Chronos

Venus lite series.
16/8 Channel, 0.976 ps
Streaming Time-Digital Converter

Venus Lite Software User Manual

UG-01-3-054-3, Nov. 2026

Chronos Technology specializes in the development of ultra-high precision measurement equipment, offering nanosecond-level synchronization solutions tailored for the quantum, medical, and industrial sectors. For more product information, please visit our official website- *www.chronosci.com*

Chronos

Copyright Notice

Copyright © 2026 by Chronos Technology Inc. All rights reserved.
This document contains information that is proprietary and confidential to Chronos Technology Inc. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher.

1. 上位机软件使用说明

8.1 软件安装说明

官方提供 Venus 上位机软件的安装包。请用户按照以下安装向导完成安装。

为避免安装过程中受到干扰，建议在安装前暂时**关闭系统的防火墙和杀毒软件**。

8.1.1 Windows 系统

8.1.1.1 软件安装步骤

（1）双击运行安装程序

若显示“用户账户控制”弹窗，选择“是”确认。

（2）选择程序安装路径

选择安装路径，建议不要安装到 C 盘（系统盘）。选择后，点击“下一步”。

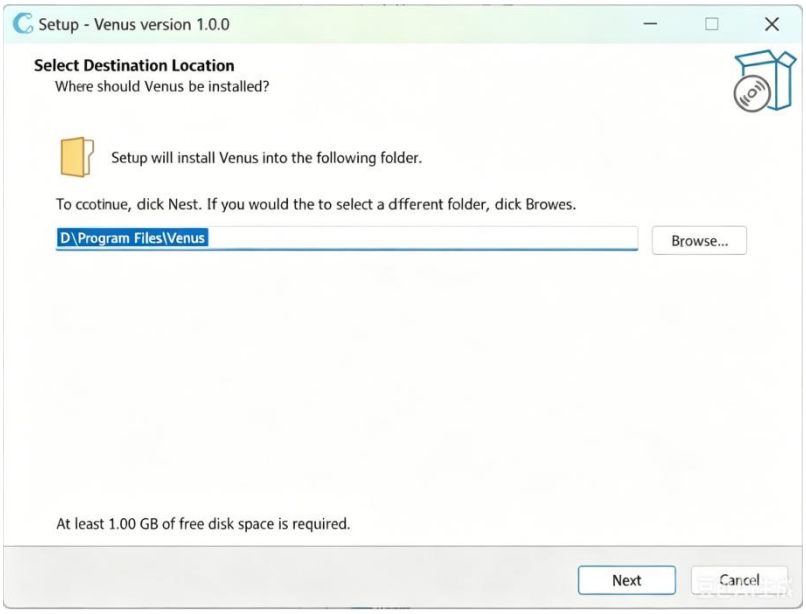


图 1 上位机安装步骤 2

（3）选择是否创建桌面快捷方式

点击“下一步”；

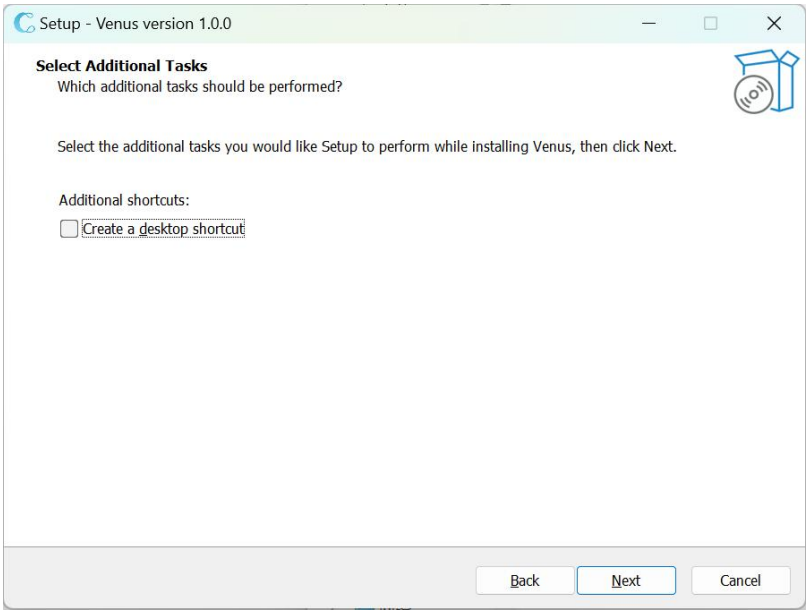


图 2 上位机安装步骤 3

（4）开始安装

点击“install”，将开始安装过程；

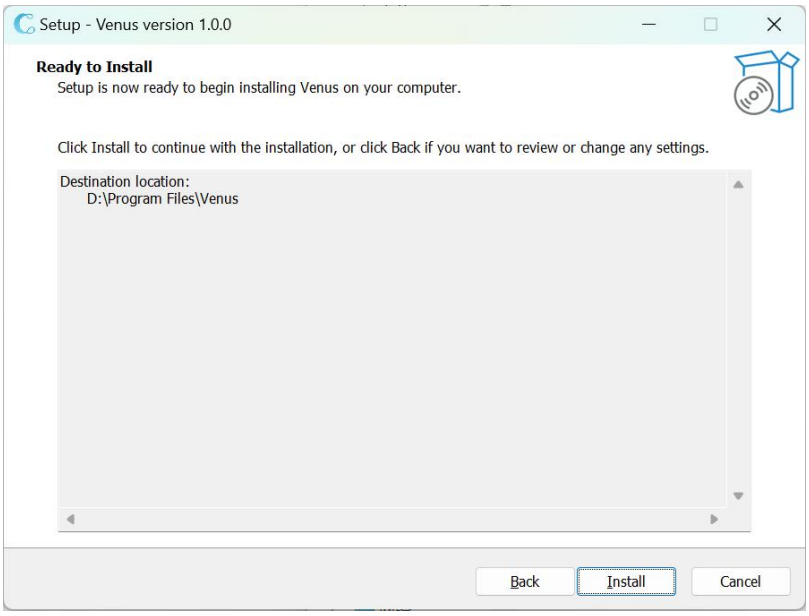


图 3 上位机安装步骤 4

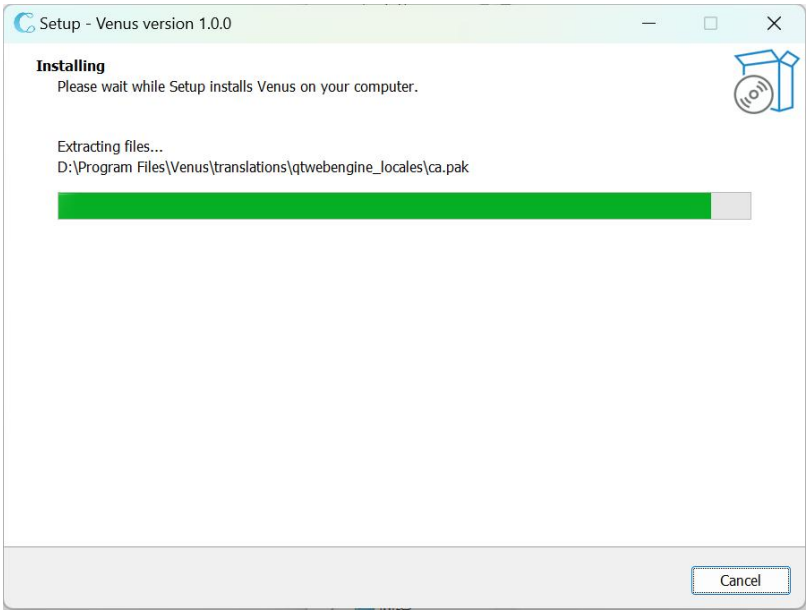


图 4 上位机安装步骤 4 安装过程

（5）安装成功

如果安装成功，将显示如下界面。

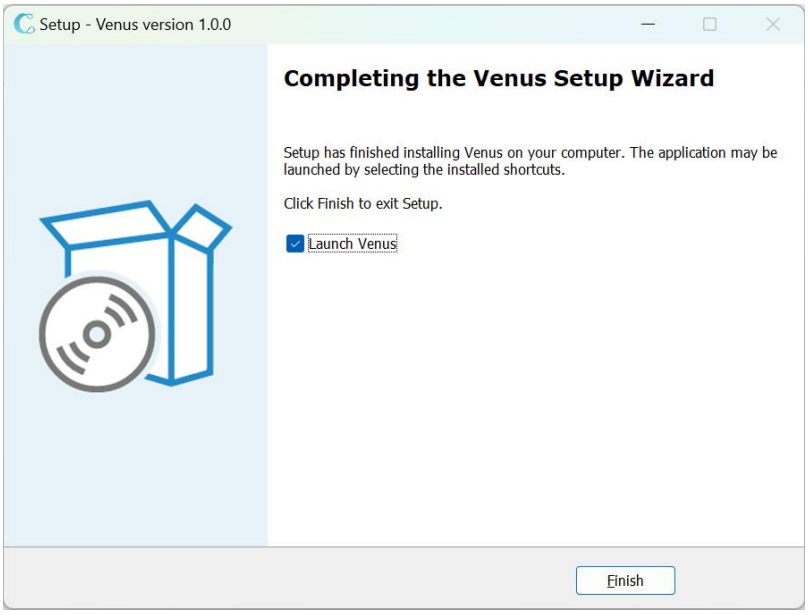


图 5 上位机安装完成

8.1.1.2 软件安装注意事项

（1）USB3.0 驱动安装

安装过程中，软件将静默安装 USB 3.0 驱动程序。设备上电后，若计算机无法识别设备，请首先确认 USB 3.0 驱动是否安装成功。如未成功，请进行手动安装。

（1.1）打开设备管理器，确认 USB 设备未识别

一般在其他设备列表中，会发现有黄色警告标识的未识别 USB 设备。

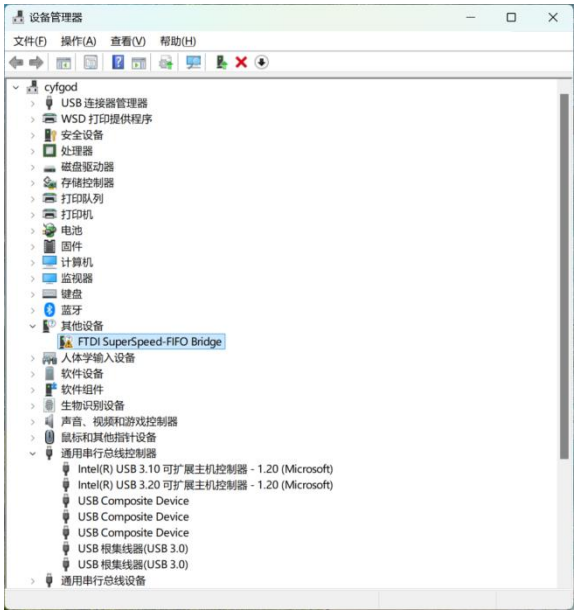


图 6 USB3.0 驱动设备管理器

（1.2）双击这个未识别设备，选择“更新驱动程序”

在搜索驱动程序对话框中，选择“浏览我的电脑以查找驱动程序”。导航至程序安装目录下的 \driver\FTD3XXDriver_WHQLCertified_v1.3.0.10\x64 文件夹。按照后续提示完成安装。


FTDI SuperSpeed-FIFO Bridge 属性
常规
驱动程序
详细信息
事件
FTDI SuperSpeed-FIFO Bridge
设备类型:
其他设备
制造商:
未知
位置:
0000.0014.0000.015.000.000.000.000.000
设备状态
该设备的驱动程序未被安装。(代码 28)
这个设备没有兼容驱动程序。
若要查找此设备的驱动程序，请单击"更新驱动程序"。
更新驱动程序(U)...
关闭
取消


更新驱动程序 - FTDI SuperSpeed-FIFO Bridge
你要如何搜索驱动程序?
自动搜索驱动程序(S)
Windows 将在你的计算机中搜索最佳可用驱动程序，并将其安装在你的设备上。
浏览我的电脑以查找驱动程序(R)
手动查找并安装驱动程序。
取消



图 7 手动安装 USB3.0 驱动

（2）VC++运行库安装

安装程序将自动检测系统中是否已安装所需版本的 VC++ 运行库。若未安装或版本过低，程序将自动执行安装。

若启动软件后，出现应用程序报错或提示缺少 DLL 文件的情况，请尝试手动修复 VC++ 运行库。

请在软件安装目录下找到 vc_redist.x64.exe 文件，双击运行后，根据提示完成安装或修复（即覆盖安装）即可。



图 8 手动安装 VC++运行库

8.1.2 Linux 系统

8.1.2.1 软件安装步骤

（1） 确认软件包

目前的 Linux 软件包主要以 Deb 包格式分发：

Deb 安装包文件：venus_X.X.X_jammy_amd64.deb (X.X.X 是软件版本号，jammy - 是 Ubuntu-22.04.05 LTS 版本的缩写)

