及操作说明

7.1 软件开发的主要特点

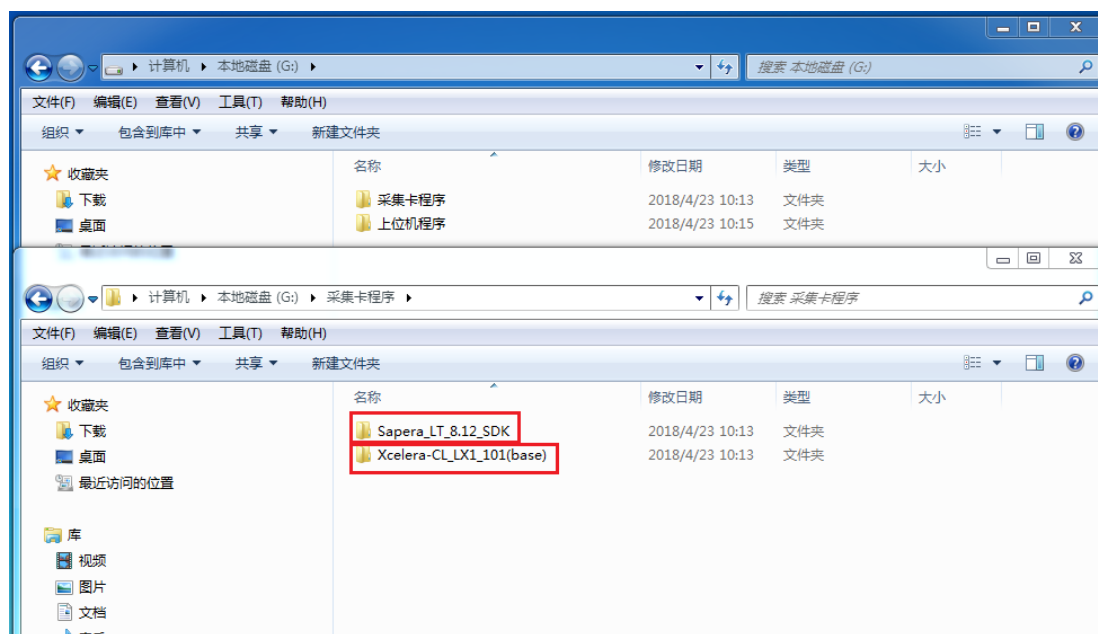
本软件是在 Windows 7 环境下，基于 DALSA 公司 Camlink 图像采集卡开发的 InGaAs 盖革雪崩焦平面相机成像演示软件。

