



# 时间相关单光子计数系统

Time-Correlated Single-Photon Counting System

## FT10 系列 使用手册



上海星秒光电科技有限公司

**SIMINICS**

**快速指南**

**FT10 系列**

**FT1010 /FT1040/FT1080**

**时间相关单光子计数产品**

**2017 年 6 月**

**SIMINICS Optoelectronics Technology Co.,LTD.**

## 保证和声明

### 版权

©2017 上海星秒光电科技有限公司版权所有

### 文档编号

XMGD17061437

### 声明

- 本公司产品受已获准及尚在审批的中华人民共和国专利的保护；
- 本公司保留改变规格及价格的权利；
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料；
- 对于本手册可能包含的错误，或因手册所提供的信息及演绎的功能，以及因使用本手册而导致的任何偶然或继发的损失，**SIMINICS** 概不负责；
- 未经 **SIMINICS** 事先书面许可不得影印复制或者改编本手册的任何部分。

### 联系方式

上海星秒光电科技有限公司

地址：上海市嘉定区鹤旋路 58 弄 8 号楼

电话：021-54391007

网站：www.siminics.com

邮箱：info@siminics.com； sales@siminics.com

## **安全要求** (为避免可能发生的危险，请务必按照规定使用本产品)

### **一般安全概要**

请仔细阅读下列安全性预防措施，以避免受伤，并防止损坏本产品或与本产品连接的其他产品。

#### **使用规定的电源线：**

只允许使用所在国家认可的本产品专用电源线；

#### **查看产品额定值：**

为避免起火和过大电流的冲击，请查看产品上标注的额定值和标记说明，请在连接产品前查阅产品手册以了解额定值的详细信息；

#### **务必使用合适的过压保护：**

必须确保没有过压（如由雷电造成的电压）达到该产品。否则操作人员可能有遭受电击的危险；

#### **将本产品接地：**

必须将本产品的电源电缆接地线接地。为避免电击，在连接本产品的任何输入或输出端之前，请确保本产品电源电缆的接地端与保护接地端可靠连接；

#### **严禁擅自拆开仪器并进行开盖操作：**

未经 SIMINICS 许可用户不能擅自拆开仪器，并且禁止在仪器机箱打开时运行本产品；

#### **严禁将异物插入风扇的排风口：**

禁止将异物插入风扇的排风口以免损坏仪器；

#### **使用合适的保险丝：**

必须经过 SIMINICS 许可才能自行更换本产品烧坏的保险丝，并且只允许使用本产品指定规格的保险丝；

#### **防静电保护：**

静电会造成仪器损坏，应尽可能在防静电区进行测试。在连接电缆到仪器前，应将其内外导体短暂接地以释放静电；

**怀疑产品出现故障时，严禁进行操作：**

如果您怀疑本产品出现故障，请联络 SIMINICS 进行检测。任何维护、调整或零件更换必须由 SIMINICS 执行；

**保持适当的通风：**

通风不良会引起仪器内部温度升高，进而引起仪器损坏。使用时应保持良好的通风，定期检查通风口的风扇；

**严禁在潮湿环境下使用：**

为避免仪器内部电路短路或发生电击的危险，严禁在潮湿环境下操作或放置仪器。

**严禁在易腐蚀环境下使用：**

为了避免仪器被腐蚀损坏，严禁在易腐蚀环境下使用或放置仪器；

**严禁在易燃易爆的环境下操作：**

为避免仪器损坏和人身安全，严禁在易燃易爆的环境下操作或放置仪器；

**保持产品表面的清洁和干燥：**

为避免灰尘或空气中的水分影响仪器性能，请保持产品表面的清洁和干燥；

**注意搬运安全：**

为避免仪器在搬运过程中造成损坏，请注意搬运安全。

## 安全术语和符号

以下术语可能出现在本手册中：

**警告**

警告性声明指出可能会危害操作人员生命安全的条件和行为。

**注意**

注意性声明指出可能导致本产品损坏或数据丢失的条件和行为。

以下术语可能出现在产品上：

**危险** 表示您如果进行此操作可能会立即对您造成危害；

**警告** 表示您如果进行此操作可能会对您造成潜在的危害；

**注意** 表示您如果进行此操作可能会对本产品或连接到本产品的其他设备造成损坏。

# 目录

一、	名词解释.....	9
1.	TCSPC(Time-Correlated Single-Photon Counting, 时间相关单光子计数).....	9
2.	单光子探测.....	11
1)	光电倍增管 PMT .....	11
2)	雪崩光电二极管 APD.....	11
二、	应用实例.....	14
1.	荧光寿命测量.....	14
2.	光子关联测量.....	14
3.	飞行时间测量.....	15
三、	开箱检查.....	16
1.	包装清单.....	16
四、	主机说明.....	17
1.	主机.....	17
1)	外观尺寸.....	17
2)	前面板.....	17
3)	后面板.....	18
2.	主机连接说明.....	19
五、	软件说明.....	21
1.	软件安装.....	21
2.	主界面.....	21
1)	连接检查.....	22
2)	停止条件.....	22
3)	时间分辨率设置.....	23
4)	分频设置.....	23
5)	阈值.....	24
6)	X 轴设置.....	25
7)	Y 轴设置.....	25
8)	屏蔽设置.....	26
9)	直方图数据保存.....	26
10)	通道配置与计数.....	27
11)	通道计数.....	29
12)	区间计数.....	30
13)	子模式启动按钮.....	30
14)	采集和停止按钮.....	31
15)	状态显示区.....	31
16)	Store 功能.....	32
3.	时间标签模式.....	32
1)	时间标签模式界面.....	34
2)	如何解析 T2 原始数据? .....	35
3)	如何解析 T3 原始数据? .....	39

---

4) Marker 信号 .....	42
4. 符合计数模式.....	44
5. 强度监测模式.....	47
五、保养与清洁.....	48
附录: .....	49
参数.....	49



## 一、名词解释

**FT10** 是高性能的时间相关单光子计数产品，该技术领域包含了物理、信号处理、光电检测、软件操作等多项技术内容，可实现对多个信号事件之间进行时间间隔的精确测量，分辨率可达皮秒量级，结合高速信号传输技术和处理软件，该系统可应用于荧光寿命测量、激光测距、光纤传感、量子光学、核物理、海洋学等多个领域。

FT10 系列产品可支持 64 ps 的时间分辨率，死时间低于 10 ns。得益于强大的高速数据存储和处理能力，FT10 可实现高达 100 Mcps 的饱和计数率。数据通过 USB3.0 接口上传至 PC 端，程序是由 Labview 或 C 语言平台编写实现，可进行直方图构建、拟合、参数设定、数据存储和分析等操作。

### 1. TCSPC(Time-Related Single-Photon Counting, 时间相关单光子计数)

精确的时间信息测量是许多应用中进行物理特性分析的关键，例如荧光寿命测量：荧光寿命反映了分子轨道的组成和复合机理等特性，且不受激发光强度、荧光团浓度和光漂白等因素的影响，因此通过荧光寿命曲线进行分析是化学和生物学研究的重要手段。但是荧光寿命的持续时间很短，通常在皮秒到微秒量级，对于这么短时间的信号变化进行直接测量是非常困难的。例如要对一个持续时间为 200ps 的荧光信号进行直接测量，如果采用类似示波器的方式进行采样，那么采样间隔至少要 20ps 才能对波形进行较为精确的还原，对于当今电子检测技术而言，这样的采样速率是一个极大的挑战。

TCSPC 技术所基于的原理是：在对一个强度微弱且持续时间很短的光信号进行记录时，可以采用单光子探测（SPD，Single Photon Detector）设备进行光信号采集，SPD 设备（如雪崩二极管 APD 和光电倍增管 PMT）在单次测量时只能获得光子计数信号，其上升沿对应着精确的光子到达时间。通过多个信号周期的测量，可以获得大量的光子计数信号以及时间信息。将这些测量结果在同一时间坐标中进行叠加，则可以绘制出基于统计结果的直方图，每一个直方图单元对应了一个时间窗口，窗口内的计数值对应了光信号强度，从而实现对荧光信号的还原。这种技术可以对弱光信号进行单光子级别的超灵敏测量，并具有极高的时间分辨率。

图 1.1 所示为 TCSPC 的原理示意图，当光信号很微弱时，单次测量周期内测到光子的概率是很小的，有的周期甚至测不到光子信号。当有一个光子被探测到时，通过 TCSPC 测量它的到达时间，并在直方图中对应的存储单元（计数器）上加 1。直方图中有 N 个存储单元（N 的值由测量时间和分辨率确定），经多次

累加后，每个单元内的总计数值即对应了该时间窗口内的信号强度，从而也可得到原始信号波形。

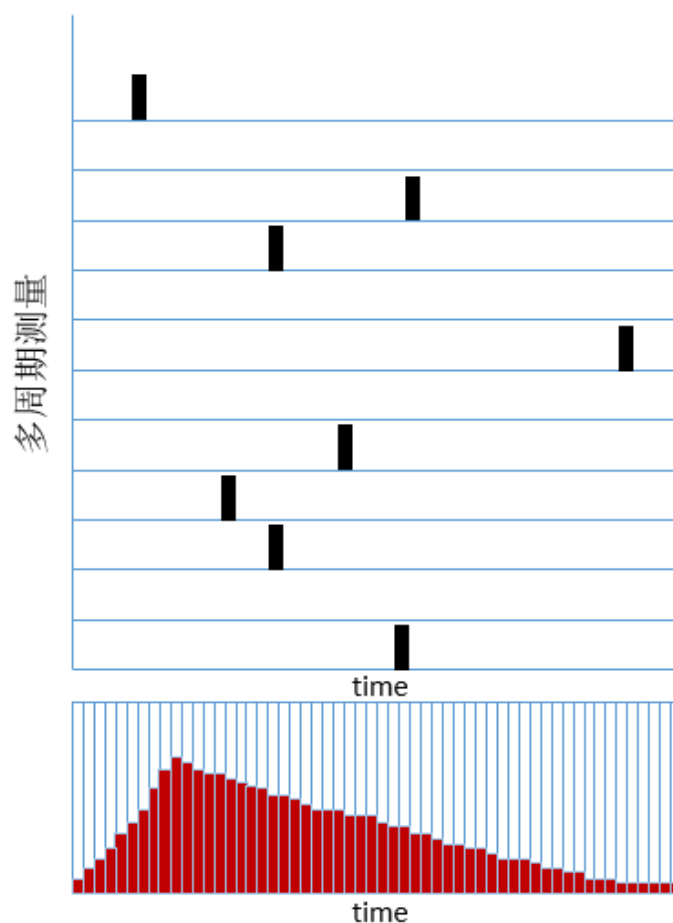


图 1.1 TCSPC 技术原理示意图

TCSPC 要求单个周期内光子几率不能过高，一般要求平均光子数小于 0.1，当信号光强度高时，可以通过减小泵浦光或者放置衰减片进行控制，这样做是为了防止堆积效应：当单周期内平均光子数过高时，时间越靠前的光子有很大概率被率先检测到，而 TCSPC 的死时间导致该计数后面一段时间无法测到新的信号，从而使测量结果（例如荧光寿命）比实际情况的时间短。