（2） 打开终端，在安装包目录执行安装命令（以 V1.1.0 版本为例）：

->sudo apt install ./venus_1.1.0_jammy_amd64.deb

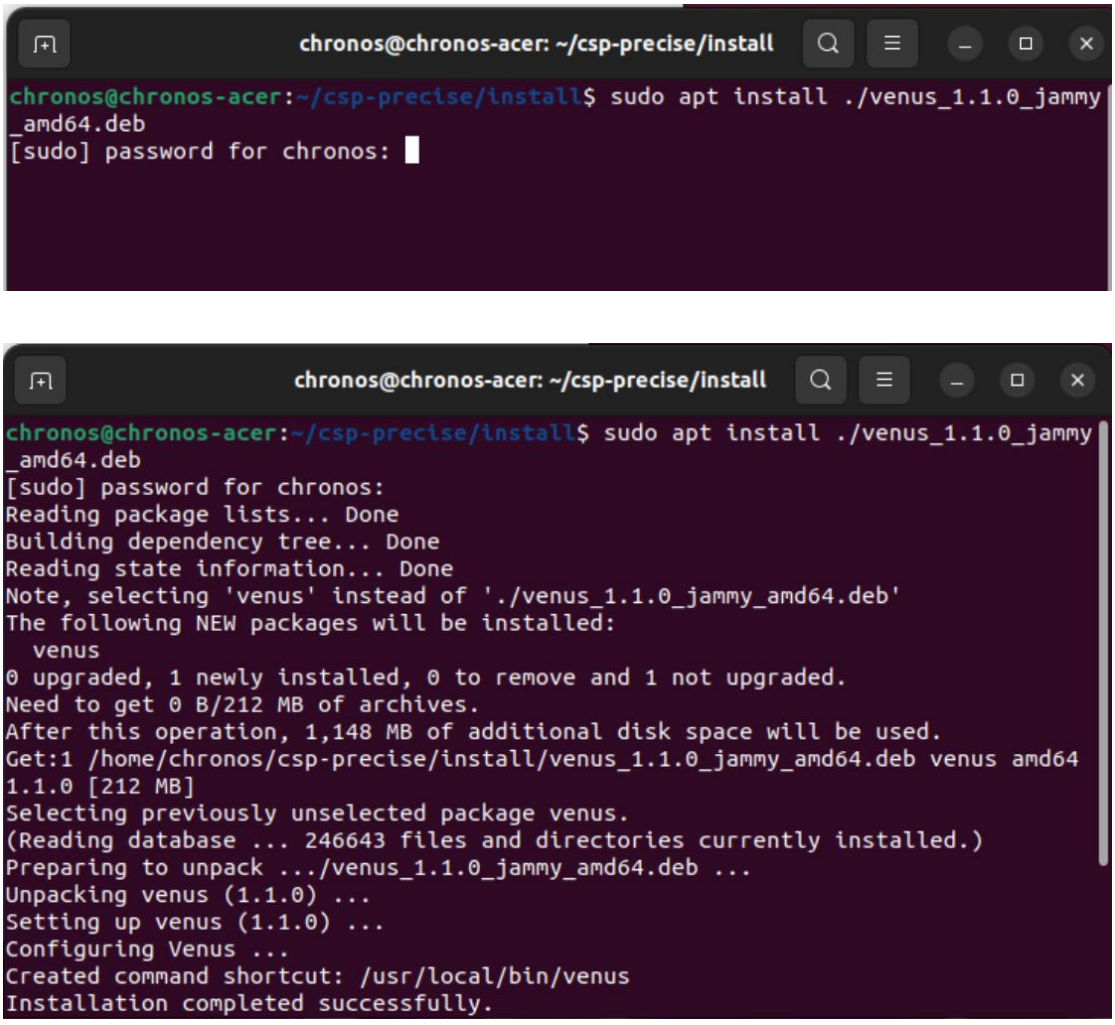


图 9 软件安装 Linux 命令

请注意，执行脚本需要 sudo 权限，输入用户密码。

安装成功安装后，会有相关提示。

（3） 软件运行

软件默认是安装在/opt/venus 目录下，可以直接输入 venus 运行程序。

首先是会弹接口选择页面，选择设备接口。

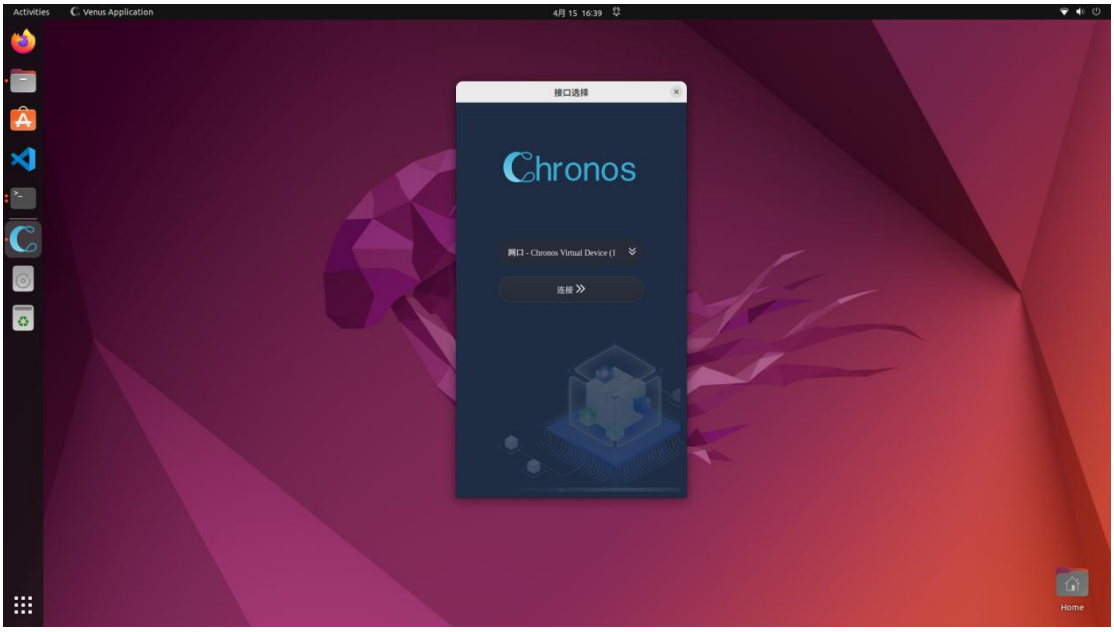


图 10 Linux 系统下的软件运行

所有的使用方法与 Windows 下相同。如果遇到问题，请联系时溯科技。

8.2 上位机电脑硬件要求

上位机软件需安装于运行 Windows 或 Linux 操作系统的个人电脑上。为充分发挥系统性能，计算机需满足以下软硬件要求。

表格 1 上位机电脑配置需求

	最低配置	推荐配置
操作系统	Windows 11 Ubuntu 22.04 LTS	Windows 11 Ubuntu 22.04 LTS
处理器	Intel：i5 4 核 8 线程 主频 1.6GHz AMD：Ryzen3 6 核 12 线程 主频 2.4GHz	Intel：13th i7 16 核 24 线程 主频 2.1GHz AMD：Ryzen7 8 核 16 线程 主频 3.8GHz
内存	16G DDR3	64G DDR5
硬盘	100G SSD + 500G HDD	500G SSD + 1T HDD
USB 端口	USB3.0	USB3.0
显示器分辨率	分辨率 1920 * 1200	分辨率 1920 * 1200
万兆网卡（选配）	/	10Gtek：X710-DA4

		Intel: X722-DA4
千兆网线	符合 CAT6 标准	符合 CAT7 标准

8.3 接口配置

Venus 提供三种对外数据接口：千兆网口、万兆网口和 USB 3.0。用户可根据不同的应用场景与性能需求选择任一接口，所有接口的用户操作流程一致。
以下以 Windows 系统为例进行说明。

8.3.1 千兆网口

Venus 设备出厂默认配置如下：

- 设备本地 IP 地址：10.0.0.10
- 上位机电脑 IP 地址：10.0.0.5
- 设备本地 MAC 地址：12-34-56-78-90-AB
- 通信端口号：1234 (设备与上位机默认使用相同端口)

请按以下步骤建立千兆网连接：

1) 使用千兆网线将 Venus 设备的千兆网口与上位机电脑的千兆网口相连；
2) 打开电脑系统的“以太网属性”对话框，选择“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”属性，将上位机电脑的 IP 地址手动设置为 10.0.0.5；
3) Venus 设备上电后，等待约 5 秒钟。连接正常建立后，可在上位机电脑的“网络连接状态”中看到“速度：1.0 Gbps”的提示；
4) 如需永久修改 IP 地址或端口号，可通过上位机软件的“管理界面”进行配置。新的设备地址和端口信息将保存在设备内部，下次开机时无需重新设置。
5) **重要**： 修改设备 IP 地址后，必须同步更新上位机软件配置文件。请打开软件安装目录下 ./config/tdcconfig.ini 文件，将其中的 IP 地址和端口号修改为与新设备配置一致，否则软件无法正常连接。



图 11 上位机电脑千兆网网络设置

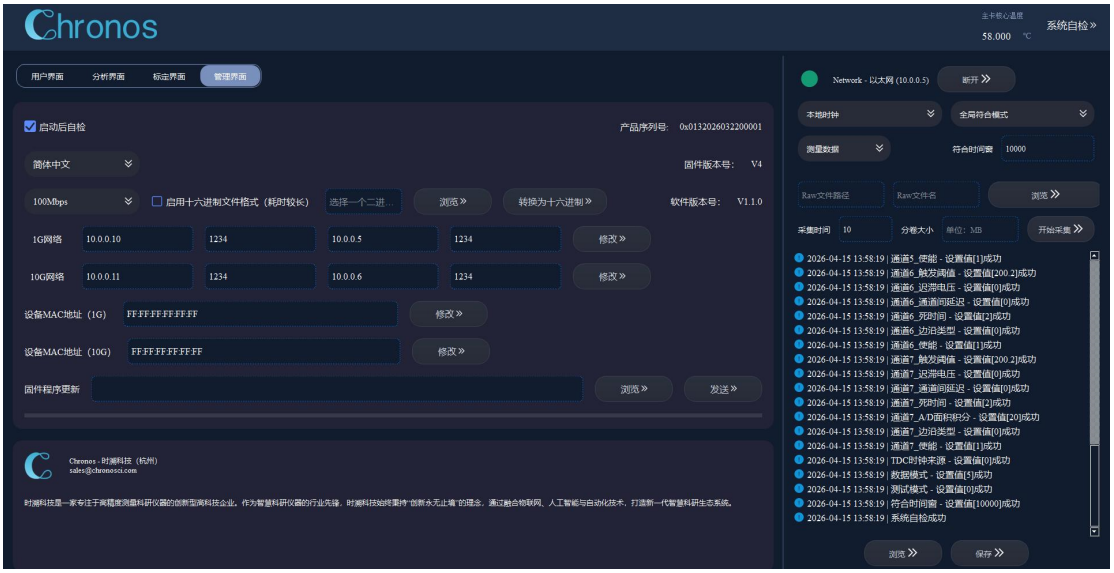




图 12 网口 IP 和端口地址修改页面

8.3.2 万兆网口

Venus 设备出厂默认配置如下：

- 设备本地 IP 地址：10.0.0.11
- 上位机电脑 IP 地址：10.0.0.6
- 设备本地 MAC 地址：12-34-56-78-90-AB
- 通信端口号：1234 (设备与上位机默认使用相同端口)

请按以下步骤建立万兆网连接：

1) 安装万兆网卡到上位机电脑，如 Intel 的 X722-DA4，并正确安装驱动程序；
2) 使用 QSFP 转 SFP 接口（如 NVIDIA MAM1Q00A-QSA），或者 QSFP 一分四路 SFP 接口带光纤。其中，第一路为默认万兆网有效 SFP 接口；
3) 打开电脑系统的“以太网属性”对话框，选择“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”属性，将上位机电脑的 IP 地址手动设置为 10.0.0.6；
4) Venus 设备上电后，等待约 5 秒钟。连接正常建立后，可在上位机电脑的“网络连接状态”中看到“速度：10.0 Gbps”的提示；
5) 如需永久修改 IP 地址或端口号，可通过上位机软件的“管理界面”进行配置。新的设备地址和端口信息将保存在设备内部，下次开机时无需重新设置。
6) **重要**： 修改设备 IP 地址后，必须同步更新上位机软件配置文件。请打开软

件安装目录下 ./config/tdcconfig.ini 文件，将其中的 IP 地址和端口号修改为与新设备配置一致，否则软件无法正常连接。



图 13 万兆网物理连接示意图

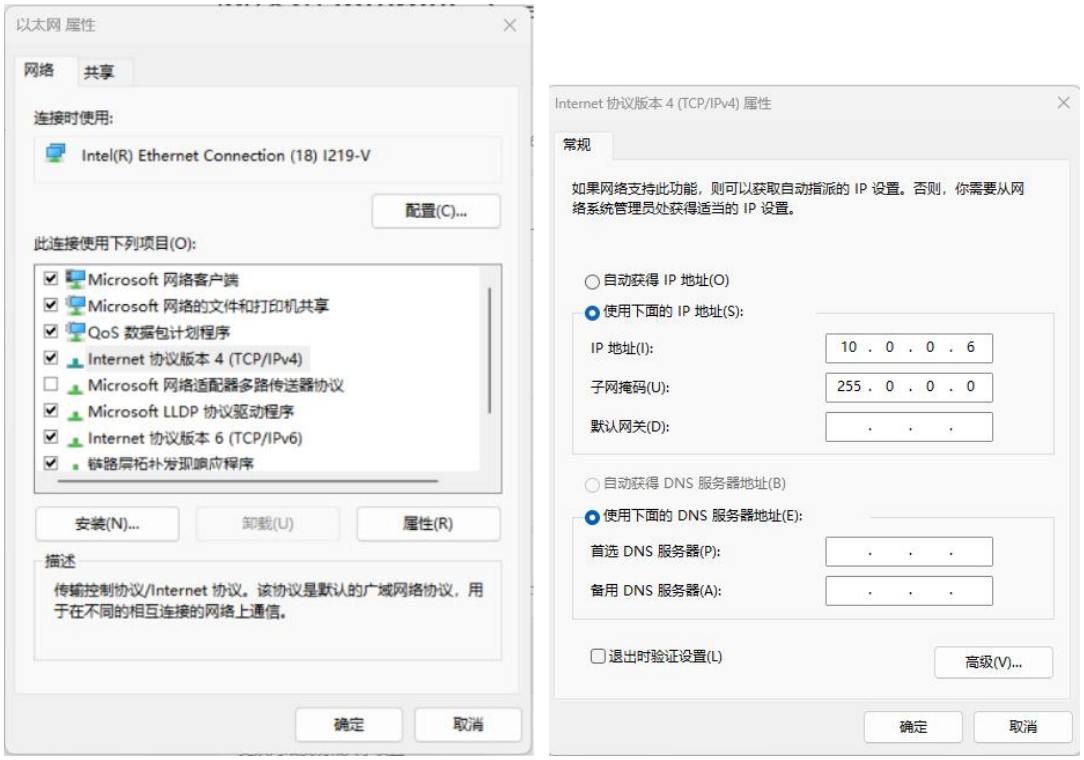


图 14 上位机电脑万兆网网络设置

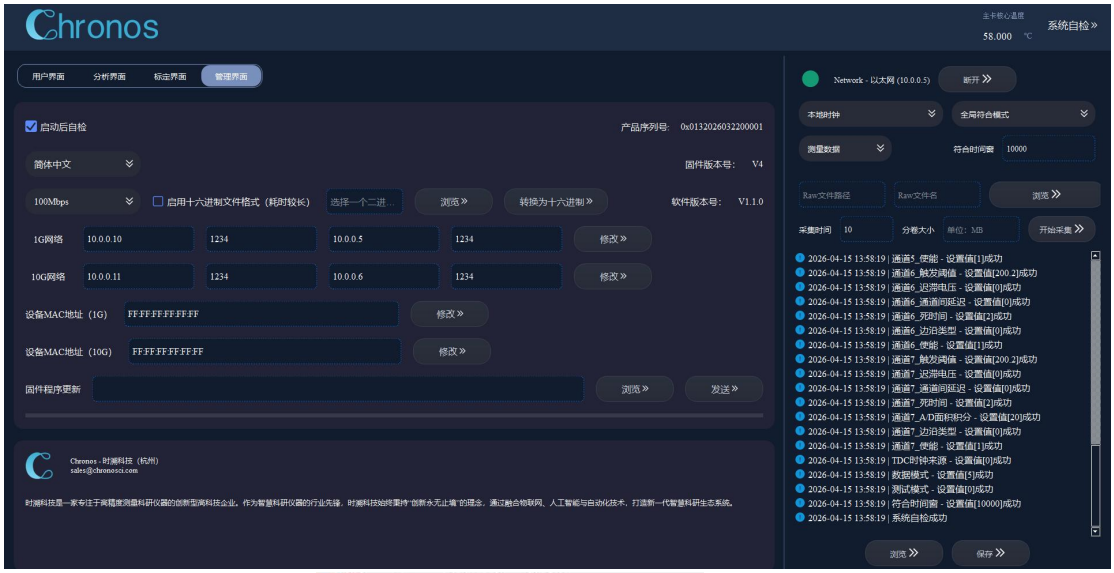




图 15 网口 IP 和端口地址修改页面

对于千兆网和万兆网，还可以通过交换机进行组网。具体的搭建过程可参考 11.2 节。

8.3.3 USB 3.0

用户需要按照以下步骤建立 USB 连接：

1) 使用 USB 线缆将 Venus 设备与上位机电脑连接；
2) 启动设备后，上位机电脑需安装 FTDI USB 驱动，驱动一般会在安装上位机软件中自动安装，如果无法识别，请按照 8.1.1.2 节中的说明进行手动安装。安装成功后，驱动信息显示如下所示。



图 16 USB3.0 驱动安装信息

8.4 界面介绍

（1） Venus 上位机软件界面主要分为以下五个功能模块：登录页面、用户页面、分析页面和管理页面；

（2） 登录页面：该页面显示所有已成功连接的硬件接口。软件将自动检测 USB 3.0、千兆网及万兆网接口的连接状态，仅将连接正常的接口显示于列表中。用户可根据需要从中选择任一接口进行后续操作；

（3） 用户页面：该页面提供数据采集相关的各项参数配置选项及原始数据采集功能；

（4） 分析页面：该页面用于在线对采集的原始数据进行实时分析，使用户能够快速观测测试结果。此页面的功能会持续更新迭代；

（5） 管理页面：该页面提供辅助功能，如软件语言选择、保存数据格式、设备以太网地址配置等。

8.5 登录页面



图 17 登录页面

登录页面将显示所有已成功连接的接口驱动。软件会自动检测 USB 3.0、UDP1G (千兆网) 和 UDP10G (万兆网) 接口的状态，并将连接正常的接口列于表中。用户可根据需要从中选择其一，点击“连接”按钮后即可进入软件主页面（用户页面）。

8.6 用户页面

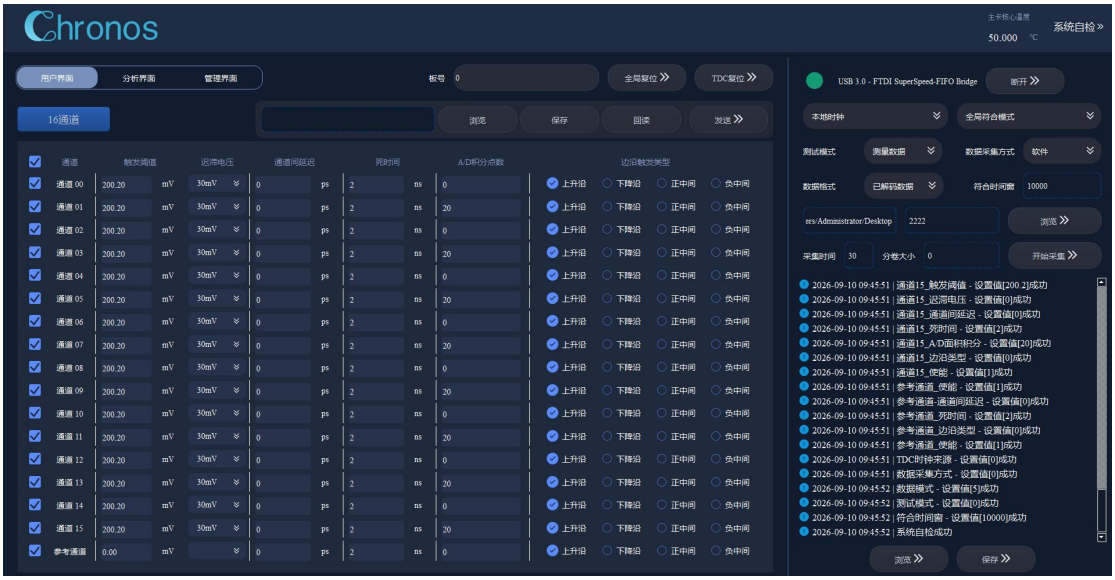


图 18 用户页面

用户页面主要包含以下四个功能区：

（1）状态监控区：位于页面上方，实时显示系统关键状态参数，包括：FPGA 核心温度、硬件接口连接状态等；

（2）参数配置区：提供核心寄存器配置功能，主要包括

（2.1）通道配置： 通道使能、迟滞电压、各通道时间甄别阈值、时间延迟值、测量死时间、ADC 积分点数、测量信号边沿设置等。以 Venus Lite16 为例，通道分为 16 路测量通道和 1 路参考通道，其中参考通道没有模拟前端电路，直接输入数字脉冲，除此之外，其他测量与普通通道无异；

（2.2）系统配置：TDC 时钟源选择、数据采集模式设置、符合时间窗设置等。

（3）数据采集区：用于控制数据采集任务，可设置数据文件的保存名称、存储路径、采集时长、分卷大小、采集方式等参数；

（4）操作日志区：记录用户的所有操作与系统事件，用户可保存日志文件以备后续查阅，用于追踪和复现实验过程。

注意：如果因为意外或者测试人员造成的设备与上位机电脑通讯中断，如果设备没有重新上下电，重新建立连接后上位机软件会静默回读当前设备的所有当前状态信息。因此，仅通信重新连接不会造成下位机与上位机状态不一致。