7.2 软件主要用途

软件主要用于实现 InGaAs 盖革雪崩焦平面相机的图像采集、存储、监测控制及成像演示等功能。

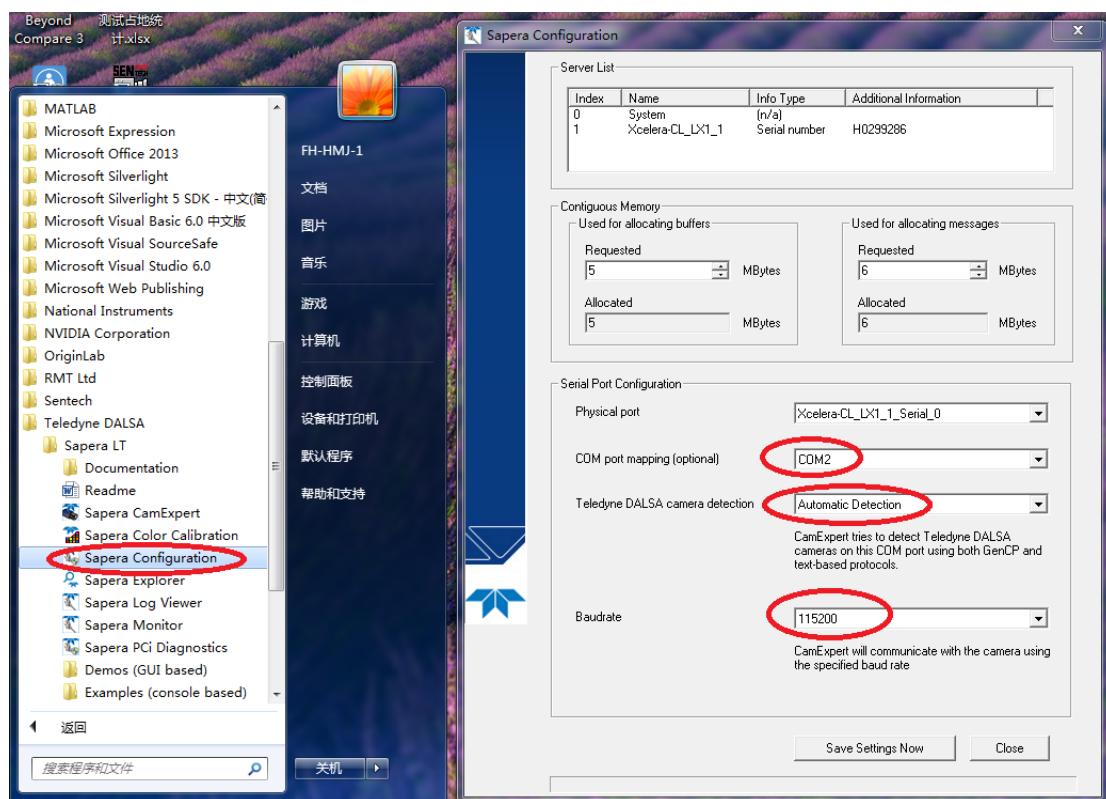
7.3 软件安装操作说明

第一步：完成采集卡程序文件夹中的驱动程序与开发包的安装。

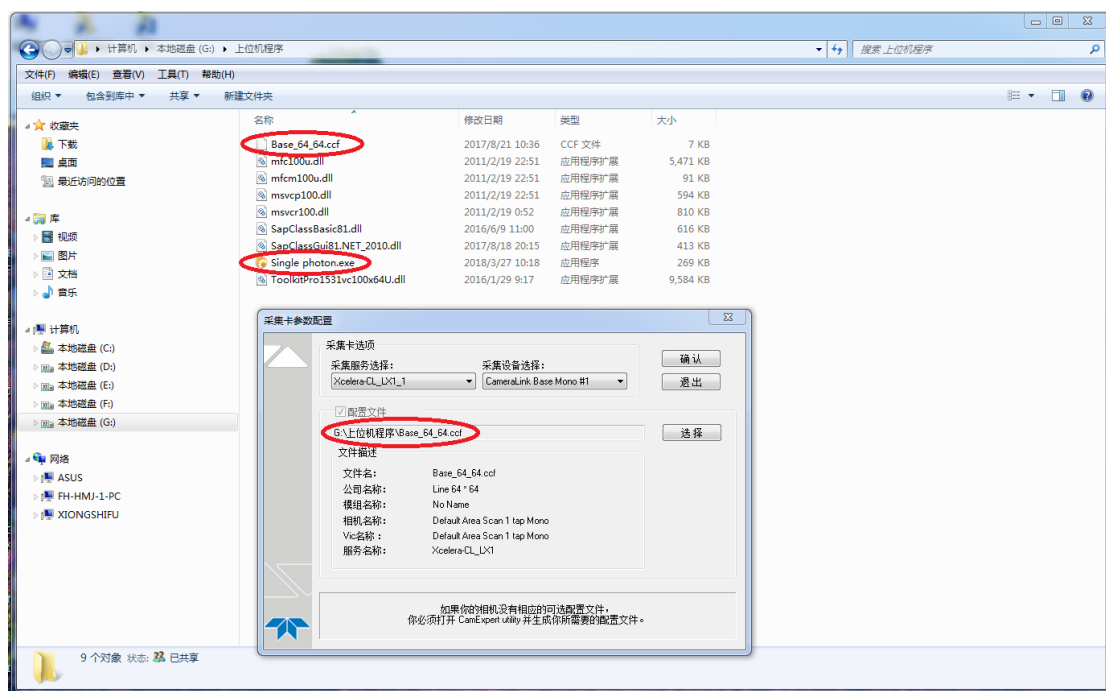


其中，Sapera_LT_8.12_SDK 文件夹中安装文件为 DALSA 图像采集卡开发包工具安装包。Xcelera_CX_LX1_101 (base) 中为采集卡驱动安装包。