不同于一般的模拟信号采样技术，TCSPC 仅仅记录光子到达事件的边沿信号，因此系统的带宽仅仅受限于探测器的渡越时间，因此这种技术可以获得很高的时间分辨率。

## 2. 单光子探测

### 1) 光电倍增管 PMT

PMT 是一种真空器件，它利用二次电子发射使逸出的光电子倍增，获得远高于光电管的灵敏度，能测量微弱的光信号。当光子入射到 PMT 上时，光阴极在光子作用下发射电子，这些电子被外电场加速，聚焦于第一极。这些电子能够释放更多的电子，它们再被聚焦在第二极。经过多次放大，每个光电子都能激发成倍增加的二次发射电子，最后被阳极收集。PMT 的增益可达  $10^6 \sim 10^8$ 。

PMT 大多工作于可见光波段，最佳的光谱响应区域在红光-蓝光之间，这取决于光阴极材料类型。PMT 的量子效率一般不超过 30%，但是它的靶面可以做的很大（比如直径 10mm 的圆形靶面），因此收集效率很高，弥补了量子效率低的缺陷。

基于打拿极结构的 PMT，其时间抖动大约在百皮秒量级。一种新的基于微通道（Microchannel Plate, MCP）结构的 PMT 可以将这一参数降低至几十皮秒。不同于传统的多极结构，MCP 采用了一个涂覆有导电图层的通道，在通道的两端加上高压，通道壁即可用作发射二次电子的靶面。每个通道的直径大约为  $3 \sim 10\mu\text{m}$ ，由大量的微通道组成一个微通道板，即可实现非常高的增益。这种工艺的极间距可以做的很小，因此时间响应特性也大大提升。

### 2) 雪崩光电二极管 APD

APD 是具有内部光电流增益的半导体光电子器件。其雪崩效应是引起 PN 结击穿的一种机制，它利用光生载流子在二极管耗尽层内的碰撞电离效应而获得光电流的雪崩倍增。加反向偏压的 PN 结，在偏压足够高，空间电荷区内电场足够强时，碰撞电离产生的电子空穴对可以不断被电场加热并产生新的电子空穴对。依此方式可以使载流子大量增加，从而实现对单光子水平的微弱信号进行探测。

APD 的响应波段同样取决于半导体材料。最常见的为硅（Si-APD）和铟镓砷（InGaAs-APD）两种。Si-APD 可以对 200-900nm 的光谱区域产生响应，其最高量子效率可达 80% 以上；InGaAs-APD 的响应波段为 1000-1700nm，最高量子效率在 30% 左右，由于 InGaAs-APD 对 1310nm 和 1550nm 波长的信号有较好的响应，因此在光通信领域有着广泛的用途。不过，典型的 Si-APD 和 InGaAs-APD 对另一个常用波段，即 1064nm 波长的响应率都很低，Si-APD 的探测效率小于 3%，InGaAs-APD 的探测效率小于 5%。为填补这一响应盲区，各厂商也陆续推

出了基于 InGaAs-APD 工艺的 1064nm 增强的探测器。这种 APD 对 1064nm 波段的探测可以达到 25% 的量子效率。

APD 的测量时间抖动通常在 200-500ps 之间，更低时间抖动的特殊 APD 通过减少增益层厚度可以做到 100ps 以下，不过这是以损失量子效率为代价的。根据反向偏压不同，APD 可以工作在两种模式下：线性模式和雪崩模式。两种模式是由反向偏压是否超过 APD 的雪崩电压确定的。当偏压低于雪崩电压时，APD 工作在线性模式，该模式下光电流和入射光强成线性关系，但是灵敏度不高。当偏压高于雪崩点，APD 进入雪崩模式（又称盖革模式），雪崩模式下探测结果以脉冲信号形式输出，因此与输入光强不再具有直接的对应关系。

APD 工作在盖革模式时雪崩增益并不会主动停止，这时 APD 无法对入射光子产生新的响应，并且长时间处于增益状态还有烧毁 APD 的危险。因此电路上必须要对雪崩进行抑制，以便进行下一次的探测，这一过程称为雪崩淬灭。根据淬灭方式的不同，APD 又可被分为两种工作模式：自由模式 (Free-running Mode) 和门模式 (Gate Mode)。

Si-APD 通常工作在自由模式。在这种模式下，APD 偏压始终设置在雪崩点以上，在任意时刻探测到光子信号时，将会产生一个脉冲信号，控制电路在感应到有光子脉冲产生后随即将偏压信号拉低至雪崩点以下，从而实现淬灭。

而工作在门模式下的 APD，其偏置电压处于雪崩点以下，在偏压上叠加一个周期性的门脉冲。由于门脉冲具有一定的幅度（通常 3-6V），因此其高电平所在的时间内，APD 处于雪崩状态，可以进行单光子探测；而低电平期间偏压处于雪崩点以下，APD 完成淬灭。门模式是 InGaAs-APD 常用的工作模式，目前重复频率已经可以达到 GHz 水平。

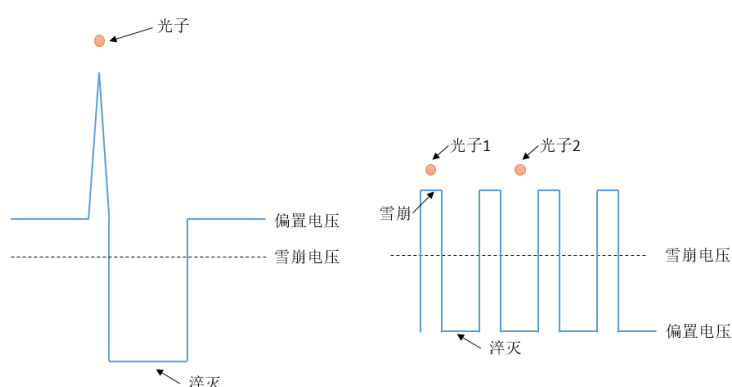


图 1.2 APD 的两种工作模式

左图：自由运行模式；右图：门模式

对于门脉冲模式而言，APD 只在门脉冲高电平期间雪崩，因此只有时域上落在门脉冲内的光子才有可能被探测到。如上图右所示，光子 1 可以被探测到，但是光子 2 不能。因此如果在 TCSPC 系统中使用门脉冲模式探测，会使直方图信号变成周期性的离散信号，其周期和门脉冲的周期相同。对于一些特定应用，或者信号光是脉冲光的情况下，门脉冲模式可以有效降低堆积效应，减少噪声信号的影响。

## 二、应用实例

### 1. 荧光寿命测量

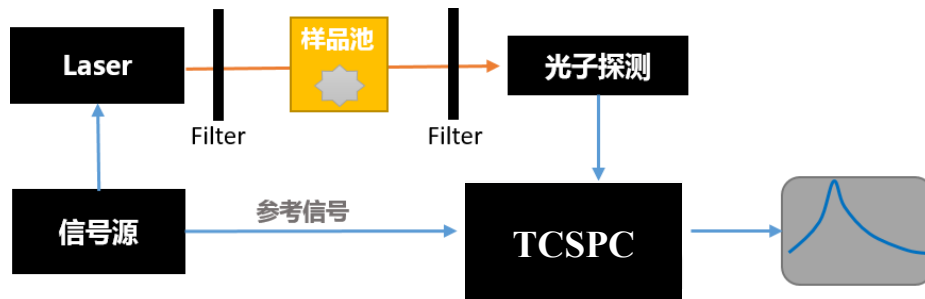


图 2.1 荧光寿命测量装置示意图

上图所示为荧光寿命测量系统的典型装置，激光器采用窄脉冲光源，如果采用半导体激光器，可由信号发生器同步触发，其典型脉宽在几十皮秒左右，波长多为可见光波段。根据系统的实际情况，输出光源可以外加衰减片进一步降低功率，以消除堆积效应的影响。激光经 Filter 滤除杂散光后照射到样品池，产生的荧光可以用 PMT 直接测量，也可经透镜聚焦后使用 SiSPD 进行探测。

当激光器使用信号发生器触发时，参考信号也可由信号发生器提供，如果光源无法使用外部信号触发，例如采用由锁模产生的光纤激光器，则还需要额外的光电探测设备（例如 PIN 管或线性模式下的 APD）进行信号采集，用做 TCSPC 的同步参考信号。锁模激光器的同步虽然不如电调制的半导体激光器方便，但是可以提供更窄的光脉冲（例如 100 fs），从而获得更高的时间分辨率。

### 2. 光子关联测量

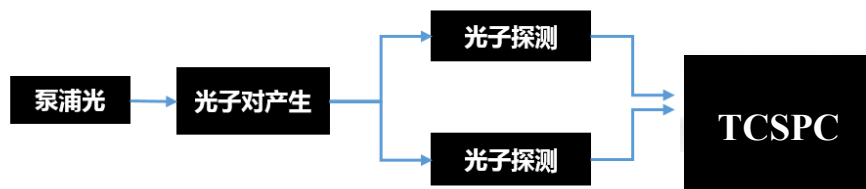


图 2.2 光子关联测量装置示意图

FT10 可以用于关联光子对的测量，这种应用是量子光学例如量子保密通信和单光子产生研究的重要手段。通过泵浦光泵浦 PPLN 或者 PPKTP 晶体，可以产生关联光子对，经过 PBS 或者 50/50 的 BS 分束后由单光子探测器测量，计数信号由 TCSPC 分析，可获得关联信息。

### 3. 飞行时间测量

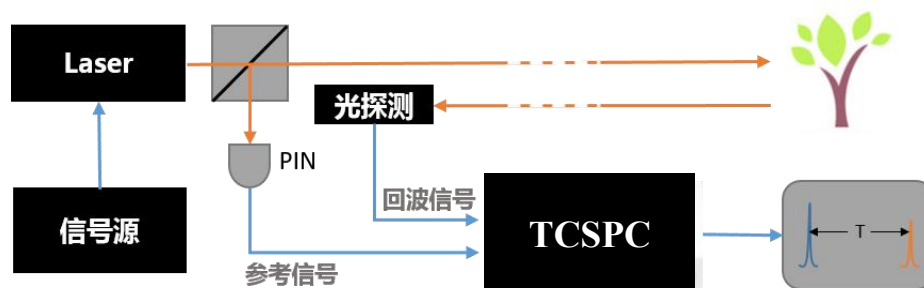


图 2.3 飞行时间测量装置示意图

TOF（飞行时间 Time of Flight）测量是指通过测量光子（或粒子）的飞行时间获得相对距离或者粒子质量等信息的一种手段。其典型应用之一是激光测距，采用皮秒（或飞秒）激光器产生光脉冲，在激光出射处采用 BS 分离一部分信号还原为电脉冲作为参考信号，光脉冲在被测物体处反射，回波信号和参考信号的时间差即对应了被测物体的距离。