8.6.1 通道使能

每个通道配置页面前，都有使能勾选。勾选中后，本通道输入使能，不勾选，本通道输入关闭。用户可以选择目标测试通道，而关闭其他不使用的通道，来进行针对性测试和节约数据接口带宽，如下图所示。用户可选最上边选项框来全选或全不选来快速设置。



图 19 通道使能勾选

8.6.2 比较阈值配置

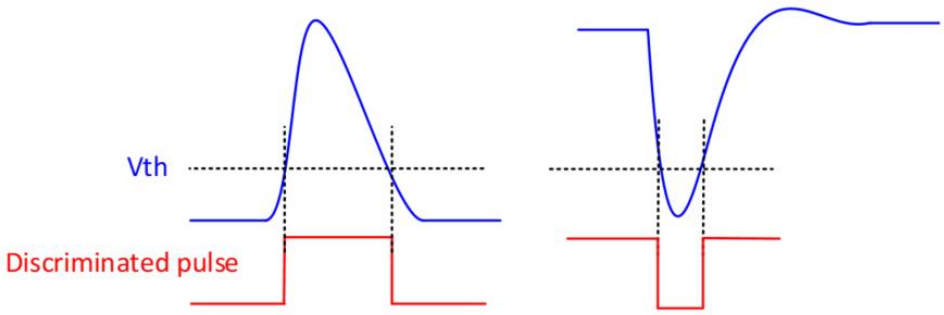


图 20 模拟信号比较功能示意图

Venus 模拟前端采用边沿定时（Edge Timing）电路。用户可通过上位机软件页面，以 0.6 mV 的分辨率配置各通道比较器的阈值电压（单位：mV），默认配置范围为-1500 mV～+1500 mV（如有需求可放开更大范围）。输入模拟信号经比较器甄别后，被转换为数字脉冲。Venus 将计算脉冲的上升沿与下降沿触发时间（时间戳），并可在线计算脉冲的过阈时间（Time over Threshold, TOT）。

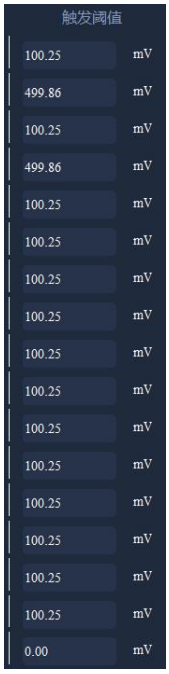


图 21 触发阈值配置 GUI 示意图

用户修改阈值后，改动的编辑框颜色会发生变化，配置完成后（点击回车键或者发送按钮），颜色回归正常。其他的配置也类似。

8.6.3 各通道迟滞电压配置

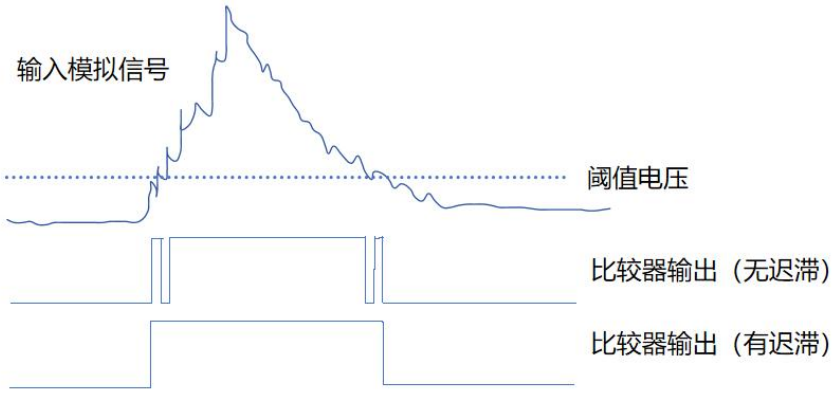


图 22 迟滞电压原理示意图

Venus 模拟前端采用边沿定时电路。用户可通过上位机软件页面，设置比较器的迟滞电压值，配置分为四个档位（1/30/40/70 mV，默认为 30 mV）。输入模拟信号经比较器甄别后，被转换为数字脉冲。Venus 将计算脉冲的上升沿与下降沿触发时间（时间戳），并可在线计算脉冲的过阈时间（Time over Threshold, TOT）。如果系统噪声偏大，比较器可能在阈值电压附近反复被噪声触发，造成

TDC 编码错误和定时精度下降。通过设置迟滞电压，在某些应用中可以提高系统定时精度。一般来讲，建议先评估测试系统的噪声水平，迟滞电压设置超过系统噪声的峰峰值。

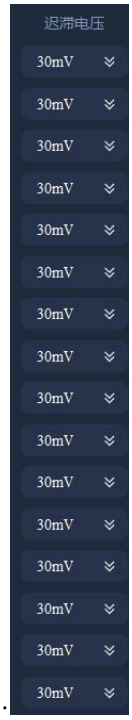


图 23 比较器迟滞电压配置 GUI 示意图

。

8.6.4 各通道延迟配置

用户可通过上位机软件配置各通道的电路延迟值，以实现通道间延迟对齐。延迟值单位为皮秒（ps），最小调节精度为 0.976 ps，调节范围为 1 us。

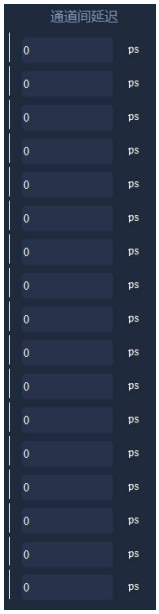


图 24 通道间延迟配置 GUI 示意图

注意，设备只支持正延迟配置，不支持负延迟配置。用户可以参考附录 J 进行快速设置。另外，为了方便用户离线生成对齐 延迟值，官方提供一个根据全局符合数据来进行延迟对齐查找表的 MATLAB 程序，让用户迅速制定延迟参数以对齐各个测量通道。

8.6.5 各通道死时间配置

用户可通过上位机软件为各通道的时间测量电路配置死时间（Dead Time）。对于后沿存在“振铃”（Ringing）或反射（Reflection）现象的待测信号，设置死时间可有效滤除因振铃/反射产生的无效触发，确保数据质量。

Venus 系统的死时间模型接近非瘫痪（非扩展）型（Non-Paralyzable Model）。死时间长度由用户设定，在死时间内发生的重复触发不会再引入额外的死时间。

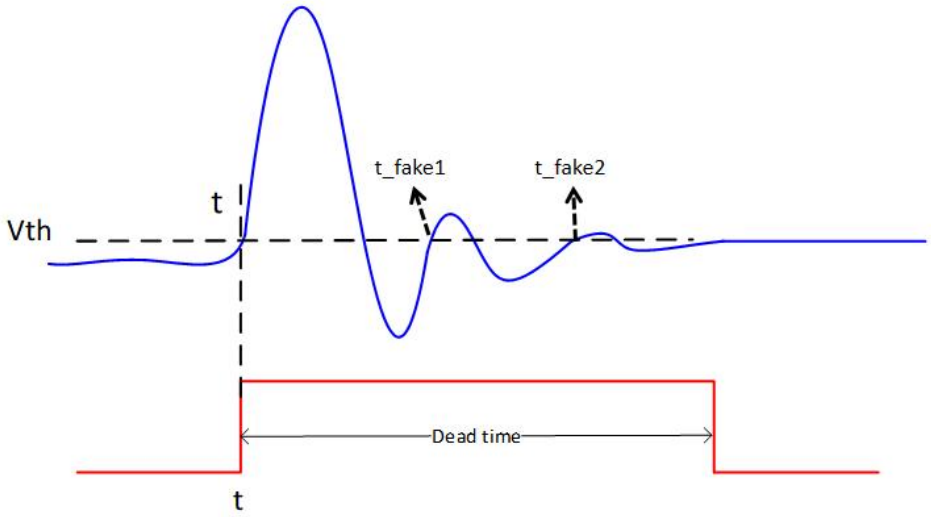


图 25 设置死时间以消除“振铃”带来的无用数据读出

用户可通过上位机软件界面或导入配置文件的方式，配置各通道的时间测量死时间，以实现快速批量设置。死时间单位为纳秒（ns），最小调节精度为 2 ns。若用户输入值非 2 ns 的整数倍，软件将自动将其调整至最接近的合法值。默认情况下，系统测量死时间最小约 2 ns。

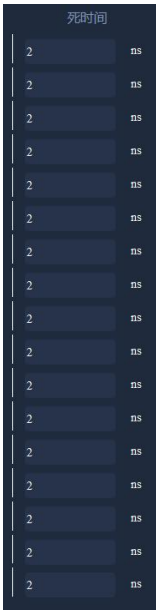


图 26 通道时间测量死时间配置 GUI 示意图

8.6.6 ADC 积分点数

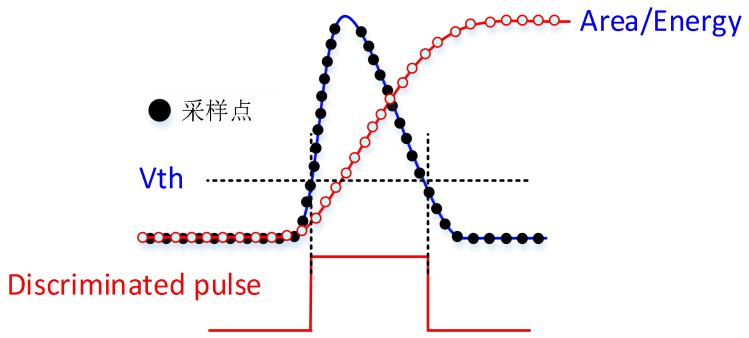


图 27 能谱测量数据模式逻辑框图

如上图所示，部分通道（标记为 AD 的通道）在过阈触发后，Venus 将启动模数转换（ADC，采样率 50 MHz，分辨率 12 位）。用户可通过上位机软件设置采样点个数，此数值即为能谱模式中的积分点数。

每次触发，Venus 会输出指定点数的幅度信息序列，用户可据此功能分析模拟信号的波形。同时，系统会将这些采样点的幅度值累加，得到信号面积（即能量信息），用户可借此功能进行能谱测量。

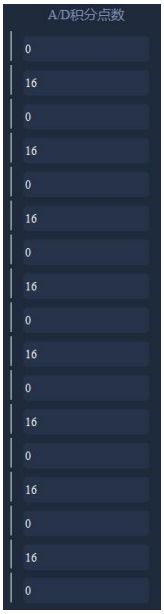


图 28 A/D 通道采样点个数配置 GUI 示意图

重要提示： Venus 系统会自动实时计算并扣除基线，以确保测量准确性，用户无需担心输入信号基线的变化对能量测量的影响。

8.6.7 通道参数快速设置（One-Key）

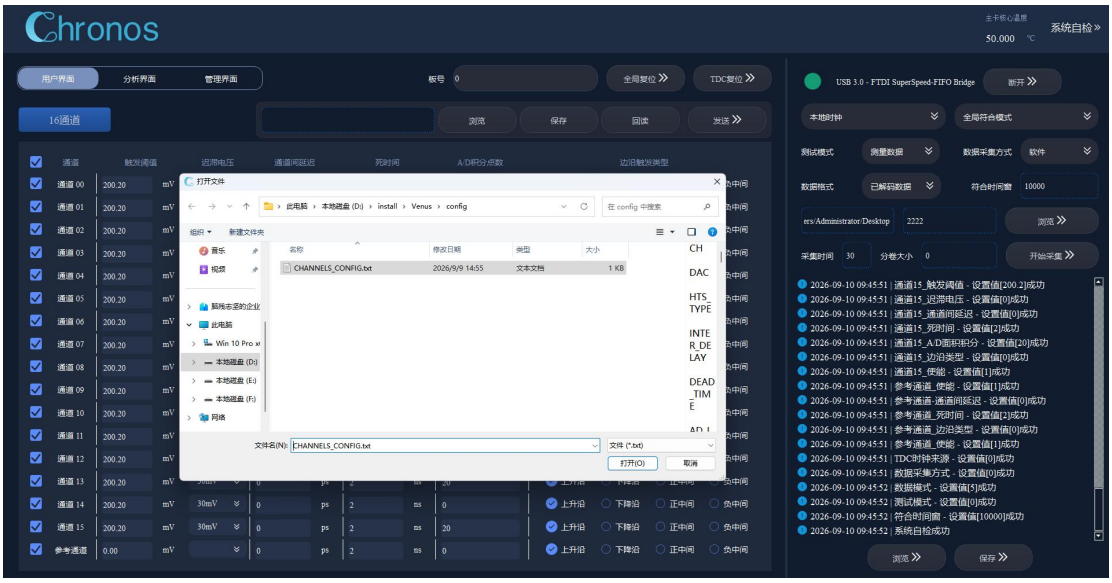


图 29 One-key 配置方式

用户可通过上位机软件界面或导入配置文件的方式，配置各通道的触发阈值、延迟值、死时间值和 ADC 积分点数。通过文件配置用户可以一键配置所有参数（One-Key）。操作步骤如下：

（1）加载配置文件： 点击用户页面上方的“浏览”按钮，导航至 ./config 目录，选择 CHANNELS_CONFIG.txt 配置文件；

（2）发送配置： 点击“发送”按钮，上位机软件将自动读取文件内容并完成所有通道的参数配置；

（3）文件格式说明： CHANNELS_CONFIG.txt 文件格式如下所示。文件左侧列为通道号，右侧列为对应通道参数值。

CHANNELS_CONFIG.txt

	CH	DAC	INTER_DELAY	DEAD_TIME	AD_INTEGRATION_POINT
1	0	19.80	0	2	0
2	1	40.10	20	4	20
3	2	59.82	40	8	0
4	3	80.13	60	12	40
5	4	99.85	80	16	0
6	5	120.15	100	20	60
7	6	139.88	120	24	0
8	7	160.18	140	28	80
9	8	179.90	160	32	0
10	9	200.20	180	36	100
11	10	250.09	200	40	0
12	11	299.98	250	44	120
13	12	349.86	300	48	0
14	13	399.75	400	52	160
15	14	500.10	500	56	0
16	15	800.00	600	60	200
17					

图 30 CHANNELS_CONFIG.txt 文件格式要求

（左侧列：通道号；右侧列：触发阈值（单位：mV）、延迟值（单位：ps）、死时间值（单位：ns）、ADC 积分点数）



图 31 CHANNELS_CONFIG.txt 文件保存当前配置

另外，用户可以通过软件自动保存当前页面的所有通道配置参数，更新 CHANNELS_CONFIG.txt 文件。这个功能方便用户重复配置多次相同的试验参数。

8.6.7 信号边沿选择

Venus 可测量输入模拟信号的上升沿、下降沿时间戳，以及上升沿与下降沿时间平均值（记作 MID 方式）。用户可通过软件界面中的“边沿触发类型”选项卡进行配置。 选择原则取决于待测信号的极性和目标边沿：

（1）正脉冲： 若需测量脉冲上升沿（第一个边沿）的时间戳，应选择“上升沿”；

（2）负脉冲： 若需测量脉冲下降沿（第一个边沿）的时间戳，应选择“下降沿”；

（3）对于某些应用，需要测量信号上升沿时间戳与信号下降沿时间戳的中心

处的时间，这种方式可以减小信号幅度或者直流基线变化对上升沿定时位置的影响（即 Time Walk 效应），如图 39 所示。

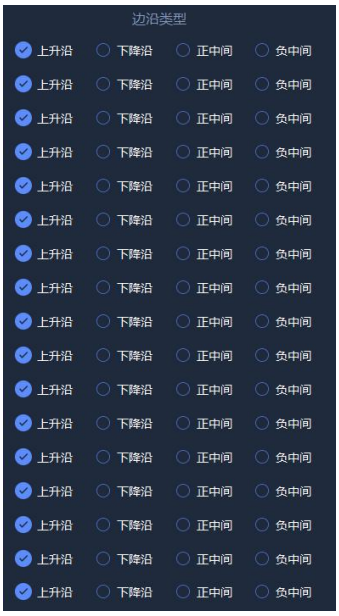


图 32 边沿采集模式配置 GUI 示意图

配置示意图如下所示。

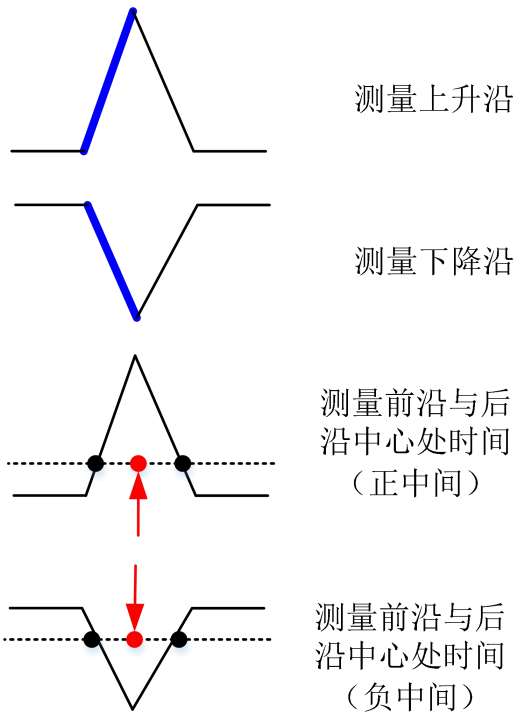


图 33 测量边沿时间戳信息选择举例（假如测量第一个边沿时间戳信息，如果输入正向脉冲，用户应选择测量上升沿；如果输入负向脉冲，用户应该选择测量下降沿。如果信号 Time Walk 或者基线漂移较大，且信号两个边沿定时性能均佳时，可以选择中间模式。）