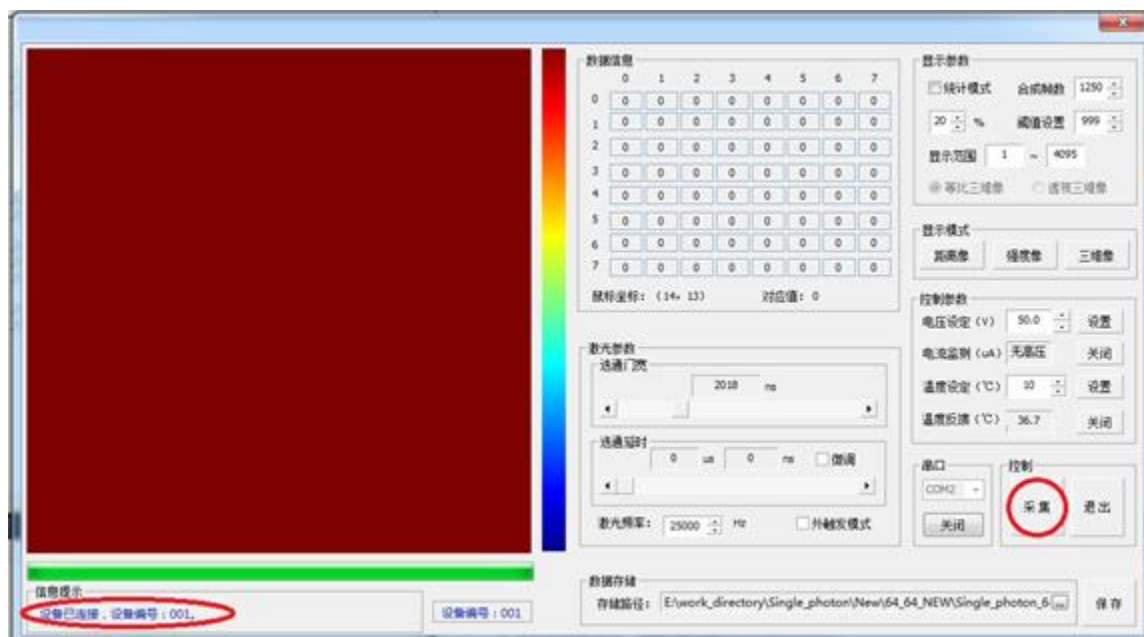
第二步：完成采集卡参数配置。



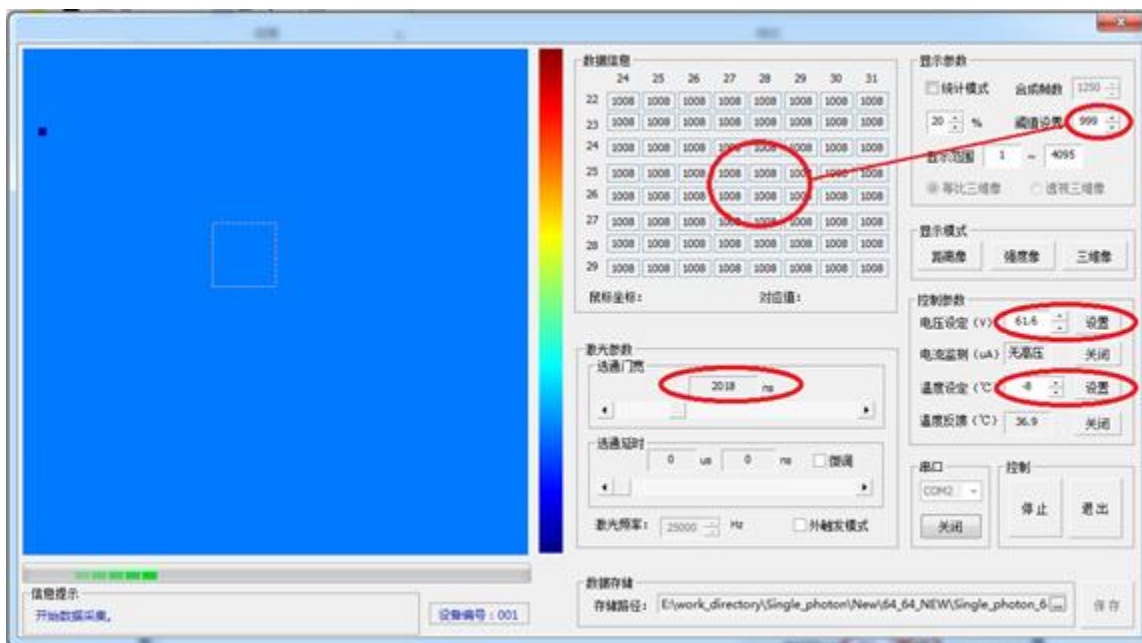
第三步：在上位机程序文件夹中打开“Single photon.exe”文件，并“选择”该文件夹中配置文件“APD_64_64_NEW.ccf”，点击“确认”。



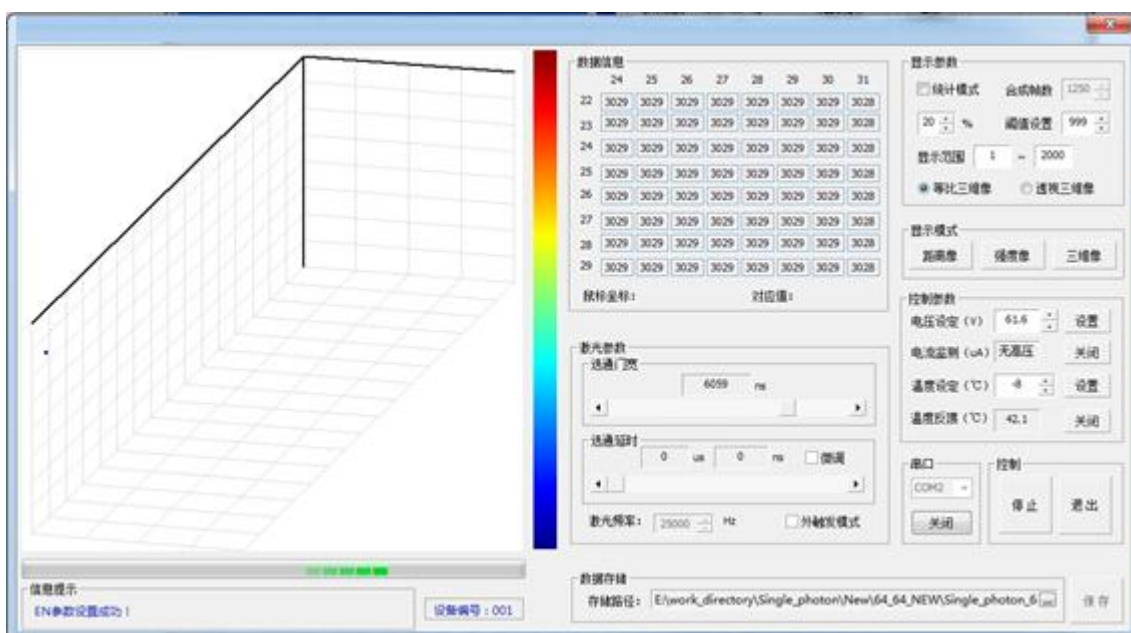
第四步：开启相机电源，在上位机软件界面上点击“采集”，上位机开始采集显示相机输出数据，“信息提示”处先后提示：设备已连接、开始数据采集；