## 三、开箱检查

\*开箱之前请检查包装是否完整以及仪器有无明显破损痕迹。

### 1. 包装清单

- 1) 主机×1;
- 2) 电源线×1;
- 3) USB3.0 数据线×1;
- 4) 使用说明书×1;
- 5) 软件安装 U 盘×1。



## 四、主机说明

### 1. 主机

#### 1) 外观尺寸

FT10 的尺寸为 300 × 235 × 115（mm），如图 4.1 所示：



图 4.1 FT10 尺寸示意图

#### 2) 前面板

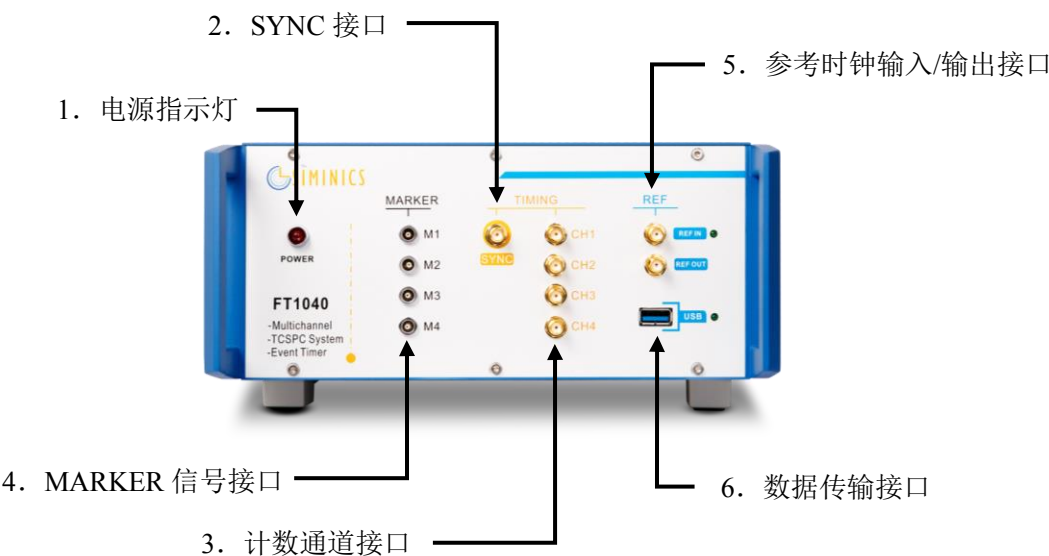


图 4.2 FT10 前面板

编号	名称	说明
1	POWER 指示灯	开机则该灯点亮，关机则熄灭
2	同步通道接口	SMA 接口，输入电平标准默认为 LVTTTL。用作时间分辨测量的开始信号，一般接入周期性的时钟信号，作为时间测量的零点参考
3	计数通道接口	SMA 接口，输入电平标准默认为 LVTTTL。用作时间分辨测量的停止信号，一般接入单光子计数信号
4	MARKER 信号接口	LEMO 接口，输入电平标准默认为 LVTTTL。用作标记信号
5	参考时钟输入接口 REF IN	SMA 接口，输入信号电平标准默认为 LVTTTL。操作步骤：1、先关机然后接入 10M 信号（接入信号的占空比应设置为 50%~60%），再将计数信号连接到计数通道；2、开机；3、打开软件。
6	参考时钟输出接口 REF OUT	SMA 接口，输出信号电平标准默认为 LVTTTL，可输出 10M 的时钟信号。
7	USB3.0 接口	USB3.0 高速数据传输接口

表 4.1 FT10 前面板接口说明

3) 后面板

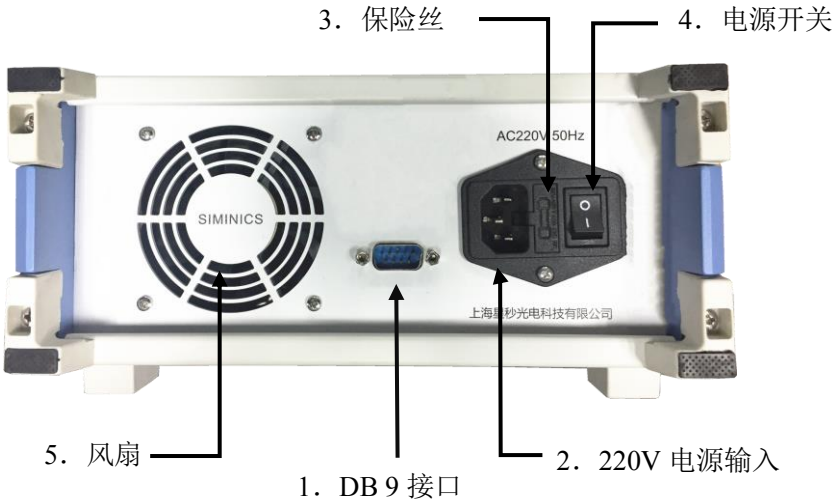


图 4.3 FT10 后面板

编号	名称	说明
1	DB 9 接口	备用接口
2	AC220V	220V 电源输入
3	保险丝	规格 250V/1A
4	电源开关	设备启动与关闭
5	风扇	散热

表 4.2 FT10 后面板说明

**\*更换保险丝**

如需更换保险丝，请使用仪器指定规格的保险丝，按如下步骤更换：

- 1) 关闭仪器，断开电源，拔掉电源线；
- 2) 用手指或工具打开保险丝槽，拉出保险丝座；
- 3) 更换指定规格的保险丝；
- 4) 将保险丝座装回原位。

**2. 主机连接说明**

- 1) FT10 后面板接入 AC220V 标准电源线，按下开关后即开机。
- 2) FT10 前面板包含同步通道和计数通道两个数字信号输入接口，两个接口可采用 LVTTTL 或者负电平标准（二者只能选择其一，不能兼容，具体请以出厂设置为准，可参考附录），（LVTTTL 即标准高电平 3.3V，最低不小于 2V，标准低电平 0V，最高不可超过 0.4V；负电平输入范围 0~-2V）。可使用同轴电缆线将信号源与 FT10 主机连接，在诸如荧光寿命测量等应用中，要求时钟参考信号必须接入同步通道，单光子计数信号必须接入计数通道。注意当单光子探测设备为 PMT 时，应注意连接时的静电防护，这是由于 PMT 采用高压电源，容易通过电缆产生静电放电。
- 3) 如果 FT10 的输入信号电平标准为 LVTTTL，则是采用上升沿触发，即进行同步通道-计数通道信号间隔的时间测量时，只关心两个输入信号的上升沿时间（而与脉冲宽度无关）。因此输入信号质量与直方图统计结果相关：在不考虑信号本身抖动的情况下，如果输入信号的上升沿较快，则其时间不确定性更小，直方图上显示的统计包络也更窄。反之，如果输入信号的上升沿较慢，则直方图上显示的统计包络会更宽。因此我们推荐使用传输质量较好的电缆线，并且建议电缆线的长度不要超过 3 米。此外，为保证时间测量结果不受线长影响，同步通道和计数通道采用的电缆线应该等长。
- 4) 采用 USB 线将 FT10 与 USB 连接时，应确保数据接收端的设备支持 USB3.0。如果电脑的驱动已经正确的安装，FT10 设备将被自动识别（USB 驱动部分说明详见软件安装章节）。由于时间信息上传时数据量比较大，为保证正确

传输，USB 线长也应控制在 5 米以内，FT10 支持 USB 与 HUB 连接，这意味着可以用同一台电脑控制多个 TCSPC 设备。

## 五、软件说明

### 1. 软件安装

- 1) 点击“setup.exe”，按照引导完成程序安装；
- 2) USB 驱动安装：主机上电，使用原装 USB 线连接主机和电脑，在“设备管理器”中会出现“Device Model Name”，右键选择“更新驱动程序软件”—“浏览计算机以查找驱动程序软件”，选择附带 U 盘中的“USB 驱动”文件夹下的“driver”，对应操作系统选择具体的驱动程序（例如 win10 系统选择 driver\win8\x64），最后点击下一步完成驱动程序安装，安装成功后设备管理器里面会显示“Cypress USB StreamerExample”；

### 2. 主界面

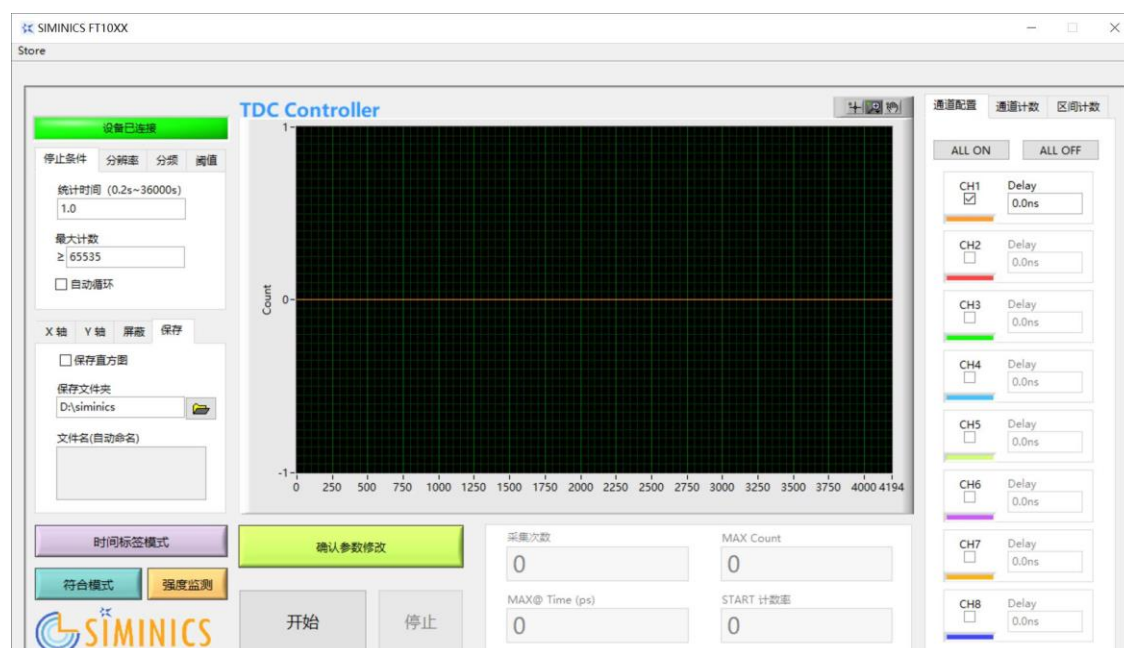


图 5.1 程序主界面

FT10 专用控制软件采用 Labview 平台编写，程序可分为显示和控制两大部分。软件主界面为直方图模式（我们也称之为 T1 模式）以及设备的基本参数配置。通过主界面按钮，能够打开三个子应用程序，分别为“时间标签模式”“符合模式”和“强度监测”。