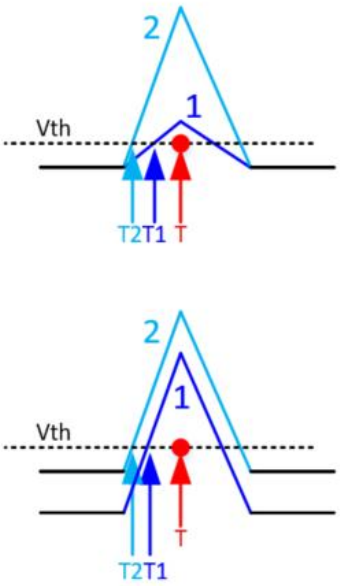


图 34 MID 测量方式举例说明（以正中间模式为例。上图：输入信号 1 幅度较小，过阈时间 T1，输入信号 2 幅度较大，过阈时间 T2。T1 与 T2 之间存在 Time Walk。采用正中间方式，对于某些信号形状固定的情形下，能够有效减小 Time Walk 的影响；下图，输入信号 1 直流基线较小，过阈时间 T1，输入信号 2 直流基线较大，过阈时间 T2。T1 与 T2 之间存在定时差。采用正中间方式，对于某些信号形状固定的情形下，能够有效减小定时差的影响。）

另外，需要注意的是，当进行 TOT 测量时，选择上升沿和下降沿会得到不同的脉宽测量结果，如下图所示。用户需要根据待测信号的特征和测量需求，选择合适的边沿测量模式。

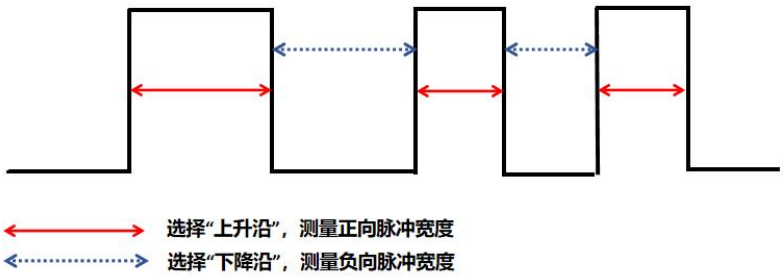


图 35 测量边沿时间戳信息选择举例（选择“上升沿”，TOT 测量中测量正向脉冲宽度；选择“下降沿”，TOT 测量中测量负向脉冲宽度。）

8.6.8 采集模式选择

系统配置需按以下步骤进行：

1. 选择时钟源

- 本地时钟：由 Venus 内部时钟芯片产生，适用于单设备独立测试；
- 外部时钟：来自外部时钟输入接口，用于多设备组网同步测试。在 V1.3 版本硬件，仅支持 25 MHz 时钟输入；在 V1.4+版本硬件，支持 10 MHz 或 25 MHz 两种外部时钟输入。

2. 选择触发源

- 测量数据：使用外部输入的真实待测信号作为触发源。此为实际应用场景下的选项；
- 内部触发：使用系统内部产生的脉冲信号作为触发源（通常用于自检或功能验证）。

3. 选择采集启动方式

Venus 支持软件启动采集（软件方式，常规），或者使用外部脉冲信号（硬件方式）开始采集，如下图所示。软件/硬件启动采集方式选择可通过上位机软件配置。



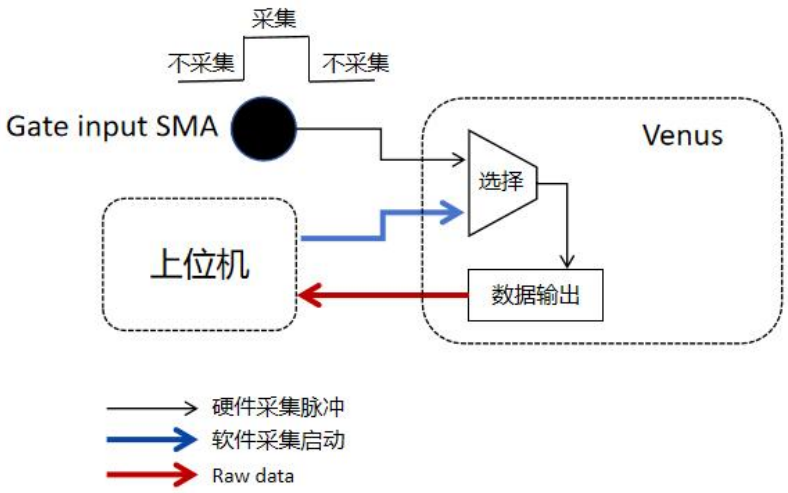


图 36 两种采集启动方式

- 软件采集方式：一般用户建议使用的方式。用户只需要通过上位机软件

或 API 设置采集路径和采集时间，然后通过软件开始采集即可。下文所有的数据采集介绍都基于此方式；

- 硬件采集方式：通过设备上 Gate input SMA 输入脉冲，设备会在脉冲高电平时段输出 Raw 数据，在低电平时段关闭 Raw 数据输出。用户可以先通过 API 启动数据采集监听，然后输入采集脉冲，设备会保存在采集脉冲高电平时段所有产生的 Raw 数据，试验完成后用户需要关闭采集监听。硬件采集可以用在以下特殊情形：
  - 高精度采集时长控制：相比软件控制，硬件采集脉冲可以保证时长很精确，精度±10 ns，在某些对采集时长有严格要求的情形下非常有用；
  - 多设备严格同时采集：在某些情形下，需要对多台设备进行高精度同时采集，通过硬件脉冲可以很精准的进行同步采集，如下图所示。

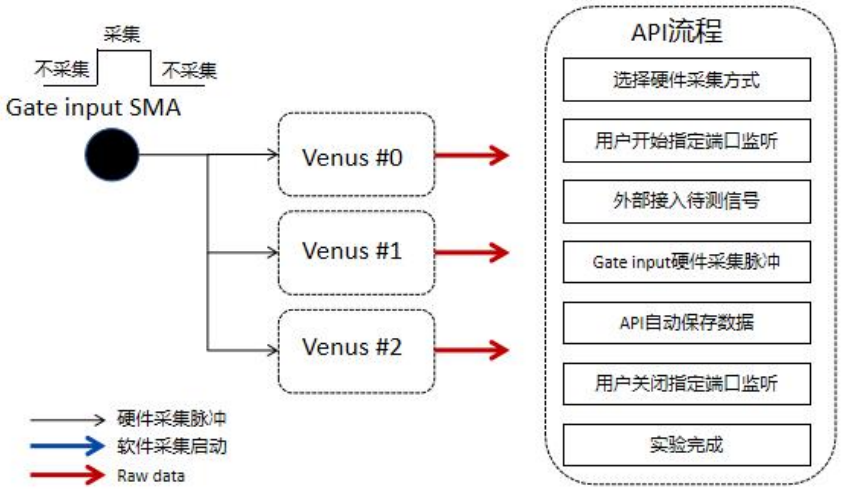


图 37 使用外部硬件采集脉冲实现多设备高精度同时采集

4. 选择采集模式

根据测量需求，从以下模式中选择其一：

- 时间戳模式
- A/D 测量数据模式
- 面积测量数据模式
- 全局符合数据模式
- 参考符合数据模式
- 过阈时间测量数据模式
- 能谱全局符合数据模式

- 双沿时间数据模式
- 周期测量数据模式
- 带时间戳的全局符合模式
- 单沿时间数据模式
- 全局符合数据模式 2

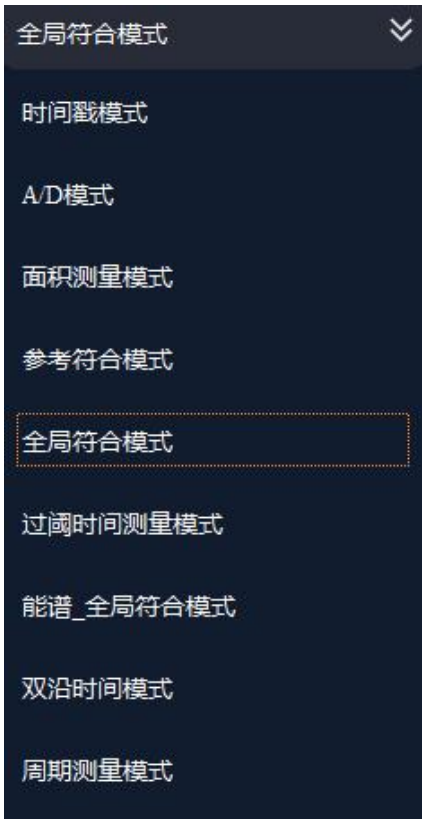


图 38 数据采集模式选择

数据采集模式解释如下：

（1） 时间戳模式（所有通道有效）：在此模式下，任一通道的输入信号过阈触发后，Venus 采集所有通道产生的时间戳，然后输出触发类型指定边沿的时间戳。这个模式会输出两类时间戳，一类叫做时区时间戳（Time zone），另一类叫做事件时间戳（Events time stamp）。时区时间戳全局有效，表示较粗和较大的时间范围，事件时间戳表征着每个通道的触发较细时间戳信息。综合两个时间信息可以还原出事件发生的完整时间戳。具体数据格式参照 12.1 节；

（2） 双沿时间戳数据模式（所有通道有效）：类似于（1），此模式也是输出原始的触发时间戳信息。在此模式下，当通道过阈值触发后，Venus 会将信

号的上升沿与下降沿的时间戳信息一并输出。用户可据此分析两个边沿的时间戳等信息，以用于分析、计算和事件筛选。时间戳的起始时刻为 TDC reset 或者外部 Sync 信号输入时刻。具体数据格式参照 12.7 节。在高计数率情况下，为了提高数据传输效率，建议用（1）时间戳模式。如果普通应用情况下，为了方便数据分析，建议使用本模式；

（3） 全局符合数据模式（所有通道有效）：在此模式下，任一通道的输入信号过阈触发后，Venus 将对所有通道产生的时间戳进行在线实时排序与比较。仅当两个事件的时间差处于用户预设的符合时间窗（通过上位机软件设置，单位：ps）内时，系统才会输出一次符合事例的有效数据（包含两个符合通道的通道号、时间差等信息）。其在线符合事例逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.2 节；此格式将所有通道的双通道时间差输出，关于进一步的 N 重符合数据筛选和处理，参见 8.7.11 节。

在线符合逻辑图参见附录 F。

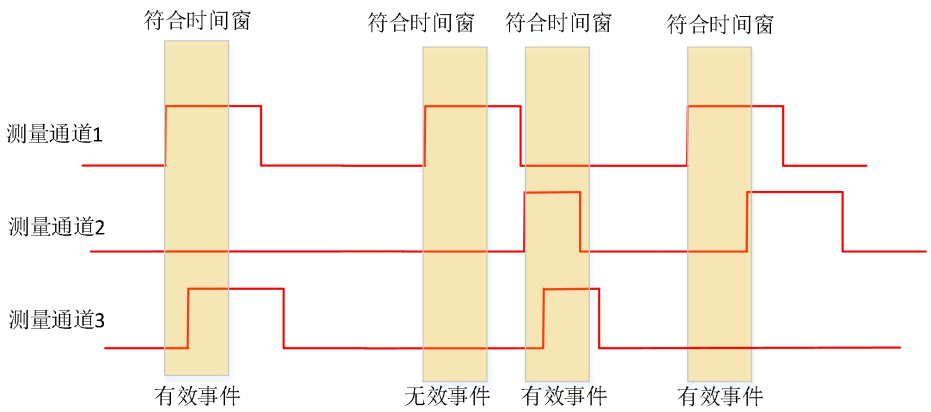


图 39 在线时间全局符合逻辑（三通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，判断是否满足符合条件。

注意的是，全局符合数据模式是输出**所有**双重符合的物理事件。举例，如果通道 CH0、CH1、CH5、CH8 四个通道发生了符合事件，那么 Venus 将输出以下符合数据（比如本次事件按照以下时间先后发生: CH1-> CH5 -> CH0 -> CH8）：

Coincidence Raw data1: {CH1, CH5, Delt_T(CH1,CH5)};

Coincidence Raw data2:{CH1, CH0, Delt_T(CH1,CH0)};

Coincidence Raw data3:{CH1, CH8, Delt_T(CH1,CH8)};

Coincidence Raw data4:{CH5, CH0, Delt_T(CH5,CH0)};

Coincidence Raw data5:{CH5, CH8, Delt_T(CH5,CH8)};

Coincidence Raw data6:{CH0, CH8, Delt_T(CH0,CH8)};

因此，N 个通道发生符合，Venus 将输出$\frac{N(N-1)}{2}$个双重符合数据对，即所有两个通道时间差在时间窗内时都输出，不会造成符合数据损失。

Venus 上位机软件和 API 包括 N 重符合分析模块，用户可以直接调用进行更高级的 N 重符合计数率和时间差分析，参见 8.7.11 节。

（4） 参考符合数据模式（参考通道+所有测量通道有效）：在此模式下，任一通道的输入信号过阈触发后，Venus 将对所有通道产生的时间戳进行在线实时排序与比较。仅当两个事件的时间差处于用户预设的符合时间窗（通过上位机软件设置，单位：ps）内，且其中一个通道为参考通道时，系统才会输出一次符合事例的有效数据（包含通道号、时间差等信息）。其在线符合事例逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.2 节；

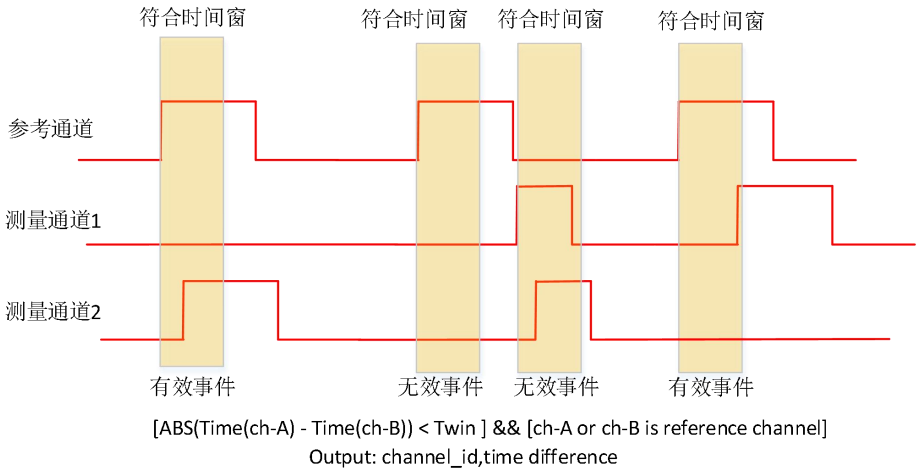


图 40 在线时间参考符合逻辑（参考通道+两个测量通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，且其中某个通道为参考通道，判断是否满足符合条件。

需要注意的是，这个模式可以看作全局符合模式的一个特例。使用全局符合模式和离线数据筛选，可以达到相同的效果。参考电路因为没有前沿定时模拟电路，时间延迟温漂较小，此通道也可以作为标定前沿定时模拟电路温漂的一个参

考。

（5） 过阈时间测量数据模式（所有通道有效）：在此模式下，通道过阈值触发后，Venus 会检测信号的上升沿与下降沿时间，并实时计算前下降沿的时间差，作为信号的脉宽值（TOT width）。该测量逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.5 节；

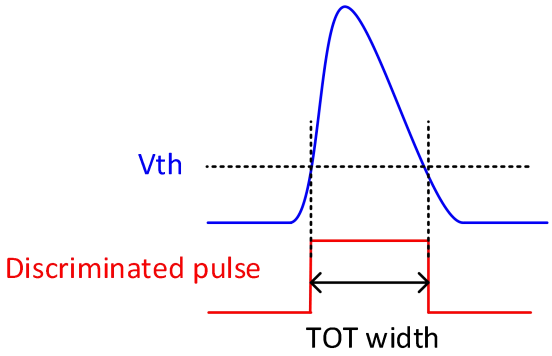


图 41 过阈时间测量逻辑框图（以正信号为例，用户应该“上升沿”边沿采集模式）

（6） ADC 测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道过阈值触发后，Venus 将以 50 MHz 的采样率和 12 位的分辨率对信号进行模数转换。用户可通过上位机软件设置采样点数（该点数也对应于能谱模式中的积分门宽）。此功能可用于观测模拟信号的波形。该功能的逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.3 节；

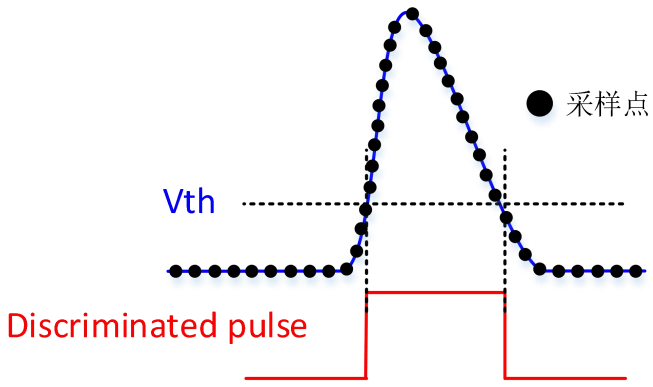


图 42 ADC 测量数据模式逻辑框图

（7） 面积测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道过阈值触发后，Venus 将以 50 MHz 的采样率和 12 位的分辨率对信号