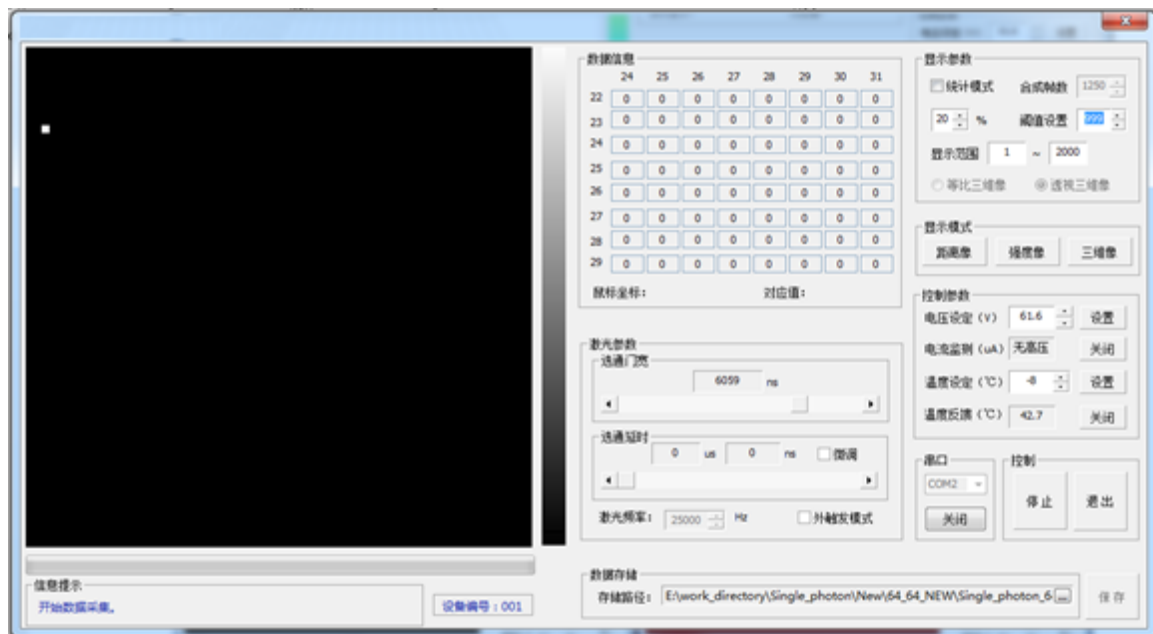
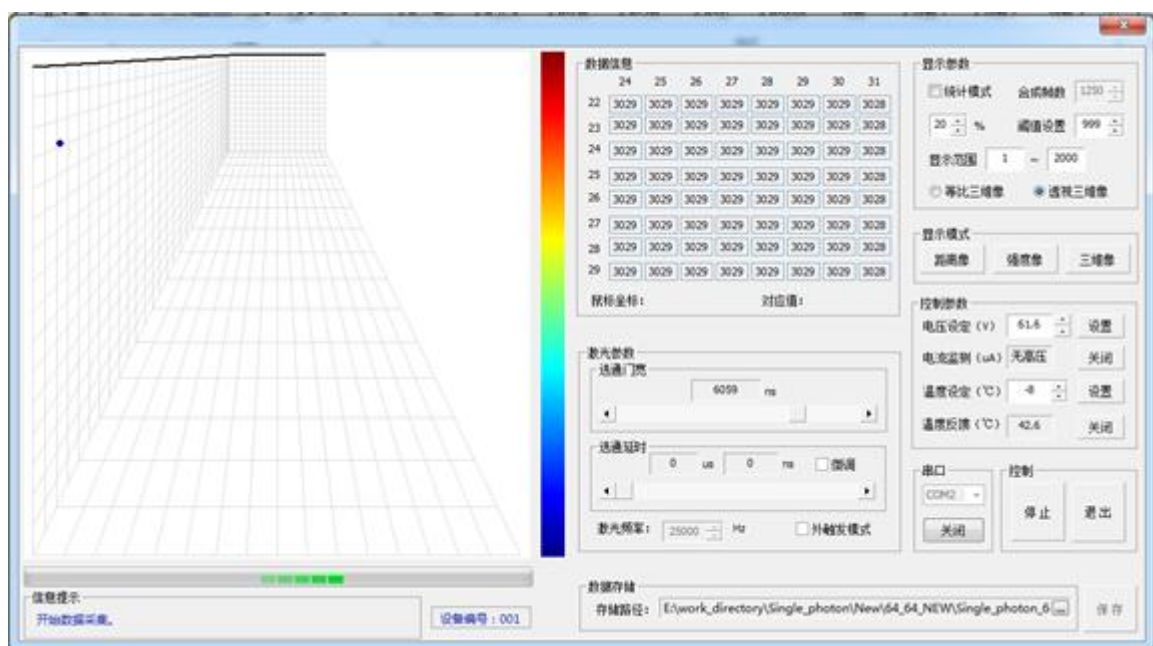