具体功能如下：

## 1) 连接检查

连接检查在程序开启时对设备进行状态查询，正确连接时，指示灯变为绿色，并显示“设备已连接”，出现连接问题时，指示灯变为红色，并显示“设备未连接”；



图 5.2 设备连接指示

**注意：**当未连接时，程序将不断重试设备连接，在正确连接前，程序面板无法操作。

## 2) 停止条件

停止条件用于设置 FT10 工作在直方图模式时，数据采集在满足何种条件时停止。分为“统计时间”和“最大计数”两种停止模式。界面如下图：



图 5.3 停止条件控件

-**统计时间：**设定数据的采集时间，设定范围为 0.2s ~ 36000s；

-**最大计数：**设定采集数据的最大计数值，在数据采集过程中，直方图中任一时间窗口的计数值大于或等于该设定计数值时，该次数据采集停止。最大计数设定范围为  $1 \sim 2^{32}$ ；

注意：时间和最大计数两种停止条件，只要任意一个达到要求，即触发停止。例如设定统计时间 10s，最大计数 65535。如果最大计数达到 65535，时间未达到 10s，也触发采集停止；反之，如果最大计数始终未达到 65535，则采集在 10s 后停止。

注意：“统计时间”这个参数设定的是 TCSPC 设备的有效采集时间，而程序执行完毕的实际耗时会比设定时间略长。多余的时间是由于数据传输和处理带来的额外时间消耗。因此，直方图模式对数据的采集实际上不是连续的，而是存在着一定的占空比，如果在对数据完整性和实时性特别高的情况下，请使用“时间标签模式”，具体说明请参见相关章节。

-**自动循环**：当选择“自动循环”时，软件会以“统计时间”或者“最大计数”为停止条件，重复地开始和停止数据采集。在此模式下保存的数据为最后一次刷新的数据。

### 3) 时间分辨率设置



图 5.4 时间分辨率界面

-**分辨率(ps)**：该功能可用于设置时间分辨率，FT10 提供 64ps、128ps、256ps、512ps、1024ps、2048ps...33554432ps 多个可配参数。该参数即代表直方图中 X 轴坐标每一格的时间长度。（注意该设置仅对 T1 和 T3 模式有效，T2 模式下的时间分辨率固定为 64ps，具体参见“时间标签模式”说明）。

### 4) 分频设置



图 5.5 分频控件

-**分频**：用于设置同步通道的分频，通常在同步信号重复频率较高的情况下开启。FT10 可提供 1、2、4、8 四个可配分频参数，默认值为 1。

## 5) 阈值

该功能可以对负脉冲信号进行甄别，在荧光寿命实验中通过调节阈值来消除噪声干扰。**注意：仅对负电平有效！**



图 5.6 阈值控件



## 6) X 轴设置

图 5.7 X 轴设置

**-X 标尺配置范围:**手动设定 X 标尺的最小值/最大值,可配置范围为 0 ~ 65535;

**-坐标单位:**默认“Time(ns)”,此时直方图横坐标单位为 ns;如点选“Num”,则直方图横坐标单位时间窗口的序列(最大单元计数值为 65535),每一个序列对应的时间长度为 TCSPC 设置的时间分辨率。

## 7) Y 轴设置

图 5.8 Y 轴设置

**-自动调整:**开关按钮。开启时,直方图中的 Y 坐标最大值,即最大计数范围随着直方图中最大计数值的改变自动调整,从而保证计数值变化过程中所有直方图始终保持可见。关闭则取消该功能;

**-Y 标尺配置范围：**可手动设定 Y 标尺的最小值/最大值，可配置范围为 0 ~ 65535；

注意：当“自动调整？”功能开启时，Y 标尺的最大最小值控件被禁用，输入框变为灰色；

**-坐标模式：**点选“Log”时，纵坐标数据按对数形式显示（该功能多用于荧光寿命测量），点选“Line”时，纵坐标数据按线性形式显示。

## 8) 屏蔽设置



图 5.9 屏蔽设置

**-屏蔽时间窗口设置：**设置 Start 开始后的屏蔽时间，在该时间窗口范围内采集的光子计数不计入统计，该功能主要用于消除杂散信号。

**-可配时间窗口范围：**0~4000 .0 ns，默认为 0 ns；

## 9) 直方图数据保存

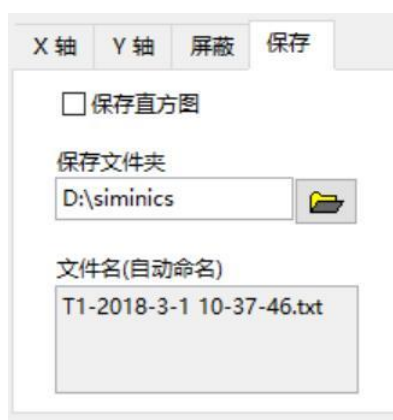


图 5.10 直方图数据保存

**-保存直方图：**点击是否保存直方图数据。显示“√”时为保存，不显示“√”则不保存数据（仅保存累计叠加后的数据）；

**-保存文件夹：**指定要保存数据的文件夹位置；

**-文件名：**直方图数据文件保存时的文件名，该文件名为自动命名，其命名规律为“T1-年-月-日 时-分-秒.txt”，件默认保存在“D:\siminics”文件夹中，通过文件夹控件右边的按钮，可以直接打开保存的文件夹；

直方图保存的文件数据格式如下：

```

1 Device Type: FT1040
2 Firmware Version: 2018031500091609
3 Data For Channels: ch1 ch2 ch3 ch4
4 Start Frequency Division: 1
5 Window Resolution: 64ps
6 Mask Window: 0.0ns
7 Start Threshold: -100mV
8 Stop Threshold: -100mV
9 Stop Delay: ch1 0.0ns, ch2 0.0ns, ch3 0.0ns, ch4 0.0ns
10
11 MAX(For All Channels) @944000ps on CHANNEL:ch3
12
13 MAX(Channel:ch1) @0ps
14 Time(ps) Count
15 0 0
16 64 0
17 128 0
18 192 0
19 256 0
20 320 0
21 384 0
22 448 0
23 512 0
24 576 0
25 640 0
26 704 0
27 768 0
28 832 0
29 896 0
30 960 0
31 1024 0
32 1088 0

```

图 5.11 直方图数据保存

文件头部分包含了设备型号、固件版本、启用通道等基本设置信息。数据正文分为两列，第一列是时间窗，单位为皮秒，第二列是对应时间窗的计数值。当开启了多组通道时，文件会按通道编号顺序保存每个通道的直方图信息。

## 10) 通道配置与计数

该控件区域用于选择使能通道，以及设置相应通道的延迟。

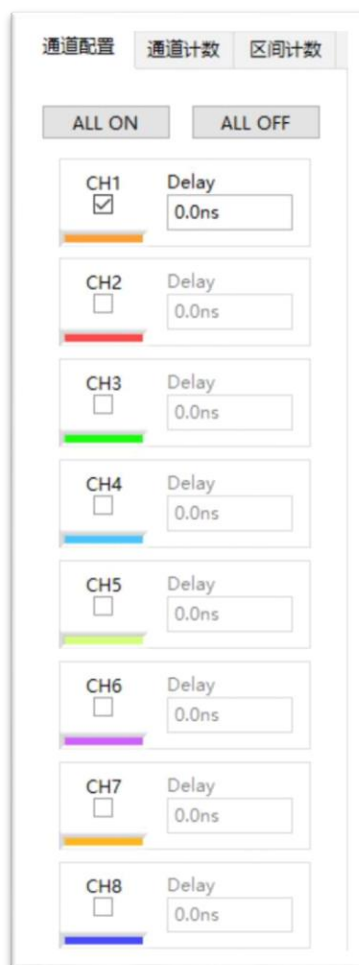


图 5.11 通道配置界面

软件系统会自动识别机器型号并开放相应的通道号，未开放的通道和延迟配置控件会被禁用；

以下是各型号产品开放的通道号：

FT1010：CH1；

FT1040：CH1、CH2、CH3、CH4；

FT1080：CH1、CH2、CH3、CH4、CH5、CH6、CH7、CH8。

**-Delay：**可配置每个对应通道的延迟时间，配置范围：-1000.0～+1000.0 ns；

**-ALL ON：**开启所有通道；

**-ALL OFF：**关闭所有通道；

注意：FT10 系列支持最多 8 个通道的同时观测，启用多通道后，会同时显示多通道的直方图数据，并用不同的颜色区分，如下图所示。同时，保存的数据也会和启用的通道对应。