进行模数转换。用户可通过上位机软件设置采样点数（此数值即为能谱测量的积分门宽）。Venus 将对门宽内的采样点进行累加（积分），所得的面积值即代表了信号的面积（能量）信息。此功能主要用于测量输入信号的能谱。其逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.4 节；

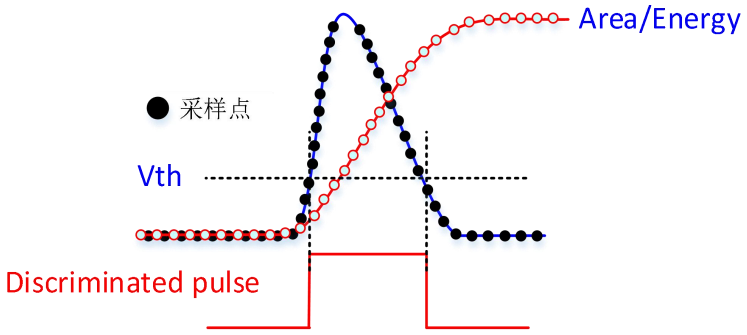
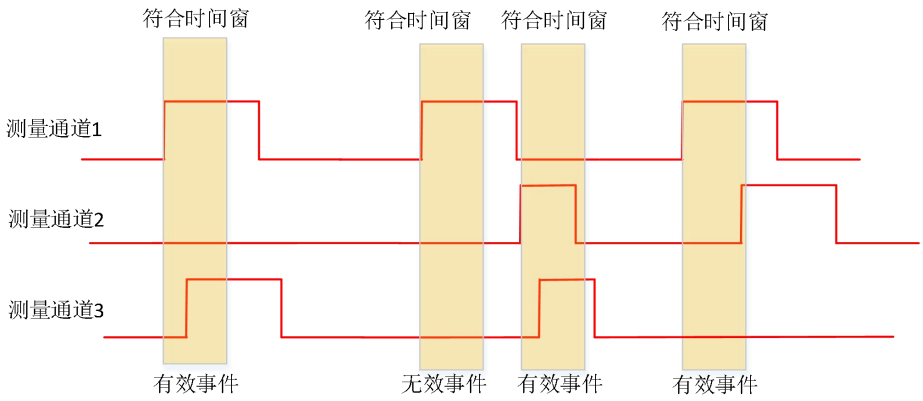


图 43 能谱测量数据模式逻辑框图

（8） 能谱全局符合测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道发生过阈值触发后，Venus 会对信号的定时信息进行实时比较。当两个通道事件的时间差处于用户通过上位机软件设置的时间窗（单位：ps）内时，才将该符合事件的有效数据输出，数据内容包括：通道号、时间差值、以及相应通道的能量信息。其在线符合测量逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.6 节；



ABS(Time(ch-A) - Time(ch-B)) < Twin
Output: channel_id, energy, time difference

图 44 时间-能谱全局符合测量数据模式逻辑框图 （三通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，判断是否满足符合条件。

此外，用户还可以在软件上配置能量窗，只有能量落入能窗范围内的数据才为有效数据。此模式机理和全局符合模式相同，区别仅仅是此模式输出了符合通道的面积/能量信息，在需要能量信息的应用场景（如 PET 符合探测器）中有较大的意义。本模式与全局符合数据基本相同，只是增加了两个符合通道信号的能量信息。

（9） 周期测量数据模式（通道 0-通道 3 有效，但是每次只能测量一个通道）：在此模式下，用户输入一个时钟信号，Venus 会计算周期信号的高电平持续时间和周期信息，用户可以计算其频率、占空比等信息。具体数据格式参照 12.8 节；

（10） 带时间戳的全局符合数据模式（所有通道有效）：在此模式下，符合逻辑与全局符合模式完全一样，不同的是最终输出的不是两个通道的时间差，而是第一个事件发生的时间戳信息。具体数据格式参照 12.9 节；

（11） 单沿时间戳数据模式（所有通道有效）：此模式也是输出原始的触发时间戳信息。在此模式下，当通道过阈值触发后，Venus 会将信号的上升沿或者下降沿的时间戳信息（用户选择边沿触发类型）输出。用户可据此分析单个边沿的时间戳等信息，以用于分析、计算和事件筛选。时间戳的起始时刻为 TDC reset 或者外部 Sync 信号输入时刻。具体数据格式参照 12.10 节。在高计数率情况下，为了提高数据传输效率，建议用（1）时间戳模式。如果普通应用情况下，为了方便数据分析，建议使用本模式；

（12） 全局符合数据模式 2（所有通道有效）：与全局符合模式原理相同。只是对符合事件的时间戳流进行更精细序列标记。具体数据格式参照 12.11 节。

综上所述，相关采集模式选择的信息见下表所示。

表格 2 裸数据采集模式说明

采集模式	英文名称	有效通道	用户需要配置信息
时间戳	Timestamp	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
双沿时间戳	Dual Time	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
时间参考符合	Ref-coins	参考通道+所有测量通	时间甄别阈值/死时间/

		道	时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗等
时间全局符合	Global-coins	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗等
过阈时间测量	TOT	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
A/D 测量	A/D	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/积分点个数等
面积测量	Area	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/积分点个数等
能谱全局符合	Area Coins	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗/积分点个数等
周期测量	Period	通道 0-3，且每次只能测试 1 个通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
带时间戳的全局符合数据模式	Global-coins with timestamp	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
时间全局符合 2	Global-coins	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗等

8.6.9 测量数据保存

测量数据保存，用户需要指定数据存储的路径，文件名，采集时间和数据包分卷等。其中，采集时间单位为秒，文件名系统会在后缀中自动加入当前的系统时间，分卷大小不设置默认不分卷，最大分卷大小（存储的每个文件大小）不超过 10 GB。



图 45 测量数据保存配置



图 46 数据保存格式

数据保存格式分为二进制、十六进制和解码格式。

（1）二进制：默认保存为.bin 格式，用户需要自行解码，存储效率高；

（2）十六进制：默认保存为.dat 格式，用户需要自行解码，存储效率中；

（3）解码格式：默认保存为.csv 格式，数据已经转换。比如时间转换为了 ps，ADC 码值转换为了 LSB，用户可以直接使用，无需再解码。

二进制和十六进制解码可以通过第 12 章的数据格式进行解码，可以参考 9.6/9.7 节的参考离线分析脚本进行解码。一般应用中，解码格式是比较简单的使用方式。特别注意的是，对于万兆网接口，为了提高存储性能，一律使用二进制存储。

综上，用户界面各个输入参数的合理范围、有效通道等如下表所示。

表格 3 上位机软件用户界面各个输入参数说明

输入内容	合法范围	有效通道	说明
通道使能	使能/不使能	CH0-CH15	不使能的通道不参与

			数据传输和在线符合
DAC	-1500 mV ~ +1500 mV	CH0-CH15	甄别阈值（软件限制设置范围，如需要更大范围可开放）
通道间延迟	0 - 10 us	CH0-CH15、参考通道	通道延迟值
死时间	2 ns - 100 us	CH0-CH15、参考通道	时间测量死时间
A/D 积分点数	0 - 65535	A/D 通道	A/D 采用和积分点数
边沿类型	上升沿、下降沿、正中间、负中间	CH0-CH15、参考通道	测量信号边沿类型
符合时间窗	0 - 16 us	全局	单位 ps
采集时间	> 0，单位秒	全局	采集时间
分卷大小	0 - 10 GB	全局	默认不分卷

8.7 分析页面

用户分析界面作为 8.6.6 节描述的各种采集模式的结果可视化输出，方便用户快速地得到数据分析结果和当前实验正确性验证。对于用户将 Venus 集成到整个实验平台中的需求，采用 API 接口方式是更好的选择。

8.7.1 强度分析

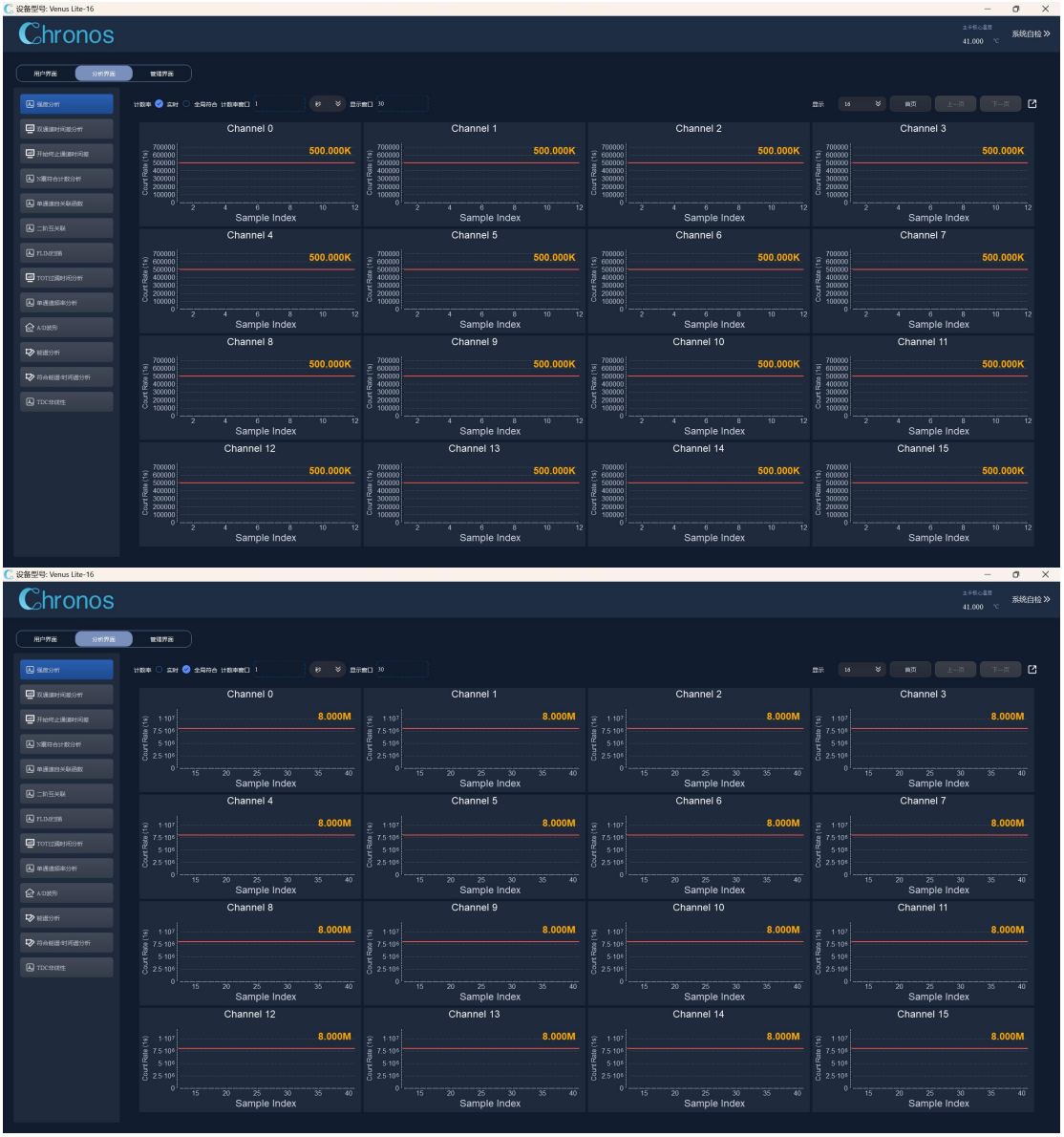


图 47 各通道强度（计数率）分析（实时计数率和符合计数率）

如上图所示，用户可进入“强度分析”功能页，按用户设置的计数率窗口（范围：10 ms–10 s）周期刷新，显示所有通道的实时计数率（Singles Count Rate）和符合计数率（Coincidence Count Rate）。用户还可以设置显示窗口，观察指定范围内的计数率曲线（如果设置为 0，则显示全时段历史曲线）。该显示窗口可独立弹出以随时实施观测。此功能为系统调试和性能评估提供了关键工具。

注意，此处的符合计数率包括所有双重符合事件的计数，具体见 8.6.8 节描述。举例，如果 N 个通道同时输入 1 MHz 的同步脉冲，所有通道都发生了符合

事件，那么由于任意通道都与其他所有通道发生符合，那么每个通道的符合计数率为(N-1) MHz。

8.7.2 双通道时间差分布直方图

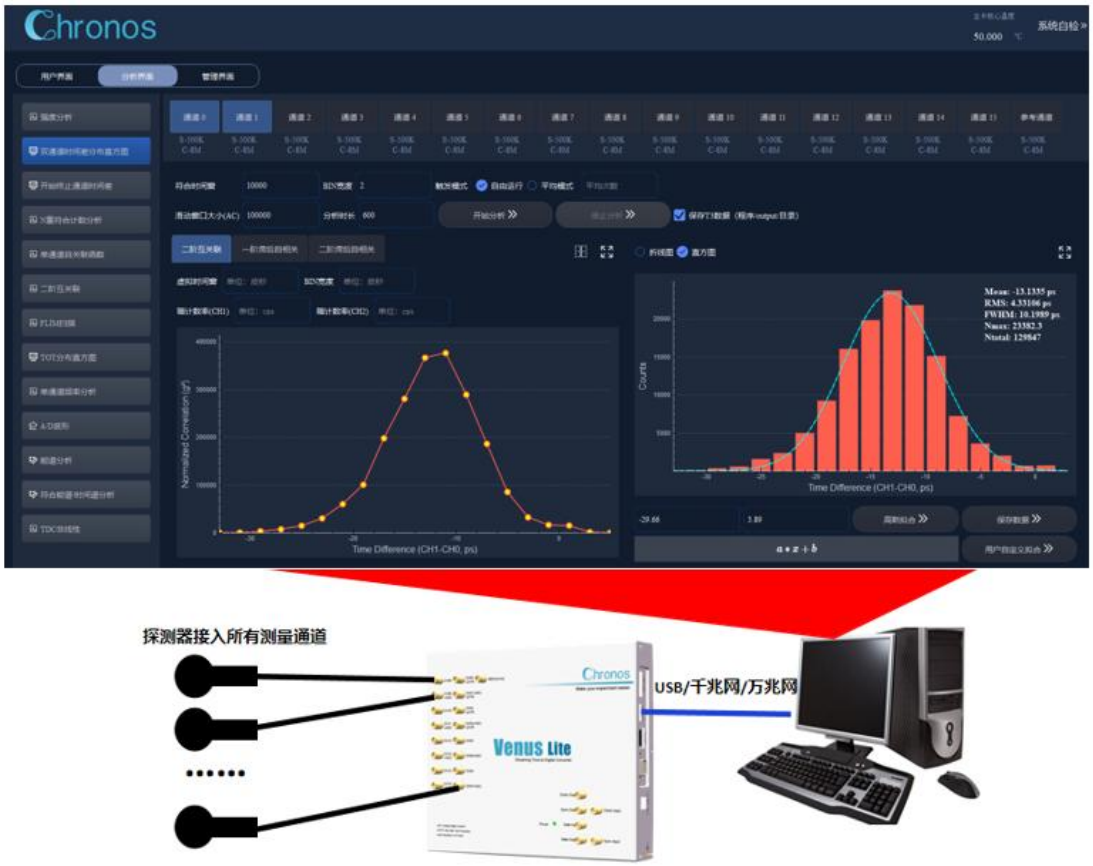


图 48 双通道时间差分布直方图

如上图所示，用户需先选择两个分析通道，并设置采集时间、符合时间窗、触发模式（自由运行/平均）及平均次数、直方图显示 BIN 宽、BIN 数目等参数，随后点击“开始采集”。

- 采集时间：采集数据持续时间，单位 s；
- 符合时间窗：全局符合时间窗，两个通道信号到达时间在时间窗之内时作为一次符合事件；
- 触发模式：自由运行是实时采集并显示每个符合事件，平均模式是按照平均次数对输入信号的时间差进行取平均处理；
- BIN 宽：设置直方图显示 BIN 宽度；
- 双通道时间差图可选直方图或折线图，折线图画图效率更高，直方图画图效

率略差，可能会出现卡顿现象。如果用户必须使用直方图形式观察结果，请按照下述方法进行设置：

- 当符合时间窗设置较大时，为了减小软件画图压力，BIN 宽需设置大一些。当时间窗设置较小时，BIN 宽可以设置较小。举例说明，建议用户按照以下步骤进行设置：
  - 设置符合时间窗较大（超过两个通道的延迟时间），比如 100 ns；
  - 设置 BIN 宽度 20 ps；
  - 开始采集，并画时间差分布直方图；
  - 找到目标分析的时间差分布直方图的峰值，然后拟合或估计两个通道的时间差平均值。比如得到 Ch1-Ch0 平均值为 50 ns，指的是 Ch1 比 Ch0 平均晚 50 ns；
  - 然后在用户界面中的通道延迟值中设置，将 Ch0 延迟设置为 50 ns；
  - 然后将符合时间窗再设置较小，比如 1 ns，并且将 BIN 宽设置为 1 ps；
  - 然后开始采集，Ch0 和 Ch1 两个通道的时间差平均值会在 0 ps 附近，这样用户可以进行进一步的分析并高效快速实时画图。