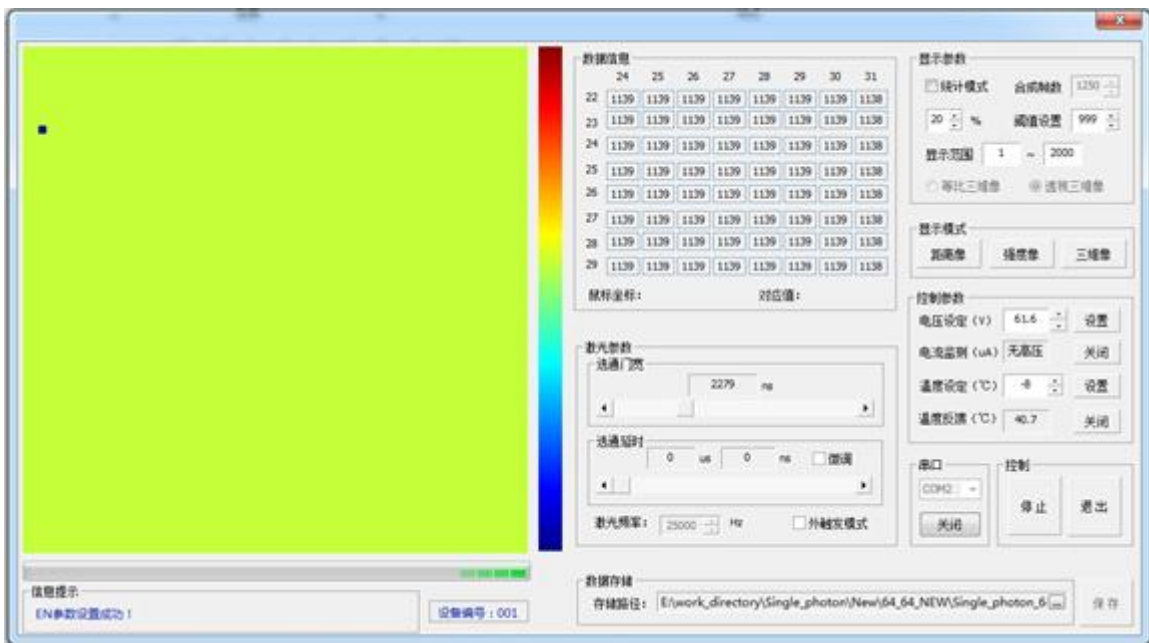
第五步：在“温度设定”处填入温度值，点击“设置”；待反馈的温度稳定后，在“电压设定”处填入电压值，点击“设置”（在改变温度与电压设定值后，需再次点击“设置”后生效）。在“选通门宽”处拉动滚动条，选择合适门宽；观察“数据信息”区，根据显示的计数数值，在阈值设置处填入合适计数阈值；



第六步：通过合适的参数设置，点击“距离像”、“强度像”和“三维像”按钮，可实现相机数据的各种模式显示；点击“保存”按钮，可实现原始数据的存储。各类参数设置见后附录定义。







第七步：关闭上位机软件与相机。首先点击“电压设定”处“关闭”按钮；其次点击“温度设定”处“关闭”按钮；然后点击“停止”与“退出”；最后，关闭相机电源。（注意在外触发模式下，保持外触发信号全过程接通，不然上位机软件一直处于等待采集状态而无法关闭。）

参数设置定义：

● 选通门宽

该滚动条控制相机电路产生一个距离门信号输入至 GM APD FPA 器件，决定器件的探测时间范围。距离门宽度以 1ns 为步进，其值 t 与数据显示区内无回波信号时显示的值 t_0 对应。（关系为 $t=n \times t_0$ ，单位秒，其中 n 为 1）。