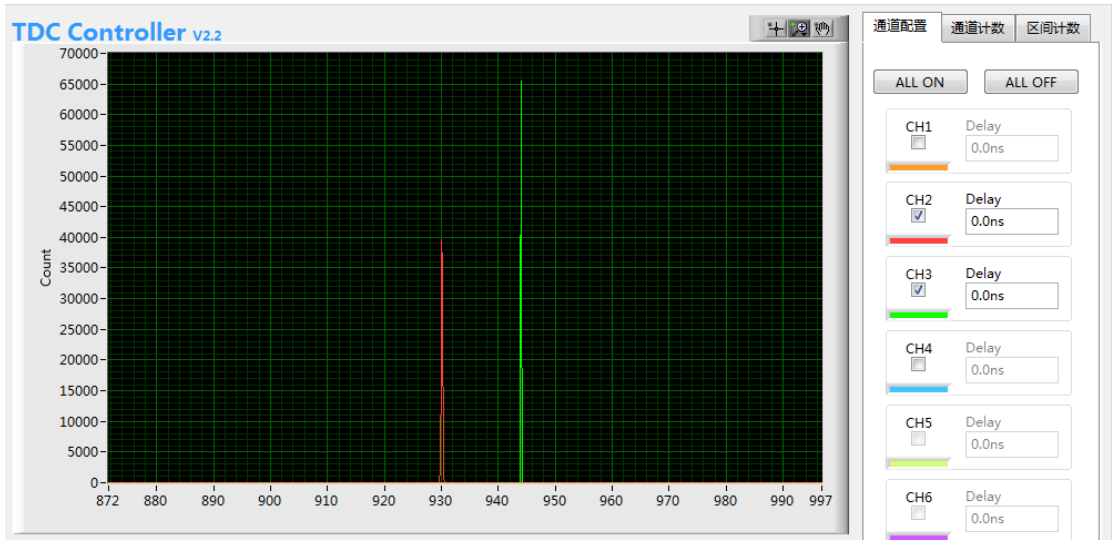


图 5.12 多通道同时显示

11) 通道计数

实时显示每个通道的计数率，如下图所示：



图 5.13 多通道计数界面

## 12) 区间计数

设置统计的时间区间范围，显示统计区间内的各通道计数；区间计数常用于在存在噪声的情况下，观察有效信号的计数，而忽略掉背景噪声计数的影响。

注意：区间计数显示的计数值是设定时间范围内的所有窗口的计数总和（注意不是计数率），因此往往会大于曲线的Y坐标峰值。

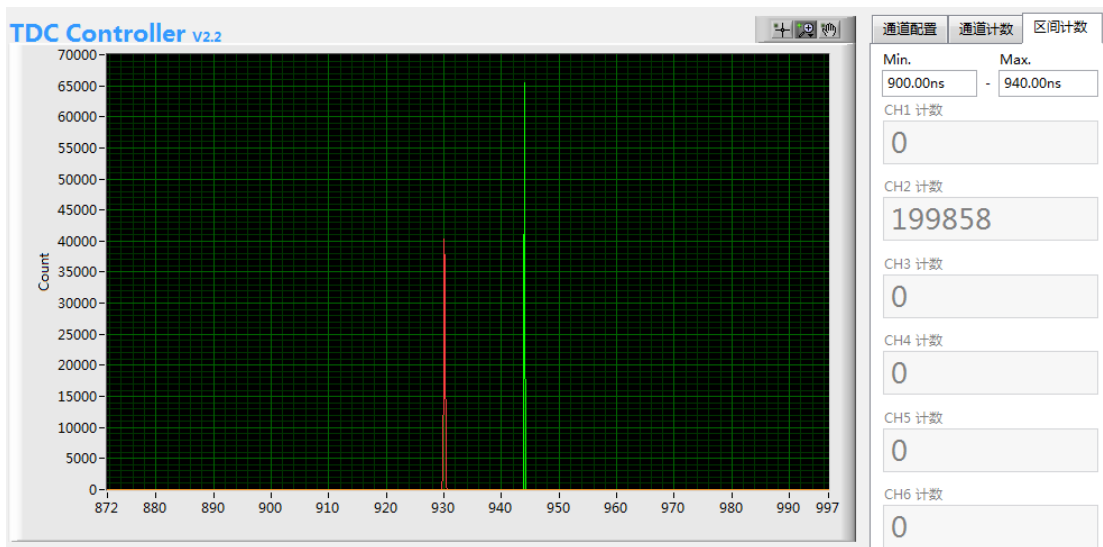


图 5.14 区间计数示意图

-**Min.:** 时间区间的最小值，单位 ns；

-**Max.:** 时间区间的最大值，单位 ns；

## 13) 子模式启动按钮

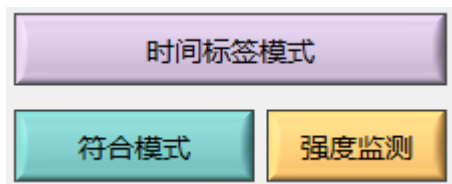


图 5.15 子模式启动按钮

FT10 软件支持三种特定功能的子应用程序，点击按钮及进入对应的程序界面。分别是“时间标签模式”“符合模式”“强度监测”三种模式，具体的界面操作和使用说明请见对应章节。

注意：当启动子应用程序后，软件主界面处于锁定状态，无法进行任何操作和响应。

#### 14) 采集和停止按钮



图 5.16 采集和停止按钮

-**开始：** 程序进入数据采集模式，采集期间界面大部分功能和配置控件被禁用，当满足停止条件或点击“停止”按钮后，采集过程终止；

-**停止：** 点击该按钮即中止数据采集；

-**确认参数修改：** 在更改界面设置后，应点击该按钮以确认实现配置，不过该操作并非必需，软件界面大多数配置更改是实时更新的。

#### 15) 状态显示区

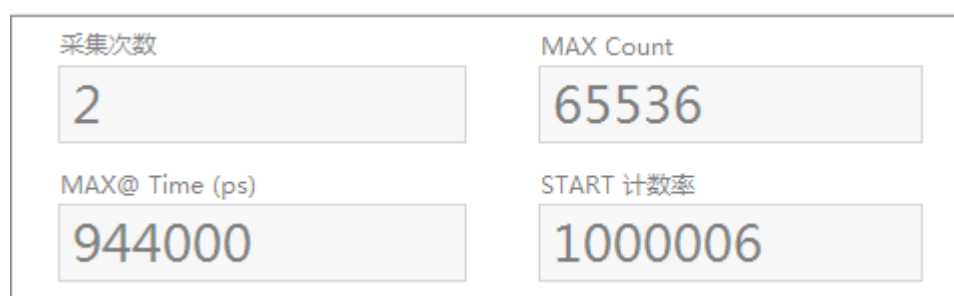


图 5.17 状态显示区

-**采集次数：** 表示设备内部执行采集的次数，在设备正常运作时，该显示值将一直增加；

-**MAX Count：** 显示直方图的最大计数值；

- MAX@ Time (ps)**: 直方图最大计数值对应的横坐标时间，单位为皮秒；
- START 计数率**: 显示同步信号 SYNC 的实时计数率。

## 16) Store 功能

Store 功能用于保存当前界面的所有参数，以便在重新启动程序时能够方便的调用。



图 5.18 Store 功能示意图

- Save**: 保存软件的配置，可保存四组配置；
- Load**: 导入之前保存的软件配置。

## 3. 时间标签模式

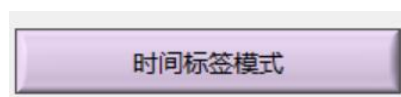


图 5.19 时间标签模式按钮

时间标签模式是一种数据流记录的特殊模式。在这种模式下，FT10 在同一个参考时间轴上对每一个“有效事件”（例如同步时钟信号或光子计数信号）打上“时间标签”，从而可以最为完整的还原所有事件的先后顺序和出现的时间。这种模式和直方图模式的区别在于：直方图模式显示的是一段时间内所有光子信号相对于同步信号的时间分布，反映的是统计意义上的时间关系；而时间标签模式对每一个有效信号进行独立记录，按照先后顺序记录下每一个事件的通道号和时间信息。因此，时间标签文件记录的是信号的原始信息，依照这个文件可以对数据进行任意的分析和统计，包括生成直方图。

时间标签模式具体 分为 T2 和 T3 两种模式。



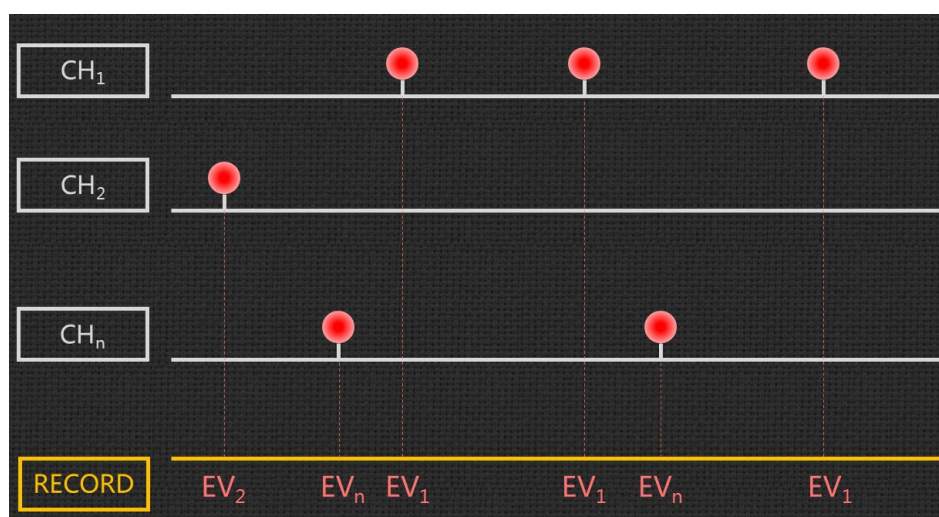


图 5.20 T2 模式示意图

**T2 模式：**如图 5.20 所示，T2 模式对 STOP 通道的所有有效事件进行记录，并按照到达的时间先后顺序进行排序，设备会对每一个事件的时间、通道等信息进行记录，以便在解析时加以区分。T2 模式记录的事件信息是最完整的，同时保存的数据文件也最大。

注意：除了单通道型号 FT1010 外，FT1040 和 FT1080 不会记录 SYNC 的信号，只记录 STOP 通道 CH1-CH8 的信号。

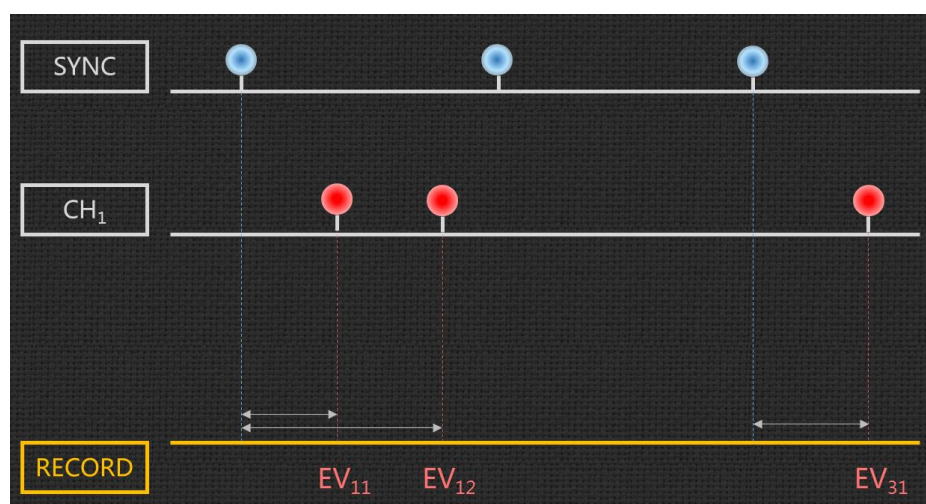


图 5.21 T3 模式示意图

**T3 模式：**在某些应用，例如荧光寿命测量和远距离单光子测距系统中，关注的是光子信号和同步信号 SYNC 之间的相对时间  $\Delta T$ ，至于每个信号出现的具体时间反到不需要关心。T3 模式就是专门用于记录  $\Delta T$  的一种模式。它记录的是光子信号和与之对应的 SYNC 信号之间的时间差。这种记录方式涵盖的另一层意义是：它只有在有光子信号的前提下，才会触发记录，这对于荧光寿命测量

和远距离单光子测距而言，可以有效的减少数据量。因为这些应用中光子信号非常微弱，导致每个 SYNC 触发后得到有效光子信号的概率很低（例如，在荧光寿命应用中，SYNC 后面得到有效光子信号的概率约为 1%）。T3 模式可以保证只有有效的数据才会被记录，而不像 T2 那样记录下所有出现的事件。