上位机软件会将双通道的时间差分布以直方图形式实时显示。采集完成后，用户可手动输入或直接在直方图上框选拟合区间，并执行高斯拟合分析。软件将自动计算并显示拟合结果，包括：数据点数、最大值、平均值、标准差（σ）和半高全宽（FWHM）等。此外，用户还可使用自定义函数进行拟合。双击函数设置框即可弹出函数键入窗口（如下图所示），输入任意函数表达式后即可进行拟合。



图 49 自定义拟合函数键入窗口

在函数输入窗口中，根据规定的格式输入自定义函数表达式（其中常量参数用 a, b, c, d... 表示，自变量用 x 表示），随后点击 “自定义拟合” 按钮。上位机软件将执行拟合运算，并将得到的拟合参数（a, b, c, d...）的数值结果显示出来。所有拟合结果均可保存。



图 50 双通道互关联系数实时计算

Venus 还提供实时的时间差一阶和二阶归一化滞后自相关系数结果、双通道二阶互关联系数（g^2_{AB}）计算结果。其中，滞后自相关系数计算公式参照附录 G，

g^2_{AB}的计算公式参考附录 I。在计算g^2_{AB}时，用户需要输入两个通道的暗计数值。用户可以先评估探测器的暗计数值，如果用户忽略暗计数值，不输入即可，软件计算时则默认暗计数值为 0。

此外，Venus 还实时显示各通道的单触发计数率（S）和符合计数率（C），在通道选择按钮下发实时显示。



	A	B	C	D
1	index	channel_a	channel_b	timediff_ps(Tb-Ta)
2	50014	0	1	-12
3	50015	0	1	-4
4	50016	0	1	-6
5	50017	0	1	-6
6	50018	0	1	-6
7	50019	0	1	-9
8	50020	0	1	-10
9	50021	0	1	-6
10	50022	0	1	-6
11	50023	0	1	-6
12	50024	0	1	-22
13	50025	0	1	-13
14	50026	0	1	-8
15	50027	0	1	-13
16	50028	0	1	-13
17	50029	0	1	-12
18	50030	0	1	-12
19	50031	0	1	-12
20	50032	0	1	-16
21	50033	0	1	-12
22	50034	0	1	-12
23	50035	0	1	-19
24	50036	0	1	-14
25	50037	0	1	-16

图 51 双通道时间差分析过程中 T3 数据的保存

此外，Venus 还支持采集过程中 T3 时间差数据的实时保存，用户只需要勾选“保存 T3 数据”即可。输出的数据（csv 格式）将保存在程序安装目录下的 output 文件夹中。

8.7.3 Start-Stop 分组测试

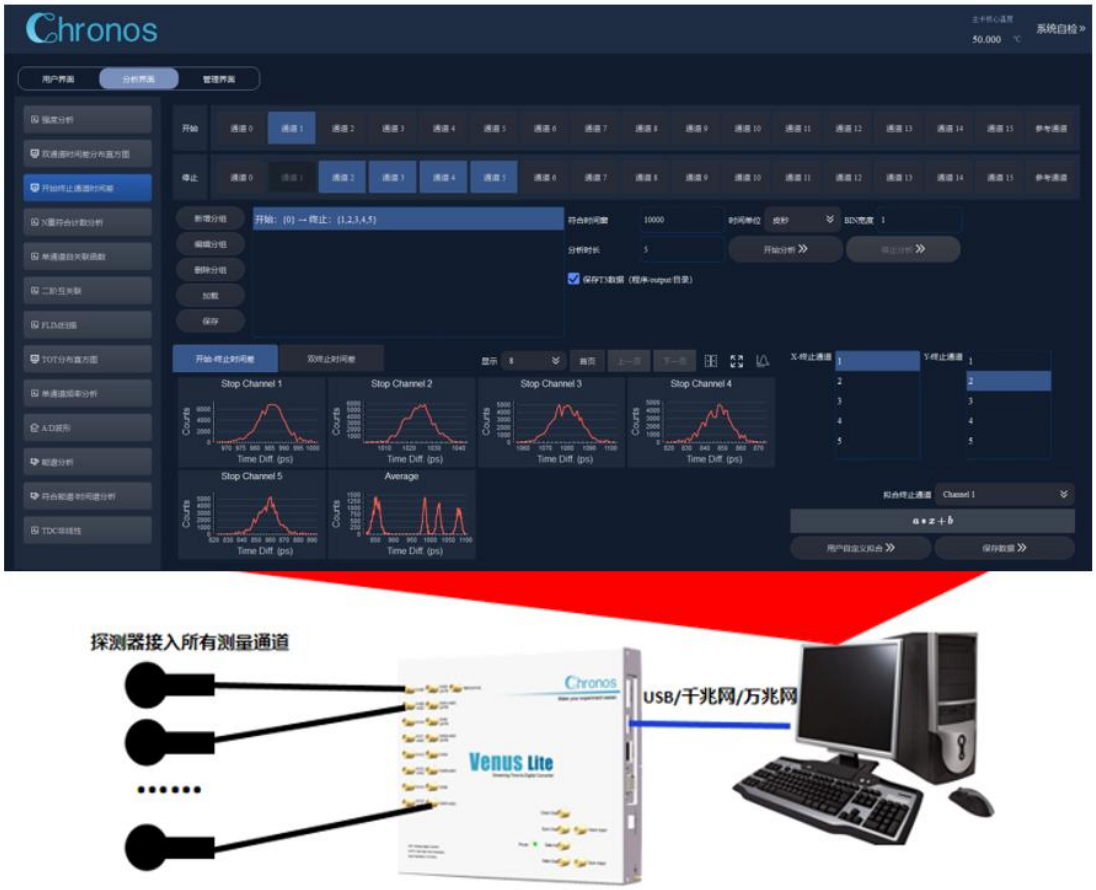


图 52 Start-stop 分组测试界面

如上图所示，在“开始和终止通道时间差”分析页面中，用户需选择一个 Start（起始）通道和多个 Stop（停止）通道，并新建分组，然后设置采集时间与符合时间窗，随后点击开始采集。上位机软件将统计所有 Stop 通道与 Start 通道的时间差，并绘制时间差的分布直方图和所有通道的平均分布。该直方图反映了事件发生的时间延迟分布，可用于进一步分析如荧光寿命等物理特性。用户可以设置多个分组进行测试和分析。

另外，用户还可以选择任意 2 个终止通道，画出两个终止通道与起始通道的时间差，分别作为 X 轴和 Y 轴并画出二维 Stop 时间差图像。

本分析功能常用于时间相关单光子计数器（Time-Correlated Single Photon Counting，简称 TCSPC）、双光子符合、多通道关联分析等场景。下面根据一个测试案例进行详细说明。

Start-stop 原理说明示意图如下所示。以测量上升沿为例。

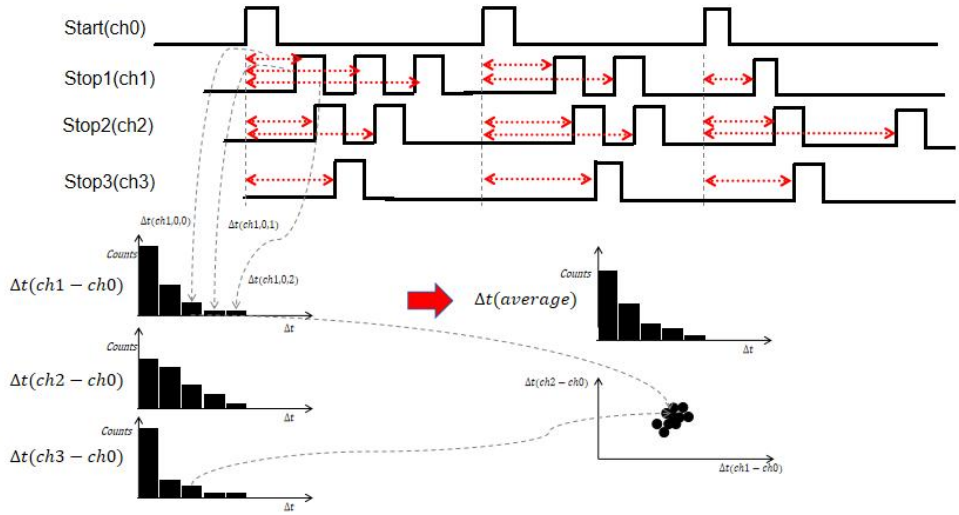


图 53 Start-stop 统计示意图（以上升沿触发为例，以 CH0 作为 start 通道，CH1/2/3 为 Stop 通道为例。实际用户可以按照实验要求自行分组）

（1）首先，用户选择 Start 通道，本例为通道 0;

（2）然后，用户选择任意个 Stop 通道，本例为通道 1/2/3，通道 0 和通道 1/2/3 组成了一个测试分组;

（3）然后，用户设置符合时间窗，符合时间窗也为时间差统计直方图横坐标的最大范围;

（4）然后，用户设置数据采集时间;

（5）然后，用户选择任意 2 个 Stop 通道，作为画出二维 Stop 时间差图像的通道。本例，选择通道 1 和通道 3;

（6）然后，开始采集。软件会实时采集和显示如下结果:

（6.1）通道 1/2/3 和通道 0 的时间差 Stop-start 统计直方图;

（6.2）通道 1/2/3 和通道 0 的时间差 Stop-start 统计直方图平均后的结果;

（6.3）通道 1 和通道 3 分别与通道 0 时间差 Stop-start 的关系图像（横坐标为 ch1，纵坐标为 ch3）。所有结果都可以保存。

（7）本例中，软件会统计每次 Start 信号后面所有的 Stop 信号。将时间差记作 Δ*t*(通道，*start* 编号，*stop* 编号）。上图中软件会将 Δ*t*(*c*h1,0,0)/Δ*t*(*c*h1,0,1)/Δ*t*(*c*h1,0,2)/Δ*t*(*c*h1,1,0)/Δ*t*(*c*h1,1,1)/Δ*t*(*c*h1,2,0) 统计到通道 1 的分布直方图。其他通道方法相同。

（8）用户也可以采集全局符合原始数据来自行处理。

另外，用户可以采集和保存 Start-stop 时间差数据。首先，用户应该先配置 Start 和 Stop 通道分组，然后框选“保存 T3 数据”，然后在软件安装目录下的 Output 文件夹下会保存 Start-stop 时间差数据，包括 Start 信号序列、Start 通道号、Stop 通道号、Start 与 Stop 时间差。



	A	B	C	D	E
1	start_channel_index	start_channel	stop_channel	timediff(ps)	
2	49993	4	5	939	
3	49993	4	7	953	
4	49993	4	6	995	
5	50012	0	2	912	
6	50012	0	3	997	
7	50012	0	1	1016	
8	49994	4	5	939	
9	49994	4	7	949	
10	49994	4	6	978	
11	50013	0	2	916	
12	50013	0	3	1003	
13	50013	0	1	1017	
14	49995	4	5	931	
15	49995	4	7	955	
16	49995	4	6	970	
17	50014	0	2	912	
18	50014	0	3	998	
19	50014	0	1	1020	
20	49996	4	5	933	
21	49996	4	7	935	
22	49996	4	6	979	
23	50015	0	2	912	
24	50015	0	3	994	
25	50015	0	1	1020	
26	49997	4	5	934	
27	49997	4	7	935	
28	49997	4	6	980	
29	50016	0	2	918	
30	50016	0	3	1002	
31	50016	0	1	1016	
32	49998	4	7	935	
33	49998	4	5	942	
34	49998	4	6	988	
35	50017	0	2	912	
36	50017	0	3	999	

图 54 Start-stop 输出 T3 数据的格式示意图（包含 Start 触发序列、start 通道号、stop 通道号、时间差信息）

（1）Start 信号序列：一般试验中，Start 为探测器同步（Sync）信号，通过产生多次 Start 信号来激发 Stop 信号（探测器输出）。Start 信号序列为 Start 信号发生的序列。这个序列值有利于用户去区分哪一次 Start 信号所激发的 Stop 信号；

（2）Start/stop 通道号可以让用户区分不同分组的 Start-stop 数据；

（3）时间差为在用户所设置时间窗内，Stop-Start 时间差值



图 55 双通道 Stop-Start 时间差热点图

此外，Venus 还支持用户在线实时观察双 stop 通道与 start 通道时间差的分布热点图，如上图所示。用户只需要选择哪一分组，分组中哪两个 stop 通道，即可实时观察时间差二维分布热点图。

一个常见的应用如下图所示。信号发生器输出两路同步信号，一路给光源（如激光器等）激发输出光信号，然后经过光路后打入测试样品上，测试样品激发输出的光信号进入光电探测器（如 PMT 等）后转换为电信号。将该电信号（可作为 Stop 信号）与同步参考信号（可作为 Start 信号）输入到 Venus 设备中，然后使用本 Start-stop 分析功能就可以通过连续测量得到不同时间的光子探测效率等数据，用于进行材料分析等。

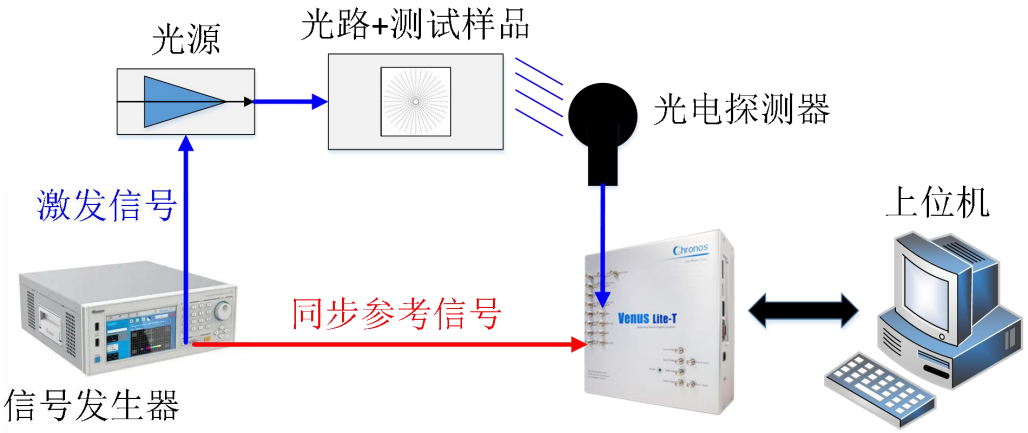


图 56 一种常见的 Start-stop 功能应用测试场景

8.7.4 ADC 波形

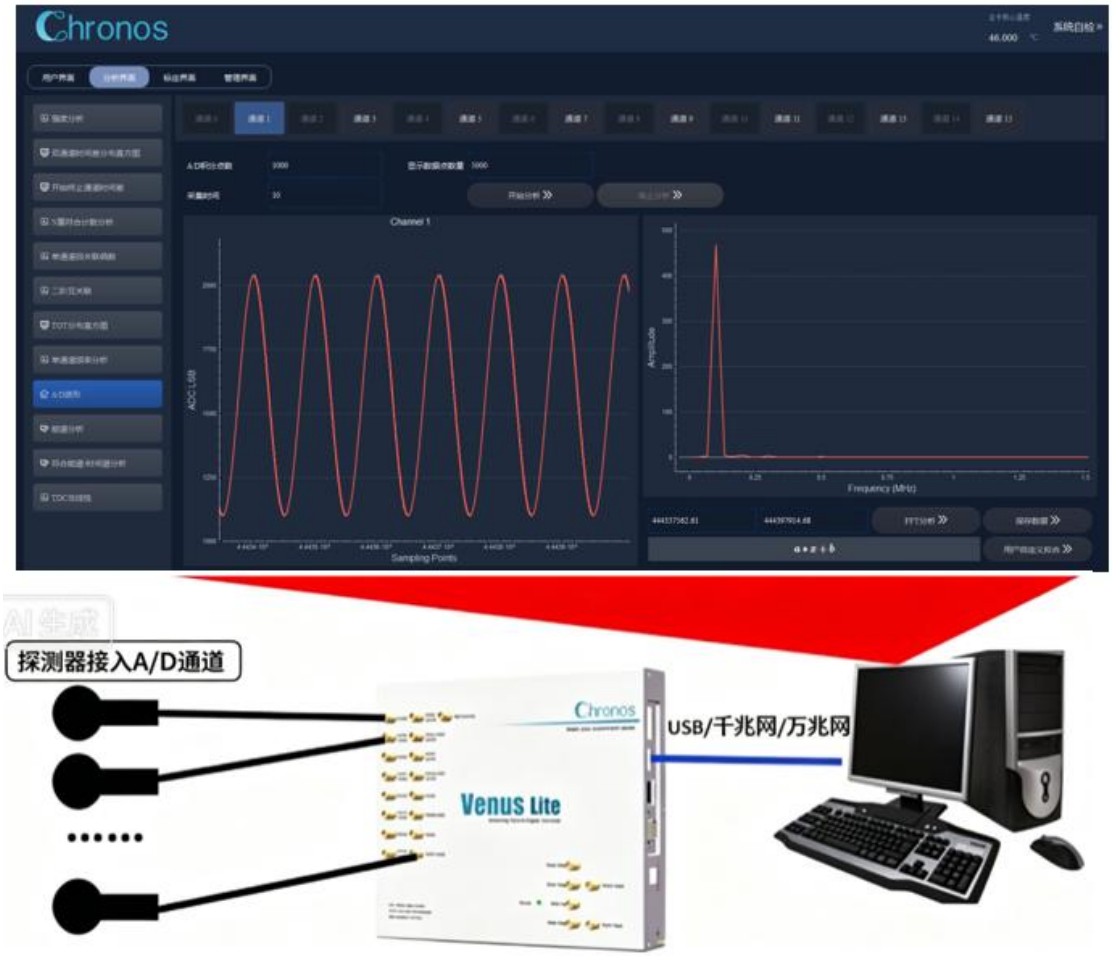


图 57 ADC 瞬态波形分析

如上图所示，用户需选择一个 A/D 输入通道，并设置采集时间和采样点数（记录长度），随后点击开始采集。上位机软件将采集到的信号数字化，并同步显示其原始波形（瞬态波形）和幅值（ADC 值）。注意：软件显示与输入信号极性反向，即输入正脉冲，显示为负脉冲。