● 选通延时

内、外触发同步信号上升沿与距离门上升沿（起始计数时刻）之间的延时设置（不包含信号链路固有延时），0-200 μs 可调；。通过勾选“微调”选择粗调或微调，步进分别为 1 μs 和 1ns。

● 触发模式选择

通过勾选“外触发模式”栏，确定相机与激光器工作于何种同步方式。默认情况下，相机工作于内触发模式（相机自身产生同步信号，主动触发激光），触发信号频率 25KHz（与相机工作的最大帧频相同）；勾选“外触发模式”，相机工作于外触发模式（接收激光器产生的触发信号，被动产生距离门），“激光频率”处填入输入触发信号的大致频率。

- 数据信息区（任一 8×8 区域）

在图像显示区左击鼠标，选中任一 8×8 区域；在距离像模式下：显示各像元计数器输出的值 t_i 。（12 位计数器，计数值为 50-4094）。有回波信号时，该值为距离门宽起始时刻与脉冲达到时刻之间的计数值；无信号时，该值为距离门宽。该值与外部输入高频时钟相关，每单位等效为 1ns。

在强度像模式下：显示 N 帧数据（合成帧数值）中，被暗计数与回波信号触发的次数（或称为灰度值，范围 0-N）。

- 任一像元坐标值、计数或灰度信息

在图像显示区，移动鼠标位置指向某一像素，在“鼠标坐标”与“对应值”处分别显示其坐标值、计数值或灰度值。

- 显示模式与显示参数选择

程序有四种显示模式：单帧距离像显示、多帧统计距离像显示、强度像显示、三维像显示。

（1）单帧距离像显示模式：点击“距离像”，在显示参数区不勾选“统计模式”；程序抽取器件输出的某一帧数据，在图像显示区以二维伪彩色的方式，显示各像元计数器输出的值 t_i 。（12 位计数器，计数值范围为 50-4094）；

（2）多帧统计距离像显示模式：点击“距离像”，在显示参数区勾选“统计模式”，“合成帧数”中填入统计显示的帧数 N，“统计模式”下的百分比设置栏填入 M。软件自动统计计算出每个像元各自 N 帧数据中分布概率最大的计数值（不计无回波信号时的距离门宽值），当该值的分布概率大于 M%时，在图像显示区以二维伪彩色的方式显示该计数值（即距离值）；否则显示无回波信号时的距离门宽值。

（3）强度像显示模式：点击“强度像”，在显示参数区勾选“统计模式”，“合成帧数”中填入统计显示的帧数 N，在图像显示区显示每个像元各自 N 帧数据中被暗计数与回波信号触发的次数（范围 0-N），用黑白灰度图像显示。该值反映了稀疏回波信号的相对光强。

（4）三维像显示模式：点击“三维像”，在图像显示区用三维坐标系显示各个像元的计数值（即距离值），与距离像设置以及表示方式相同。可选择“等比三维像”与“透视三维像”两种显示方式。其中“显示范围”栏处，可设置伪彩色的显示范围与三维坐标中计数值坐标范围。

“阈值设置”：该值一般设置为距离门宽值。作为判据，用于强度像模式下，

确定 N 帧数据中被暗计数与回波信号触发的次数（由于距离门宽存在抖动误差，该值通常设置约小于距离门宽值）。

● 数据存储

在“存储路径”栏，选择数据存储位置，点击“保存”，存储点击之前最近一段时间内上位机采集的大小为 20000 帧 64×64 阵列各像元计数器输出的计数值。

● 控制参数区

“电压设定”处，填入器件所需的偏置电压值，50.0V-80.0V 范围连续可调，步进 0.1V；点击“设置”按钮，升压电路偏压设置生效；点击“关闭”按钮，升压电路关闭，偏压设置无效；

“电流监测”处，显示升压电路回路中电流值，过大则警示探测器雪崩电流值较大，有损坏的危险；

“温度设定”处，填入器件所需的低温工作温度值，-40℃至+30℃范围连续可调，步进 1℃；点击“设置”按钮，温控电路制冷设置生效；点击“关闭”按钮，温控电路关闭，温度设置无效。

“温度反馈”处，显示器件内部实际工作温度值；在某一温度点±0.5℃范围内稳定不变时，同时工作电流处于稳定状态，表明器件已达设定温度值。

8 故障分析与排除

InGaAs 盖革雪崩焦平面相机在使用过程中如出现表 8-1 中所述故障，应按相应方法进行排除。若故障仍不能排除，请咨询中国电子科技集团公司第四十四研究所（联系方式如前言）。

表 8-1 故障分析与排除

故障现象	原因分析	排除方法
电源自检 连接异常	1、电源未供电； 2、电源线接触不良；	1、关断后，重新打开电源； 2、检查电源线接头； 3、确保电源接触良好；
串口自检 连接异常	1、电源未供电； 2、Cameralink 线插接不良；	1、关断后，重新打开电源； 2、Cameralink 连接线重新插拔；