## 1) 时间标签模式界面

主界面点击时间标签模式按钮，弹出界面如下：



图 5.22 时间标签模式界面

- 模式选择**：选择以 T2 或 T3 格式保存；
- 通道选择**：选择使能通道，勾选的通道数据会被记录；
- 时间停止**：以统计时间为停止条件；
- 统计时间 (s)**：设定数据的采集时间，当选择时间停止时，如果设备达到了设定的统计时间会停止采集数据，上限为 100 个小时；
- 耗时**：实际采集数据所花的时间；
- 事件停止**：以统计事件数为停止条件；
- 统计事件数**：设定采集数据的事件数，当选择事件停止时，如果设备达到了设定的事件数会停止采集数据；

-**实际事件数**：实际统计的事件数；

-**保存文件夹**：设置数据的保存目标路径；

-**文件名自动添加时间后缀**：保存的时间标签文件，其文件名中会自动加上保存时的系统时间，该项默认开启；

-**分割文件保存**：当文件数据量较大时，软件会对保存的文件进行分割，连续保存的多个文件会自动添加后缀“s0”、“s1”、“s2”、“s3”...，该项默认开启；

-**保存为二进制数据**：数据格式为二进制，该数据是原始数据；

-**保存为文本数据**：数据格式为十进制；

注意：因时间标签模式下存储的数据文件比较大，请合理设置采集时间。建议使用数据编辑软件“UltraEdit”打开文件；

## 2) 如何解析 T2 原始数据？

打开 T2 模式保存的二进制格式文件后，会看到类似下图的十六进制数据：

```
EB 90 B7 12 02 00 6a ab 04 00 36 C1 02 00 73 03
04 00 73 CA 02 00 B0 0C 04 00 B0 D2 02 00 ED 15
04 00 ED DA 02 01 2A 1D 04 01 2A E3 02 01 67 26
04 01 67 EB 02 01 A4 2E 04 01 A4 F4 02 01 E1 38
04 01 E1 FD 02 02 1E 3F 04 02 1F 07 02 02 5B 4A
04 02 5C 10 02 02 98 53 04 02 99 19 02 02 D5 5C
04 02 D6 22 02 03 12 65 04 03 13 2B 02 03 4F 6E
04 03 50 34 02 03 8C 77 04 03 8D 3D 02 03 C9 80
04 03 CA 46 02 04 06 89 04 04 07 4F 02 04 43 90
04 04 44 58 02 04 80 99 04 04 81 60 02 04 BD A2
04 04 BE 67 02 04 FA AB 04 04 FB 70 02 05 37 B4
04 05 38 7A 02 05 74 BF 04 05 75 84 02 05 B1 C8
04 05 B2 8D 02 05 EE D1 04 05 EF 96 02 06 2B D8
04 06 2C 9F 02 06 68 E1 04 06 69 A8 02 06 A5 E9
04 06 A6 AF 02 06 E2 F2 04 06 E3 B7 02 07 1F FB
04 07 20 C0 02 07 5D 04 04 07 5D C9 02 07 9A 0D
04 07 9A D2 02 07 D7 16 04 07 D7 DC 02 08 14 20
04 08 14 E7 02 08 51 29 04 08 51 F0 02 08 8E 32
04 08 8E F8 02 08 CB 3B 04 08 CC 00 02 09 08 43
04 09 09 08 02 09 45 4C 04 09 46 11 02 09 82 53
04 09 83 1A 02 09 BF 5C 04 09 C0 23 02 09 FC 66
04 09 FD 2C 02 0A 39 6F 04 0A 3A 35 02 0A 76 78
04 0A 77 3E 02 0A B3 82 04 0A B4 46 02 0A F0 8B
04 0A F1 50 02 0B 2D 94 04 0B 2E 59 02 0B 6A 9D
04 0B 6B 63 02 0B A7 A6 04 0B A8 6C 02 0B E4 AE
04 0B E5 75 02 0C 21 B6 04 0C 22 7E 02 0C 5E BF
04 0C 5F 85 02 0C 9B C7 04 0C 9C 8D 02 0C D8 D1
04 0C D9 96 02 0D 15 DA 04 0D 16 9E 02 0D 52 E3
```

图 5.23 T2 模式保存的原始文件数据

原始数据中包含了以下几种数据类型：

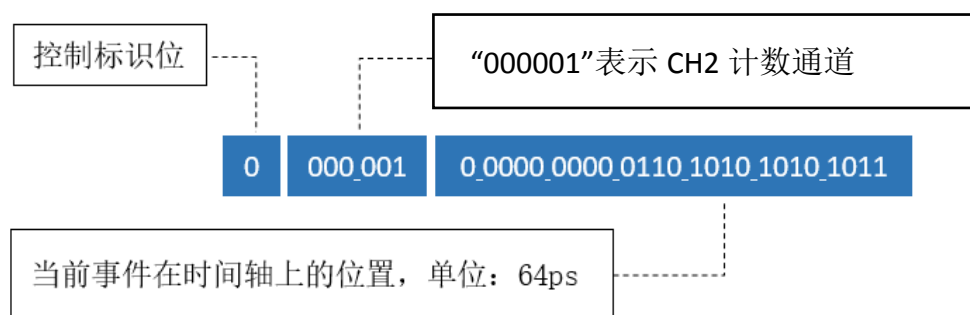
- 1、起始位：固定为“EB 90 B7 12”，用于标识数据起始；
- 2、结束位：固定为“EE EE DD DD”，用于标识数据结束；
- 3、有效事件：从仪器界面 CH1-8 输入的信号，其时间标签数据即为有效事件，数据中用 32bit，即 4 个字节表示一个事件，如上图中，“02 00 6a ab”代表第一个事件。【注意：T2 模式不会记录 SYNC 的信号】
- 4、时间信息溢出指示：在“有效事件”数据中，低 25bit 用于表示该事件的时间信息，当 25bit 计满溢出后，将清零重新计数，因此这个“溢出”事件需要一个指示，以保证时间流的顺序性，这个指示就是“时间信息溢出指示”。
- 5、Marker 信号：通过前面板的 M1、M2、M3、M4 四个接口连接输入的信号称为 Marker 信号。Marker 信号常用于对数据的分割和分类，例如在荧光寿命成像中，常用 Marker 信号来标记不同的行同步和帧同步信息。请注意 Marker 信号并不记录具体的时间信息，因为其在数据中出现的位置即可实现分割效果，相当于在数据中插入了一些标签。

为方便说明，在解析 T2 数据时，首先将十六进制数据转换为二进制格式，每一个有效数据包含了 32bit 信息，其中最高 1bit 是控制标识位，最低 25bit 表示时间信息位，其余 6bit 表示通道信息位。具体说明如下表所示：

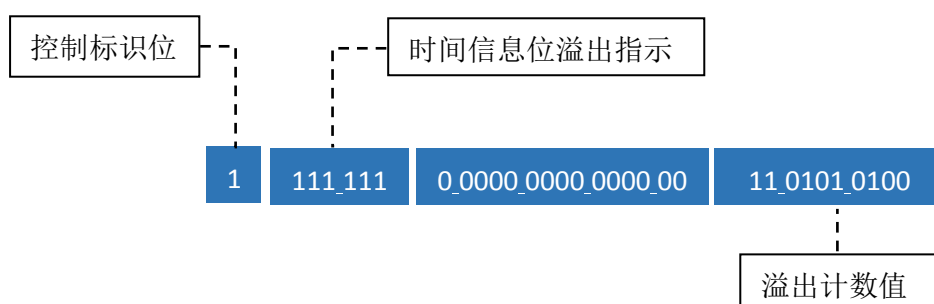
MSB → LSB (32bit)		
控制标识位 (1bit)	通道信息位 (6bit)	时间信息位 (25bit)
“0”：表示该数据为“有效事件”；	“000000”：表示 CH1 通道； “000001”：表示 CH2 通道； “000010”：表示 CH3 通道； “000011”：表示 CH4 通道； “000100”：表示 CH5 通道； “000101”：表示 CH6 通道； “000110”：表示 CH7 通道； “000111”：表示 CH8 通道；	事件时间信息 (cur_val) 时间单位：64ps
“1”：表示该数据为时间溢出指示或 Marker 信号；	“111111”：表示时间信息位溢出指示。	最低 10 位用来表示溢出计数值 (ovfl_val)
	“00xxxx”：其中 xxxx 依次对应 M4-M1，对应位为 1 表示存在一个对应 Marker 指示；	全 0

表 5.1 T2 模式数据位说明

以 0200 6AAB 为例，转换为二进制：



以 FE00 0354 为例，转换为二进制：



## T2 数据的时间轴扩展

单从数据上看，每一个有效事件的时间信息不会超过  $2^{25} \times 64\text{ps}$ ，即 2.15ms 左右，但是由于溢出指示的存在，每隔 2.15ms 左右，数据中就会出现一个时间信息溢出指示。因此我们可以借助于溢出计数值（ovfl\_val），计算出每个有效事件出现的真实时间。通过这种方式可以实现时间轴的扩展，并且从理论上而言，T2 可以记录的时间轴长度是无限的。

计算公式如下：

$$= (\text{ovfl\_ovfl\_val} \times \text{T2\_OVFL\_OVFL\_NUMBER} + (\text{ovfl\_val} + 1) \times \text{T2\_OVFL\_NUMBER} + \text{cur\_val} + 1) \times 64\text{ps}$$

其中各参数代表的涵义如下：

参数名称	参数定义	数值	单位
ovfl_val	见 T2 模式数据格式具体定义表		
ovfl_ovfl_val	溢出计数值 ovfl_val的溢出次数	上位机计算ovfl_val溢出次数	
T2_OVFL_NUMBER	事件时间信息溢出一次的时间值	$2^{25}$	64ps
T2_OVFL_OVFL_NUMBER	溢出计数值 ovfl_val 本身发生一次溢出事件时的时间值	$2^{10}$ $\times$ T2_OVFL_NUMBER	64ps
cur_val	见 T2 模式数据格式具体定义表		

表 5.2 T2 模式数据时间轴扩展说明

### T2 模式文本数据格式

左边“Flag”对应“控制标识位”，中间“Channel/Indicator”对应“通道信息位/溢出指示”，右边“Time”对应“时间信息位”，如下图所示；

```

1 Resolution 64ps
2 Start_cps 999986cps
3 Start_Vthreshold -100mV
4 Stop_Vthreshold -100mV
5 Division 0
6 Delay CH1,2,3,4,5,6,7,8 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.
7 Mode T2
8 End_mode Time
9 statistical_time 0.2s
10 Actual_time_consuming 0.201000s
11 statistical_Events 1000000
12 Actual_Events 0
13 Flag Channel/Indicator Time
14 0 1 3600
15 0 0 3785
16 0 1 19225
17 0 0 19408
18 0 1 34851
19 0 0 35034
20 0 1 50476
21 0 0 50660
22 0 1 66103
23 0 0 66286
24 0 1 81728
25 0 0 81911
26 0 1 97354
27 0 0 97536
28 0 1 112978
29 0 0 113163
30 0 1 128604
31 0 0 128787
  