用户可在波形图上手动输入或直接框选一个时间区间，并对该区间内的数据进行快速傅里叶变换（FFT）分析，以获取其频域特性。

8.7.5 能谱分布



图 58 能谱分布分析

如上图所示，用户需选择一个 A/D 输入通道，并设置总采集时间和积分门宽（成形时间），随后点击开始采集。上位机软件将采集到的脉冲信号幅度（ADC 值）进行统计，最终以直方图形式显示能谱分布。

用户可选择拟合区间（手动输入道址或直接在能谱图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：峰位（平均值）、峰面积（计数）、标准差（σ）和半高全宽（FWHM） 等参数。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程（选择区间后点击拟合）与上相同。

8.7.6 TOT 脉宽分布

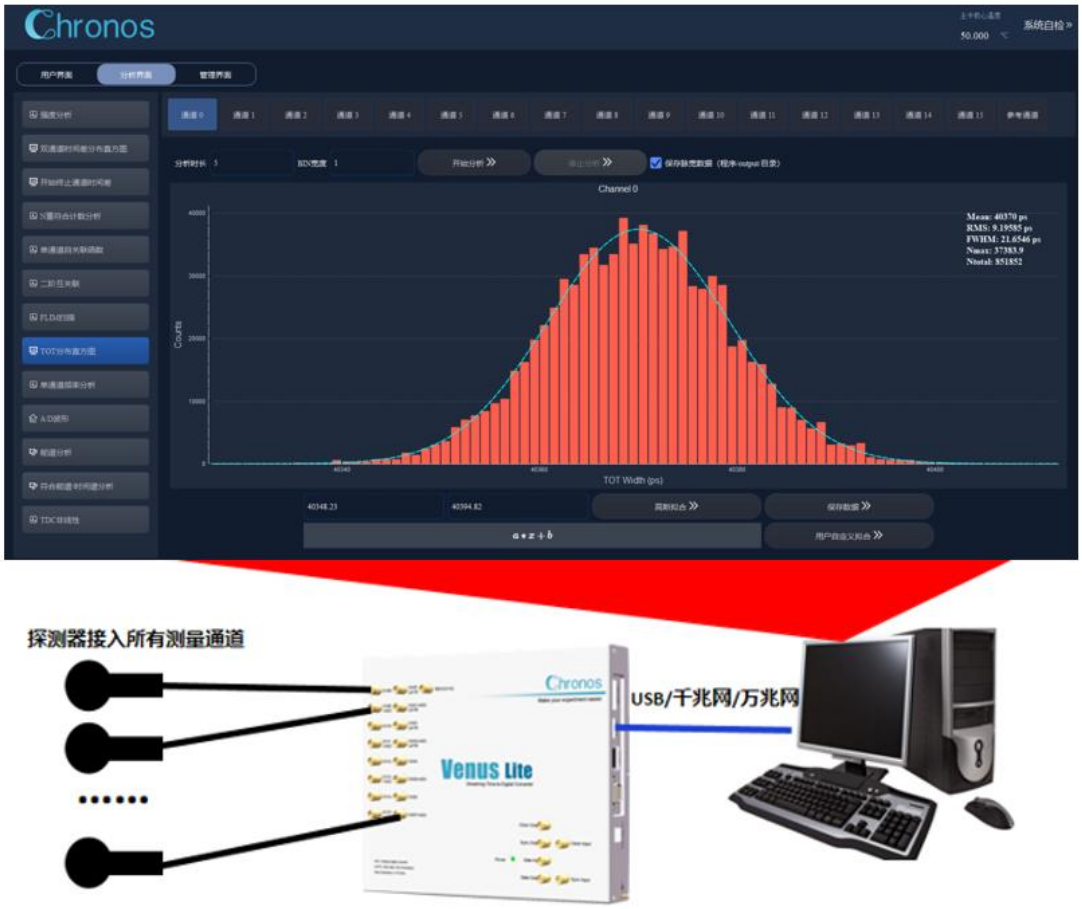


图 59 TOT 脉宽分布分析

如上图所示，用户需选择一个模拟测量通道，并设置采集时间，随后点击开始采集。上位机软件将持续测量脉冲宽度，并统计其分布，最终以直方图形式显示出来。

用户可选择拟合区间（手动输入数值或直接在直方图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：总计数、最大计数值、平均脉宽、标准差（σ）和半高全宽（FWHM）。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程与上述高斯拟合一致。



	A	B
1	channel	tot_ps
2	0	40371
3	0	40365
4	0	40359
5	0	40376
6	0	40366
7	0	40368
8	0	40361
9	0	40378
10	0	40373
11	0	40379
12	0	40354
13	0	40376
14	0	40345
15	0	40376

图 60 TOT 分析过程数据保存

此外，用户还可以在分析过程中保存脉宽时间数据，只需要勾选“保存脉宽数据”，数据就可以在安装目录下的 output 文件夹下。

8.7.7 符合能谱-时间谱分析

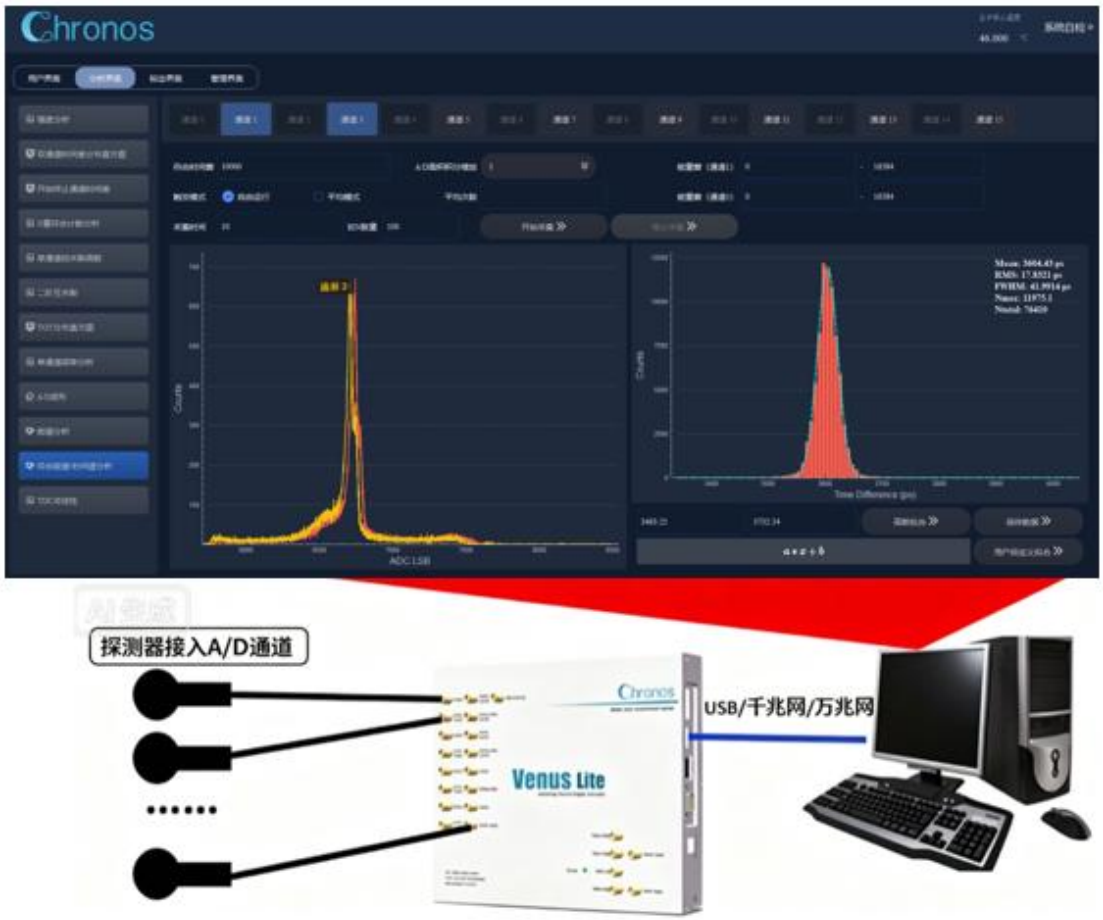


图 61 符合能谱-时间谱分析

如上图所示，用户需选择两个 A/D 通道，并进行基本设置，如总采集时间，触发模式（单次/平均），平均次数，符合时间窗，积分门宽（即“积分点个数”），能量有效窗。

点击开始采集后，系统将执行以下操作：

- 捕捉两个通道的时间信息；
- 筛选出时间差在符合时间窗内的符合事件；
- 从符合事件中，再筛选出能量位于能量有效窗内的事件；
- 将这些双重筛选后事件的能量值进行统计，生成并显示能谱分布直方图。

用户可选择拟合区间（手动输入或直方图上框选） 并进行高斯拟合。软件将给出拟合结果，包括：计数、最大值、峰位（平均值）、标准差（σ）和半高全宽（FWHM）。此外，也支持自定义函数拟合，其操作方法与高斯拟合相同。

一种常见的符合测试场景如下图所示。利用闪烁体探测器(如 BGO/LYSO 等)

将伽马放射源（生成一对能量相同，方向相反，时间同步的伽马射线源）转换为电脉冲信号，然后通过光电探测器（如 PMT/SiPM 等）测量信号的能谱和到达时间。用于闪烁体材料测试、放射源检测、光电探测器性能研究等等。

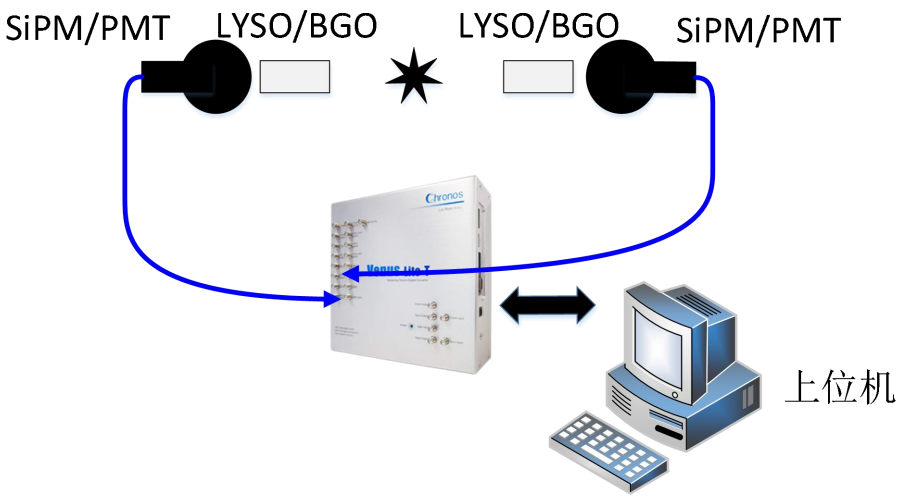
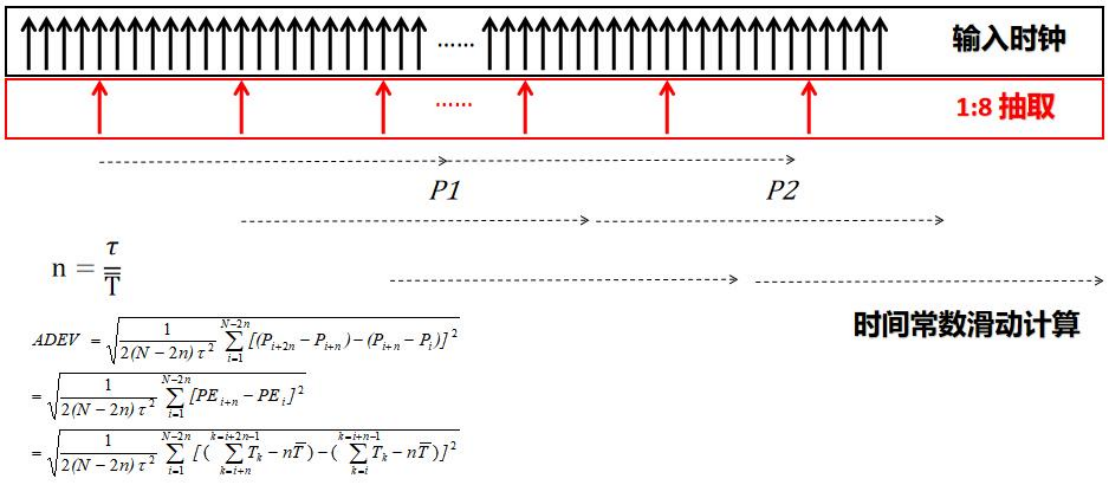


图 62 一种典型的能谱-时间符合测试平台

8.7.8 频率分析





$$n = \frac{\tau}{\overline{T}}$$

$$ADEV = \sqrt{\frac{1}{2(N-2n)\tau^2}\sum_{i=1}^{N-2n}[(P_{i+2n}-P_{i+n})-(P_{i+n}-P_i)]^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2(N-2n)\tau^2}\sum_{i=1}^{N-2n}[PE_{i+n}-PE_i]^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2(N-2n)\tau^2}\sum_{i=1}^{N-2n}[(\sum_{k=i+n}^{k=i+2n-1}T_k - n\overline{T}) - (\sum_{k=i}^{k=i+n-1}T_k - n\overline{T})]^2}$$

图 63 单通道频率分析

对于频率分析，目前只支持对通道 0-1 有效，且每次测试只能接其中的 1 个通道。注意：为了防止其他通道数据干扰，建议用户关闭其他通道（参见 8.6.1 节）。

如上图所示，Venus 首先会对输入信号进行 1:8 提取，然后计算时钟的修正艾伦偏差（MDEV）、哈达玛偏差（HDEV）、时间偏差（TDEV）和艾伦偏差（ADEV）等信息，并计算这些偏差与时间常数的关系，这些方差的计算公式见附录 G。

以 ADEV 计算为例对计算过程进行介绍：

1. 首先软件计算输入时钟的平均周期或者使用用户指定的参考周期$\bar{T}$;
2. 然后，软件会先计算 n=1 时的每个时间常数边缘的相位误差（$\sum T_i - n\bar{T}$）；
3. 然后，软件会逐一滑动计算 n=1 时的相位误差值，一共计算 N-2n 次，然后带入 ADEV 公式进行计算，得到 ADEV 值;
4. 自动重复计算不同τ下的 ADEV 值，得到 ADEV 与τ的关系并实时显示。

在使用时，用户需设置数量级范围、每数量级点数、平均次数、分析数量、FE 分析周期数、标称频率、BIN 数量、采集时间等，随后点击开始采集。软件会实时计算输入这些参数设置说明如下：

- 采集时间：数据采集时长，单位 s;
- 分析数量：频率稳定性分析每次计算偏差的总周期数据数目;
- 平均次数：频率稳定性分析每次计算偏差的次数（如上图中的 N-2n）；
- 标称频率：频率稳定性分析用户可以指定输入时钟的频率，如果不填写，软件会自动计算输入时钟的平均频率($\bar{T}$);
- 数量级范围：频率稳定性分析τ显示范围分为几个十倍程(decades);
- 每数量级点数：频率稳定性分析每个数量级范围内显示的点数;
- FE 分析点数：即每次分析和显示多少个时钟周期并进行瞬时频率误差和累计误差进行分析;
- BIN 数量：周期分布直方图中的时间轴 BIN 的数目。

对于时钟周期，用户可选择拟合区间（手动输入数值或直接在直方图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：总计数、最大计数值、标准差（σ）和半高全宽（FWHM）。此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程与上述相同。