故障现象	原因分析	排除方法
		3、确保 Cameralink 接触良好；

故障现象	原因分析	排除方法
相机无图像	1、Cameralink 接口 2、外触发信号异常 3、采集程序出错	1、检查是否存在其他 Cameralink 设备，并暂停使用该设备。 2、检查外触发信号是否满足相机外触发工作条件。 3、运行任务管理器，在进程中关掉相机采集软件，重启计算机。

9 使用方法与注意事项

- (1) 供电前应仔细检查供电电源电压是否满足要求；
- (2) 干燥环境中使用时应注意静电防护；
- (3) 推荐工作环境温度不超过 40℃；
- (4) 插拔接口时注意不要用力过大；
- (5) 注意开关电源和软件的顺序，见第 6 小节。

10 运输与储存

在运输过程与贮存过程中，应防静电、防冲击。

贮存条件为-20℃~+50℃，湿度≤80%的通风、干燥、无腐蚀气体影响的环境。

贮存期限为 36 个月。

超出期限的产品应进行超期复验后再使用。

11 开箱检查

产品开箱后，应检查产品外观有无损伤，检查产品的标识是否一致。如：产品名称、型号规格、数量与产品编号。

检查随产品包装的附件,包括:

- DALSA 采集卡一张 (可选配)
- Cameralink 数据线一根 (可选配)
- SMA 连接线一根
- SWIR 专用镜头一个 (50mm/F2.15) (可选配)
- 使用说明书光盘一张

12 附录

12.1 Camlink 接口管脚定义

表 12-1 为 Camlink 对外接口的管脚定义。

表 12-1 Camlink 接口管脚定义

接口名称	封装	管脚位号	管脚定义	管脚说明
Cameralink	SDR26_90	15	TX0_P	数据信号
		2	TX0_N	
		16	TX1_P	
		3	TX1_N	
		17	TX2_P	
		4	TX2_N	
		19	TX3_P	
		6	TX3_N	
		7	SR_P	接收指令
		20	SR_N	
		21	ST_P	发送指令
		8	ST_N	
		18	CLKOUT_P	时钟
		5	CLKOUT_N	
		1、13、14、26、 27、28	GND	地

Cameralink 芯片采用 TI 公司的 DS90CR287，其管脚定义如表 12-2 所示。

表 12-2 Camlink 芯片管脚定义

接口	方向	位宽	说明
FVAL	OUT	1	帧同步信号
LVAL	OUT	1	行同步信号
DVAL	OUT	1	数据有效信号
CLK	OUT	1	数据时钟 (85 MHz)
D[23:0]	OUT	24	数据线高 12 位和低 12 位分别表示一个像元值

Camlink 接口传输图像数据的时序图如图 12-1 所示。

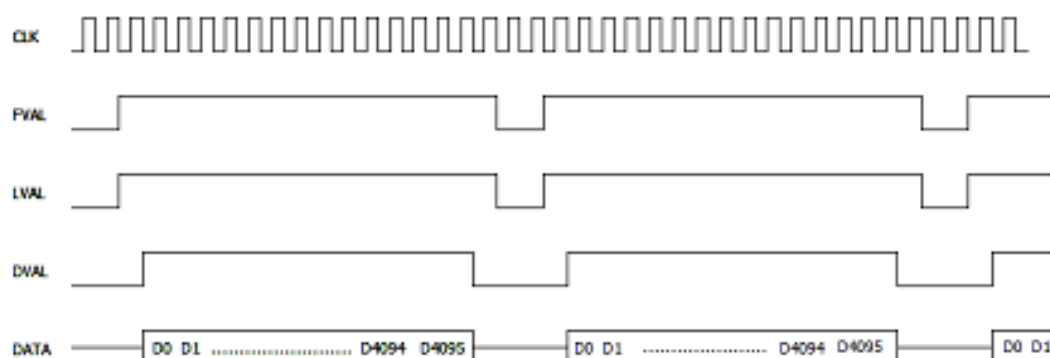


图 12-1 Camlink 接口传输时序图

说明：数据传输采用线阵模式，帧同步 FVAL 和行同步 LVAL 完全一致，每一帧数据量为 4096 个像素，数据位宽为 12bit，取数据线的低 12bit。

12.2 指令数据通信协议

本系统的指令数据传输的物理层采用 2 线连接的 RS-232 接口，工作波特率为 115200，8 位数据位，1 位停止位，无奇偶校验位。所有通信均采用主从应答模式，即由上位机发送相应的指令，由相机端进行应答。

12.2.1 指令帧结构说明

其指令的结构如下所示：

指令头1 (1字节)	指令头2 (1字节)	指令长度 (1字节)	指令码 (1字节)	指令数据区 (N字节)	校验和 (1字节)
0xE6	0x26	指令总长度 N+5	存放指令码	存放指令数据	存放指令 校验结果