```

图 5.24 T2 模式保存的文本数据



### 3) 如何解析 T3 原始数据？

打开 T3 模式保存的二进制格式文件后，会看到类似下图的十六进制数据：

```

EB 90 B7 13 01 09 50 00 04 6D 68 00 02 6A 00 01
04 6D 60 01 02 6A 00 02 04 6D 5C 02 02 6A 00 03
04 6D 5C 03 02 69 F8 04 04 6D 58 04 02 69 FC 05
04 6D 5C 05 02 6A 04 06 04 6D 60 06 02 6A 00 07
04 6D 64 07 02 6A 04 08 04 6D 64 08 02 6A 04 09
04 6D 64 09 02 6A 08 0A 04 6D 64 0A 02 6A 10 0B
04 6D 64 0B 02 6A 0C 0C 04 6D 64 0C 02 6A 08 0D
04 6D 64 0D 02 6A 00 0E 04 6D 58 0E 02 69 FC 0F
04 6D 58 0F 02 69 F4 10 04 6D 54 10 02 69 FC 11
04 6D 58 11 02 6A 04 12 04 6D 60 12 02 6A 08 13
04 6D 64 13 02 6A 08 14 04 6D 64 14 02 6A 0C 15
04 6D 68 15 02 6A 10 16 04 6D 68 16 02 6A 0C 17
04 6D 64 17 02 6A 08 18 04 6D 60 18 02 6A 00 19
04 6D 5C 19 02 69 FC 1A 04 6D 54 1A 02 69 F8 1B
04 6D 54 1B 02 69 F8 1C 04 6D 58 1C 02 69 F8 1D
04 6D 54 1D 02 6A 04 1E 04 6D 60 1E 02 6A 08 1F
04 6D 64 1F 02 6A 08 20 04 6D 64 20 02 6A 0C 21
04 6D 68 21 02 6A 0C 22 04 6D 68 22 02 6A 08 23
04 6D 64 23 02 6A 00 24 04 6D 64 24 02 69 F8 25
04 6D 58 25 02 69 FC 26 04 6D 54 26 02 69 FC 27
04 6D 54 27 02 69 FC 28 04 6D 54 28 02 6A 00 29
04 6D 5C 29 02 6A 00 2A 04 6D 60 2A 02 6A 08 2B
04 6D 64 2B 02 6A 08 2C 04 6D 64 2C 02 6A 00 2D
04 6D 64 2D 02 69 FC 2E 04 6D 5C 2E 02 6A 08 2F
04 6D 5C 2F 02 6A 04 30 04 6D 5C 30 02 6A 00 31
04 6D 58 31 02 6A 00 32 04 6D 58 32 02 6A 04 33
04 6D 5C 33 02 6A 00 34 04 6D 5C 34 02 6A 00 35

```

图 5.25 T3 模式保存的原始文件数据

原始数据中包含了以下几种数据类型：

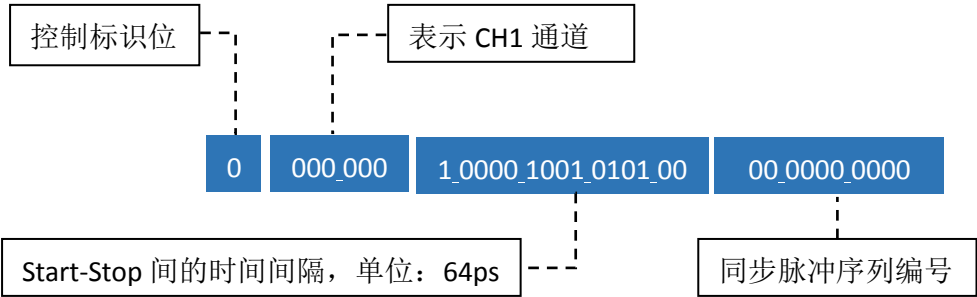
- 1、起始位：固定为“EB 90 B7 13”，用于标识数据起始；
- 2、结束位：固定为“EE EE DD DD”，用于标识数据结束；
- 3、有效事件：光子计数信号和相应的 SYNC 信号之间的间隔；
- 4、同步脉冲序号溢出指示：在“有效事件”数据中，低 10bit 为“同步脉冲序列号”，用于表示该事件对应了哪一个 SYNC 信号（在 T3 模式中，并不是每一个 SYNC 都会被记录），当 10bit 计满溢出后，将清零重新计数，因此这个“溢出”事件需要一个指示，以保证时间流的顺序性，这个指示就是“同步脉冲序号溢出指示”。
- 5、Marker 信号：通过前面板的 M1、M2、M3、M4 四个接口连接输入的信号称为 Marker 信号。

T3 模式下的数据格式具体定义见下表：

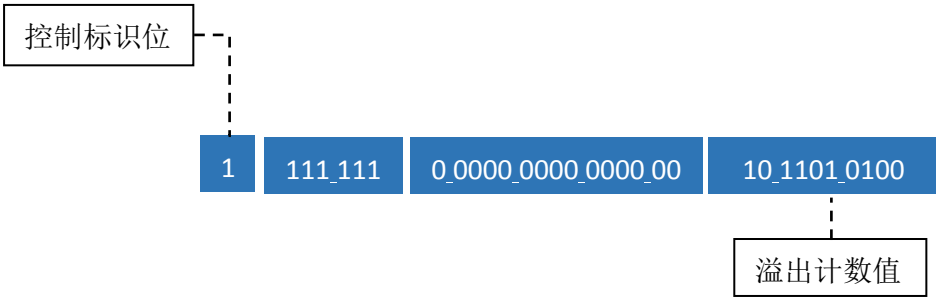
MSB → LSB (32bit)			
控制标识位 (1bit)	通道信息位 (6bit)	时间信息位 (15bit)	同步脉冲序列号 (10bit)
“0”：表示低 31bit 代表 <b>事件 记录信息</b> 指 示。	“000000”：表示 CH1 通道； “000001”：表示 CH2 通道； “000010”：表示 CH3 通道； “000011”：表示 CH4 通道； “000100”：表示 CH5 通道； “000101”：表示 CH6 通道； “000110”：表示 CH7 通道； “000111”：表示 CH8 通道；	同步通道-计数通道 间的时间间隔 时间单位：当前配置 时间分辨率	当前同步脉冲序列 编号 (cur_sync_num)
“1”：表示低 31bit 代表一些 特殊指示信 息：	“111111”：表示同步脉冲序 号溢出指示。	全 0	表示溢出计数值 (sync_ovfl_val)
	“00xxxx”：其中 xxxx 依次 对应 M4-M1，对应位为 1 表示存在一个对应 Marker 指示。	全 0	全 0

表 5.3 T3 模式数据位说明

以 01095000 为例，转换为二进制数据格式：



以 FE0002D4 为例，转换为二进制数据格式：





与 T2 类似，我们可以利用同步脉冲序列及其溢出指示，来对所有数据在同一时间轴上进行排序。

T3 脉冲序列轴扩展公式：

转换后脉冲序列编号

$$= (\text{sync\_ovfl\_ovfl\_val} \times \textbf{T3\_OVFL\_OVFL\_NUMBER} + (\text{sync\_ovfl\_val} + 1) \times \textbf{T3\_OVFL\_NUMBER} + \text{cur\_sync\_num})$$

参数名称	参数定义	数值	单位
sync_ovfl_val	见 T3 模式数据格式具体定义表		Sync 序列 编号
sync_ovfl_ovfl_val	溢出计数值sync_ovfl_val 的溢出次数	上位机计算sync_ovfl_val溢出 次数	
<b>T3_OVFL_NUMBER</b>	事件时间信息溢出一次的时间值	$2^{10}$	
<b>T3_OVFL_OVFL_NUMBER</b>	溢出计数值 sync_ovfl_val 本身发生一次溢出事件时的 时间值	$2^{10} \times \textbf{T2\_OVFL\_NUMBER}$	
cur_sync_num	见 T3 模式数据格式具体定义表		

表 5.4 T3 模式数据时间轴扩展说明

T3 模式文本数据格式

“Flag” 对应 “控制标识位”， “Channel/Indicator” 对应 “通道信息位/溢出指示”， “Time” 对应 “时间信息位”， “SYNC” 对应“同步脉冲序号位”， 如下图所示。

```

1 Resolution 64ps
2 Start_cps 999986cps
3 Start_Vthreshold -100mV
4 Stop_Vthreshold -100mV
5 Division 0
6 Delay CH1,2,3,4,5,6,7,8 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.
7 Mode T3
8 End_mode Time
9 statistical_time 0.2s
10 Actual_time_consuming 0.201000s
11 statistical_Events 1000000
12 Actual_Events 0
13 Flag Channel/Indicator Time SYNC
14 0 1 12373 0
15 0 0 12555 0
16 0 1 12373 1
17 0 0 12554 1
18 0 1 12373 2
19 0 0 12555 2
20 0 1 12373 3
21 0 0 12556 3
22 0 1 12372 4
23 0 0 12555 4
24 0 1 12372 5
25 0 0 12554 5
26 0 1 12371 6
27 0 0 12555 6
28 0 1 12372 7
29 0 0 12554 7
30 0 1 12372 8
31 0 0 12554 8

```

图 5.26 T3 模式保存的文本数据

#### 4) Marker 信号

仅支持在时间标签模式下使用，通过前面板的 M1、M2、M3、M4 四个接口连接输入的标记信号。

##### 数据格式：

-Marker1：在原始数据中用十六进制表示为：“8200 0000”、转换成二进制：“1000 0010 0000 0000 0000 0000 0000 0000”、其中红色标记部分“000001”是 Marker 信号的通道号位，转换成十进制即：“1”；

-Marker2：十六进制“8400 0000”、二进制“1000 0100 0000 0000 0000 0000 0000 0000”、解析“000010”为十进制“2”；

-Marker3：十六进制“8800 0000”、二进制“1000 1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000”、解析“000100”为十进制“4”；

-Marker4: 十六进制 “9000 0000”、二进制 “1001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000”、解析 “001000” 为十进制 “8”;

另外, Marker 信号之间会出现信号叠加的情况:

例如当 M1 和 M2 同时出现时表示为: 十六进制 “8600 0000”、转换成二进制 “1000 0110 0000 0000 0000 0000 0000 0000”、解析 “000011” 为十进制 “3”, 以此类推出现其他 Marker 信号叠加的情况。

## 4. 符合计数模式

点击主界面的“符合模式”按钮，即进入符合计数模式：

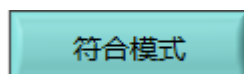


图 5.27 符合模式按钮

符合计数常用于表征光子之间的关联特性，在关联光子对、多光子纠缠、单光子源等实验中有重要作用。星秒 FT10 系列支持最多 8 个通道间的符合，同时还支持最多 16 组符合策略，采用的符合机制如下：

如图所示，以三通道（CH1, CH2, CH3）的符合为例，系统会自动选择编号最小的那个通道（本例中即 CH1）作为主通道，其余（本例中为 CH2 和 CH3）作为从通道，以主通道为中心创建一个时间窗口（该窗口大小由用户设定），当每一个从通道在这个窗口内均有光子计数时，则产生一次有效的符合，最后给出在一定采集时间内的符合计数总和。

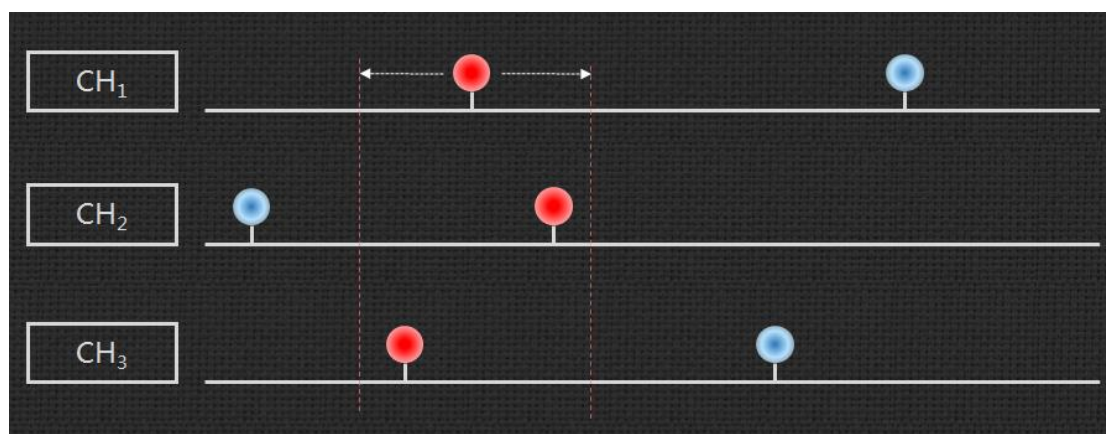


图 5.28 FT10 系列的符合计数原理

符合模式界面如下：

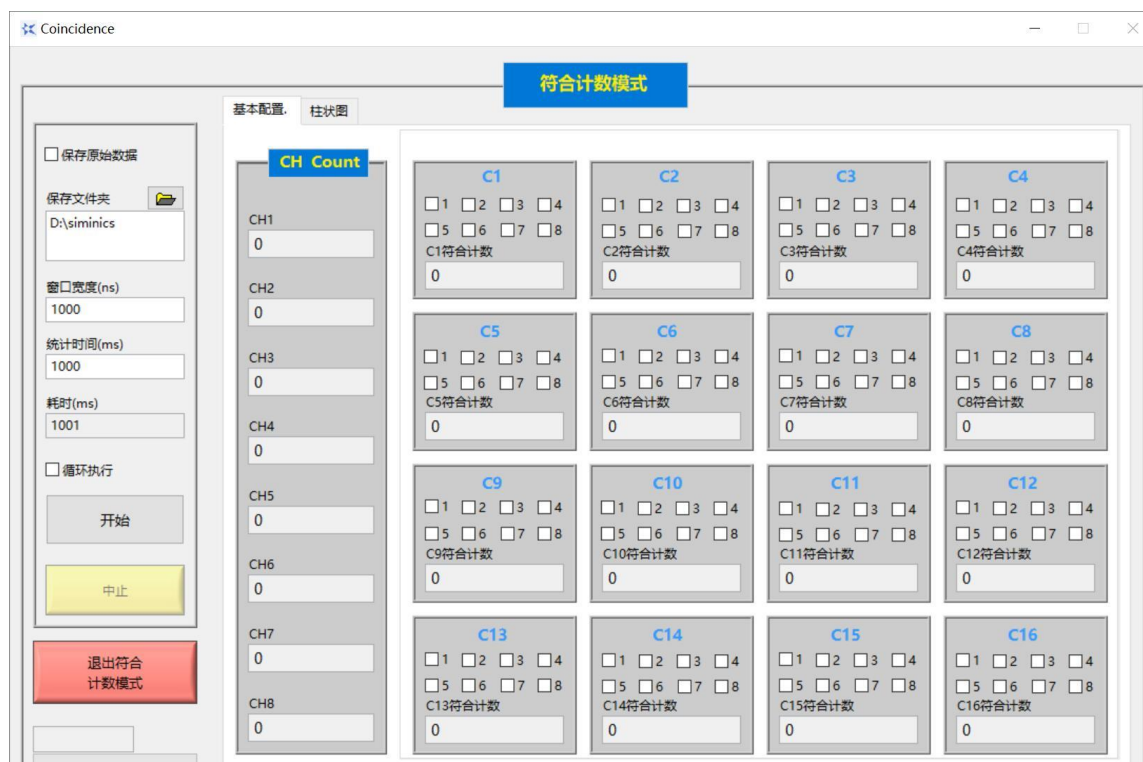


图 5.29 符合模式界面

- 窗口宽度：设置符合窗口的时间宽度，单位为 ns；
- 统计时间：设置数据的采集时间；
- 耗时：实际采集数据的时间；
- 循环执行：当选择“循环执行”时，软件会重复地刷新数据采集的结果，而设置的“统计时间”则为刷新的间隔时间。
- 保存原始数据：可以选择是否保存原始数据（即 T2 数据）；
- CH Count：实时显示每个通道的计数率（指该通道的所有输入信号的计数率，而非满足符合条件的计数率）；
- C1~C16：可以实现 16 组不同的策略的符合计数。可以在多通道之间任意配置（至少需要选择两个通道），符合结果会显示在底部白色框内；
- 柱状图：将 CH Count 和符合计数值以柱状图的形式表示出来，如下图所示；



图 5.30 柱状图界面

推荐的符合操作步骤：

- 1、在直方图模式下观察需要符合的信号间的时间关系，利用延迟功能调节相对延迟，以确保待符合的信号在时间窗内；
- 2、设置窗口的上、下限；
- 3、选择需要进行符合的通道，例如在 C1 组内选择 CH1 和 CH2 进行符合，可同时选择 16 组不同的组合方式进行符合计数；
- 4、设置需要统计的时间，然后点击开始，符合计数的结果会显示在底部白色方框内。

## 5. 强度监测模式

强度监测模式用于观测各个通道信号计数随时间的变化关系。点击主界面“强度监测”按钮，即进入该模式。

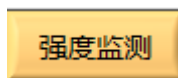


图 5.31 强度监测模式按钮

强度监测模式的界面如下：

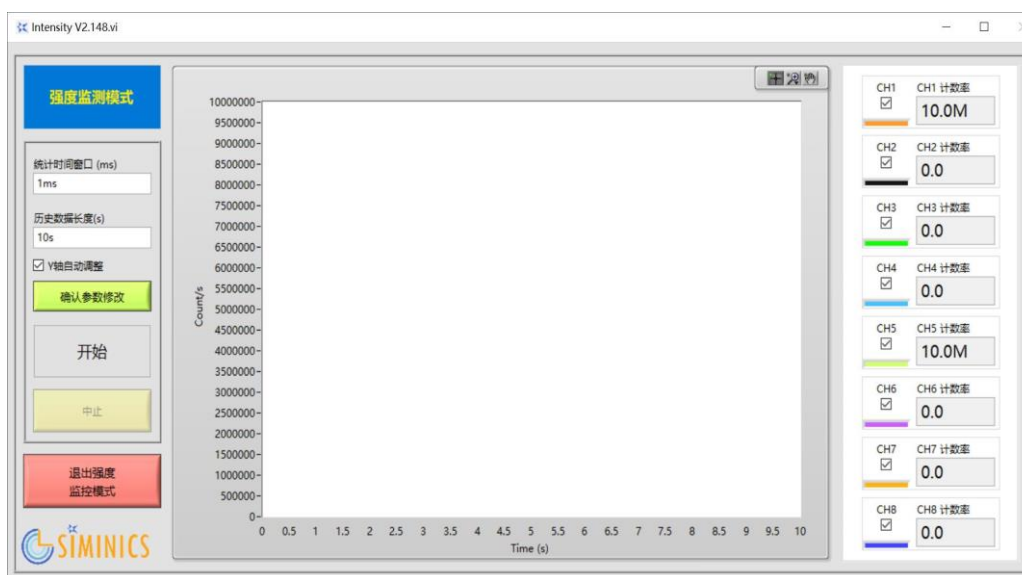


图 5.32 强度监测界面

- 统计时间窗口 (ms)：数据统计的时间长度，可配置范围：1~1000ms；
- 历史数据长度 (s)：即 X 轴的长度，可配置范围：1~100s；
- Y 轴自动调整：勾选后，Y 轴坐标随计数率变化自动调节

## 五、保养与清洁

### 保养

请勿将仪器放置在长时间受到日照或潮湿的地方。

### 清洁

请根据使用情况经常对仪器进行清洁，方法如下：

1. 断开电源；
2. 用潮湿但不滴水的软布（可使用柔和的清洁剂或清水）擦拭仪器外部的浮尘。



#### 警告

重新通电之前，请确认仪器已经干透，避免因水分造成电气短路或人身伤害。



#### 注意

请勿使任何腐蚀性的液体沾到仪器上，以免损坏仪器。



# 附录：

## 参数

<b>通道特性</b>	
计数通道数	1\4\8
同步通道/计数通道接口	SMA
MARKER 信号接口	LEMO
参考时钟输入/输出接口	SMA
START 输入信号电平标准	LVTTL（高阻）
STOP 输入信号电平标准	LVTTL（高阻）
触发方式	上升沿触发
<b>TDC 特性</b>	
瞬时饱和计数率	$100 \times 10^6$ cps
死时间	<10 ns
同步信号分频	1/2/4/8
参考时钟输入/输出	10 MHz（占空比：50%～60%）
可调时间延迟范围	-1000.0～+1000.0 ns
差分非线性	<1% rms
<b>直方图模式</b>	
时间分辨率(ps)	64/128/256/512/1024/2048/.../33554432
单元最大计数值	65535
最大量程	4.19 $\mu$ s @64 ps (时间分辨率×65535)
采集时间范围	0.1 ～ 36000 s
计数器深度	16 bit

时间标签模式	
模式选择	T2/T3
时间分辨率(ps)	64 @T2 64/128/256/512/1024/2048/.../33554432 @T3
最大量程	Infinite @T2 时间分辨率×32768 @T3
计数器深度	32 bit
其他	
数据传输接口	USB 3.0
功耗	10 W
尺寸	300 × 235 × 115 mm <sup>3</sup>
电源接入	110 ~ 230 VAC



201709011437