指令头 1：1 个字节，固定为 16 进制数 0xE6。

指令头 2：1 个字节，固定为 16 进制数 0x26。

指令长度：1 个字节，为整个指令的数据长度（单位：字节），包括校验和。

指令码：1 个字节，详见后述。

指令数据区：需要发送的命令附加的实际数据，共 N 个字节，如果数据为 16 位数，则分解为两个字节，低字节在前，高字节在后。如果数据为 32 位数，则分解为 4 个字节，低字节在前，高字节在后。

校验和：1 个字节，其值为校验和前所有指令数据按字节相加。

各指令码功能介绍如下表 12-3 所示。

表 12-3 指令码功能说明

指令码	功能定义	指令数据区长度(N)	指令数据区使用说明
0xA1	设置触发延时 和时间门宽度	共 8 字节	1、触发延时 (32bit) (byte0~byte3): 取值范围: 0-200000, 每 DN 表示 1ns 2、时间门宽 (32bit) (byte4~byte7): 范围: 200ns - 4000ns, 每 DN 表示 1ns
0xA2	内外触发切换 设置	共 1 字节	1、内外触发切换 (8bit) (byte0): 外触发: 0xAA 内触发: 0x0
0xA3	内触发 参数设定	共 16 字节	1、内触发帧周期 (32bit) (byte0~byte3): 取值范围: 2000 - 50000000, 每 DN 表示 20ns 时间范围: 40us - 1s 2、内触发延时 (32bit) (byte4~byte7): 取值范围: 0 - 100000, 每 DN 表示 20ns 时间范围: 0us - 2ms 推荐设置值: 0 3、触发输出延时 (32bit) (byte8~byte11): 取值范围: 0 - 100000, 每 DN 表示 20ns 时间范围: 0us - 2ms 推荐设置值: 0 4、触发输出宽度 (32bit) (byte12~byte15): 取值范围: 1 - 100000, 每 DN 表示 20ns 时间范围: 20ns - 2ms 推荐设置值: 50 (1us)
0xA6	TEC 温控设置	共 4 字节	1、温度设定值 (16bit) (byte0~byte1): 该值为双字节有符号数, 每 DN 表示 1 °C, 温度设定范围为: -40 ~ 20 °C 2、温控模式 (8bit) (byte2): 该值固定为 0; 3、温控开关 (8bit) (byte3):

			打开: 0xAA; 关闭: 0x0;
0xA8	偏置电压设定	共 4 字节	1、偏压设定值 (16bit) (byte0~byte1): 偏压范围: 50 ~ 68V 该值的取值公式: 设定值 = 9216 + (设定电压-50) × 183.3 2、偏压模式 (8bit) (byte2): 该值固定为 0; 3、偏压开关 (8bit) (byte3): 打开: 0xAA; 关闭: 0x0;
0xAA	温度及偏压电流查询	共 0 字节	该指令执行后会在应答帧中反馈探测器温度和偏压工作电流

12.2.2 应答帧结构说明

其应答帧结构如下所示:

应答头1 (1字节)	应答头2 (1字节)	指令码 (1字节)	指令执行反馈 (1字节)	应答数据区 (N字节)
0xB2	0x62	接收到的 指令码	反馈指令 执行情况	指令执行 反馈数据

应答头 1: 1 个字节, 固定为 16 进制数 0xB2。

应答头 2: 1 个字节, 固定为 16 进制数 0x62。

指令码: 1 个字节, 反馈接收到的指令码值。

指令执行反馈: 1 个字节, 0 表示指令执行成功, 非 0 表示指令执行失败。

应答数据区: 指令执行后反馈的相关数据, 根据执行指令不同应答数据区长度不同, 如果数据为 16 位数, 则分解为两个字节, 低字节在前, 高字节在后。各指令执行后的应答帧数据说明如下表:

表 12-5 各指令码应答帧数据说明

指令码	功能定义	应答数据区 长度 (N)	指令数据区使用说明
0xA1	反馈设置触发 延时和时间门 宽度指令执行 情况	共 0 字节	无
0xA2	内外触发切换 设置	共 0 字节	无
0xA3	内触发	共 0 字节	无

	参数设定		
0xA6	TEC 温控设置	共 0 字节	无
0xA8	偏置电压设定	共 0 字节	无
0xAA	温度及偏压电 流查询	共 5 字节	<p>1、温度反馈值 T (16bit) (byte0~byte1): 该数为双字节无符号数, 得到反馈值 T 后可根据公式算出实际的温度, 取值范围为-50 ~ 60 ℃。 计算公式为: $-3.623662745 * \exp(0.00004459201 * T) + 72.839582 * \exp(-0.0000845838 * T)$</p> <p>2、电流反馈值 (16bit) (byte2~byte3): 得到反馈值后可根据如下公式计算出实际电流: 电流值 = $12.5 \times \text{电流反馈值} \div 65535$ (单位: uA)。</p> <p>3、TEC 控温、偏压开关情况 (8bit) (byte4): bit0: 1 表示 TEC 打开, 0 表示 TEC 关闭 bit1: 1 表示偏压打开, 0 表示偏压关闭 bit2~bit7: 未使用</p>