8.7.9 二阶自关联函数（ $g^{(2)}$）分析

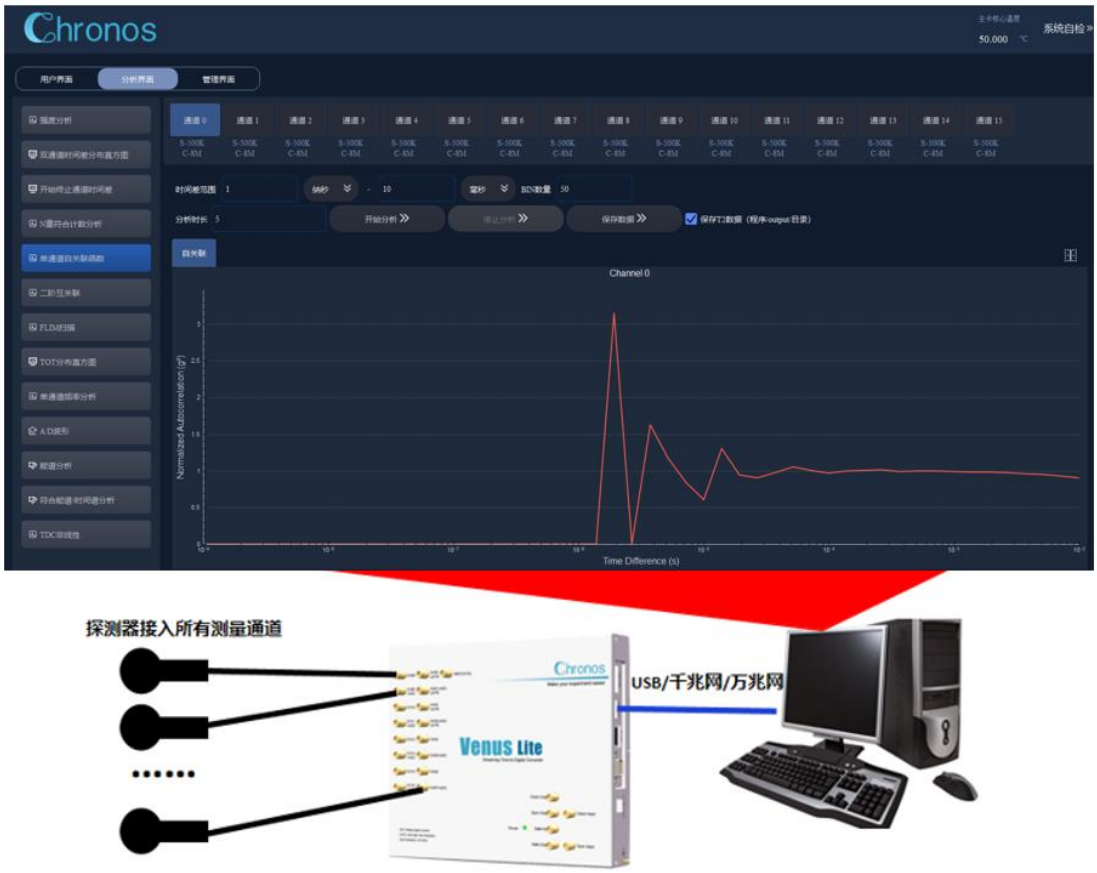
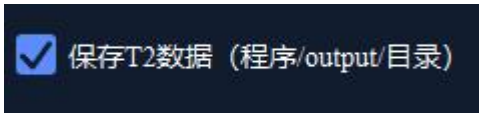


图 64 二阶自关联函数分析

本分析功能模块旨在对单光子计数实验产生的流式时间戳数据进行实时处理，计算单通道的二阶强度自关联函数 $g^{(2)}(\tau)$。关于其数学原理，见附录 H。用户需要对以下参数进行设置。

- 时间差范围：定义分析的最小时间差和最大时间差。最大时间差上限是 1 秒内；
- 边沿分析：在统计计数时间戳的时候，需要判断边沿类型，用户指定是上升沿还是下降沿；
- 采集时间：定义数据采集的时间，单位 s，到时间后自动停止。



	A	B	C
1	channel	timestamp_ps	
2	0	737808782464498	
3	0	737808784464511	
4	0	737808786464514	
5	0	737808788464505	
6	0	737808790464512	
7	0	737808792464518	
8	0	737808794464515	
9	0	737808796464517	
10	0	737808798464527	
11	0	737808800464514	
12	0	737808802464518	
13	0	737808804464520	
14	0	737808806464516	
15	0	737808808464522	

图 65 保存 T2 时间戳数据

此外，Venus 还支持采集过程中 T2 时间戳数据的保存，只需要勾选“保存 T2 数据”，数据就可以在安装目录下的 output 文件夹下。

8.7.10 TDC 非线性测试



图 66 TDC 非线性测试

Venus TDC 采用全自动非线性校准技术，在如下条件下，系统发起自动校准功能：

（1） 系统上电；

（2） 系统复位；

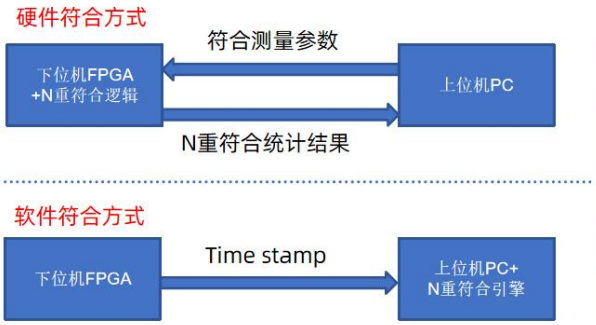
（3） 系统 TDC 参考时钟来源切换。

本分析功能模块旨在对 Venus 设备的核心 TDC 逻辑的静态指标微分非线性 DNL 和积分非线性 INL 进行测试。用户只需要输入采集时间和通道选择，即可分析某通道 TDC 的非线性指标。此功能作为用户评估当前 TDC 性能的工具。

8.7.11 多重符合统计

Venus N 重符合包括硬件符合或者软件符合，用户可以通过上位机软件和实验需求来选择使用哪种方式。

Venus TDC N 重符合分为两类，一类是将 N 重符合引擎部署在设备 FPGA 芯片中，FPGA 芯片会接收来自上位机软件的符合策略参数，然后实时地、低延迟地、高效地并行对 40 个策略组进行 N 重符合统计，并将统计结果传输给上位机软件。上位机软件将统计计数率结果实时显示；另外一类是将 N 重符合引擎部署在上位机电脑上，上位机电脑接收来自 TDC 的时间戳 Raw 数据，然后统计 N 重符合计数率和符合中间结果。其架构如下所示。



性能参数	硬件N重符合	软件N重符合
最大策略组数	40	200
每组通道配置数	16	16
每组虚拟时间窗	0-63 ns	0-63 ns
总体符合计数率	<100 Mtags/s	依赖上位机电脑性能
输出内容	各策略组计数率	各策略组计数率+符合过程数据
统计延迟	低，策略部署完成后下1s即更新	大，依赖上位机电脑性能

图 67 两种 N 重符合机制

可见，相比软件实现，硬件实现 N 重符合具有低延迟、高效率、高性能的优势，如果用户只需要统计计数率结果，而不需要符合中间数据，那么建议采用硬件符合方式；软件 N 重符合高度依赖上位机电脑性能，且其延迟大，但其可以部署更多策略数和输出符合过程数据。所以给出如下建议：

（1）如果用户只需要 N 重符合计数率结果，建议使用硬件符合机制；

（2）如果用户上位机电脑性能较好，输入计数率较低（比如<10 Mtags/s total），需要部署超过 40 个策略组，或需要中间符合过程数据，那么可以选择软件符合机制。

上位机软件进行 N 重符合页面如下所示。

（1）用户可以选择“软件”还是“硬件”分析模式；

（2）用户可以新建/修改/删除符合策略组；

（3）用户设置完策略组后，需要点击“配置策略”，如果需要保存统计数据，选择“开始保存”；

（4）支持设置计数率窗口（范围：10ms - 10s），和强度分析页面联动。

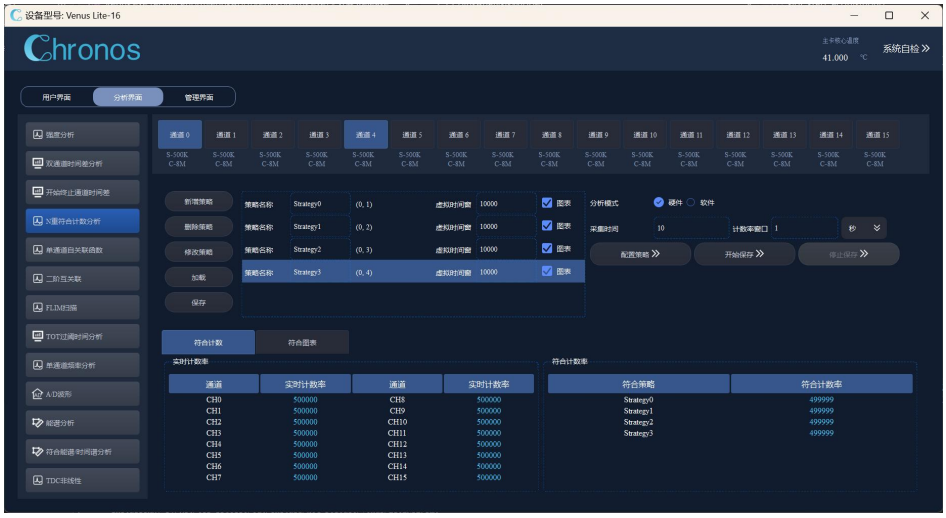


图 68 N 重符合上位机软件示意图

此外，为了方便用户及时保存和载入多个符合策略，软件支持用户保存当前测量配置文件，以及加载策略配置文件，其格式如下所示。

NAME	CHANNELS	TWIN
Strategy0	0_1	10000
Strategy1	1_2	10000
Strategy2	2_3	10000
Strategy3	3_4	10000
Strategy4	3_4_5	10000
Strategy5	4_5_6	10000
Strategy6	5_6_7	10000
Strategy7	6_7_8	10000
Strategy8	7_8_9	10000
Strategy9	8_9_10	10000
Strategy10	9_10_11	10000
Strategy11	10_11_12	10000
Strategy12	11_12_13	10000
Strategy13	12_13_14	10000
Strategy14	13_14_15	10000
Strategy15	0_13_14_15	10000
Strategy16	0_1_13_14_15	10000
Strategy17	0_1_2_13_14_15	10000
Strategy18	0_1_2_3_13_14_15	10000
Strategy19	0_1_2_3_4_13_14_15	10000
Strategy20	0_1_2_3_4_5_13_14_15	10000
Strategy21	0_1_2_3_4_5_6_13_14_15	10000
Strategy22	0_1_2_3_4_5_6_7_13_14_15	10000
Strategy23	0_1_2_3_4_5_6_7_8_13_14_15	10000
Strategy24	4_5_6_7_8_13_14_15	10000
Strategy25	5_6_7_8_13_14_15	10000
Strategy26	6_7_8_13_14_15	10000
Strategy27	7_8_13_14_15	10000
Strategy28	8_13_14_15	10000
Strategy29	8_9_13_14_15	10000
Strategy30	9_10_13_14_15	10000
Strategy31	10_11_13_14_15	10000
Strategy32	11_12_13_14_15	10000
Strategy33	0_11_12_13_14_15	10000
Strategy34	0_1_11_12_13_14_15	10000
Strategy35	0_1_2_11_12_13_14_15	10000
Strategy36	0_1_2_3_11_12_13_14_15	10000
Strategy37	0_1_2_3_4_11_12_13_14_15	10000
Strategy38	0_1_2_3_4_5_11_12_13_14_15	10000
Strategy39	0_1_2_3_4_5_6_11_12_13_14_15	10000

图 69 策略配置文件

保存的统计结果包括各通道的计数率以及各个符合策略组的符合计数率，如

下所示。

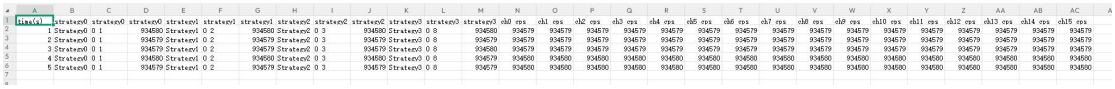


图 70 统计结果保存格式

8.7.11.1 硬件在线 N 重符合统计

多重符合原理示意图如下所示。只有当所有指定通道的触发时间都在各自时间窗之内才作为有效符合计数。

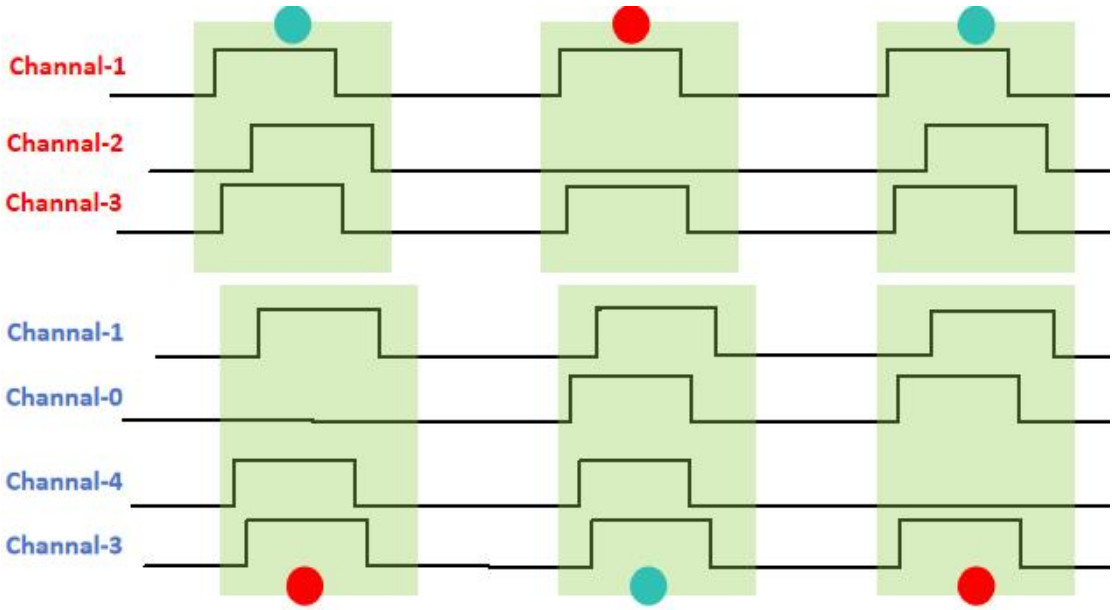


图 71 多重符合示意图（以 2 个策略组，3/4 重符合为例）

首先用户需要部署多组 N 重符合策略，即指定最大不超过 40 组的符合通道组（简称虚拟通道），以及各组的虚拟时间窗。点击开始分析，上位机软件会将符合策略参数下发给设备，Venus 会实时统计各个策略组的多重符合计数值并显示和保存。

8.7.11.2 软件在线 N 重符合统计

软件在线 N 重符合与硬件方式的配置方式基本相同，首先用户需要部署多组 N 重符合策略，即指定最大不超过 200 组的符合通道组（简称虚拟通道），以及

各组的虚拟时间窗。点击开始分析，Venus 会对符合数据进行实时分析以及输出多重符合数据的符合事件序列 index、双符合通道号和双符合通道的时间差信息，作为中间输出数据文件给用户。用户直接可以把此文件内容作为 N 重符合事件的时间信息进行下一步的分析。

比如，用户建立{CH0, CH1, 15ps}, {CH1,CH2,CH3,CH4,200ps},{CH4,CH5,CH6,CH7,10000ps}三个虚拟通道分组，那么软件会实时计算 CH0、CH1 时间差小于 15ps 的组 1 符合计数率，实时计算 CH1、CH2、CH3 和 CH4 之间时间差小于 200ps 的组 2 符合计数率，实时计算 CH4、CH5、CH6 和 CH7 之间时间差小于 10000ps 的组 3 符合计数率并显示计数率与采集时间关系的曲线。



	A	B	C	D	E	F
1	strategy_name	coins_index	start_ch	start_timestamp(ps)	end_ch	end_timestamp(ps)
2	Strategy0	1	0	182320024358104	1	182320024358086
3	Strategy0	1	0	182320024358104	2	182320024357982
4	Strategy0	2	0	182320026358104	1	182320026358086
5	Strategy0	2	0	182320026358104	2	182320026357982
6	Strategy0	3	0	182320028358098	1	182320028358086
7	Strategy0	3	0	182320028358098	2	182320028357966
8	Strategy0	4	0	182320030358099	1	182320030358086
9	Strategy0	4	0	182320030358099	2	182320030357979
10	Strategy0	5	0	182320032358098	1	182320032358086
11	Strategy0	5	0	182320032358098	2	182320032357966
12	Strategy0	6	0	182320034358099	1	182320034358086
13	Strategy0	6	0	182320034358099	2	182320034357973

图 72 符合分析结果是否保存以及保存文件格式

另外，用户还可以选择保存实时分析符合结果，结果保存在 Venus 程序安装目录下的/output 文件夹下。保存文件格式为 csv，第一列为分组名称，第二列为符合事件的编号，即哪一次符合事件；Start_ch、End_ch、Start_timestamp(ps)、End_timestamp(ps)为两个符合通道的通道号以及各自的时间戳信息（单位 ps）。

举例说明，虚拟分组 CH0/1/2，发生了第一次符合事件，见上图中 csv 文件中的 2-3 行，用户可以简单观测到发生本次符合事件的 3 个通道的时间戳信息。

8.7.12 分组二阶互关联系数（g_{AB}^2)



图 73 分组二阶互关联系数计算

Venus GUI 支持多组任意两个通道的互关联系数g_{AB}^2的同时实时计算，其公式参考附录 I。在计算g_{AB}^2时，用户需要输入两个通道的暗计数值。用户可以先评估探测器的暗计数值，如果用户忽略暗计数值，不输入即可，软件计算时则默认暗计数值为 0。



	A	B	C	D	E
1	index	channel_a	channel_b	timediff_ps(Tb-Ta)	
2	50014	0	1	985	
3	50014	0	2	1022	
4	50015	0	1	991	
5	50015	0	2	1030	
6	50016	0	1	987	
7	50016	0	2	1030	
8	50017	0	1	985	
9	50017	0	2	1026	
10	50018	0	1	989	
11	50018	0	2	1030	
12	50019	0	1	987	
13	50019	0	2	1030	
14	50020	0	1	983	
15	50020	0	2	1026	
16	50021	0	1	991	
17	50021	0	2	1034	
18	50022	0	1	980	

图 74 二阶互关联分析中过程 T3 数据保存

另外，Venus 还支持采集过程中 T3 时间差数据的保存，只需要勾选“保存 T3 数据”，数据就可以在安装目录下的 output 文件夹下。

8.7.13 FLIM 扫描测试

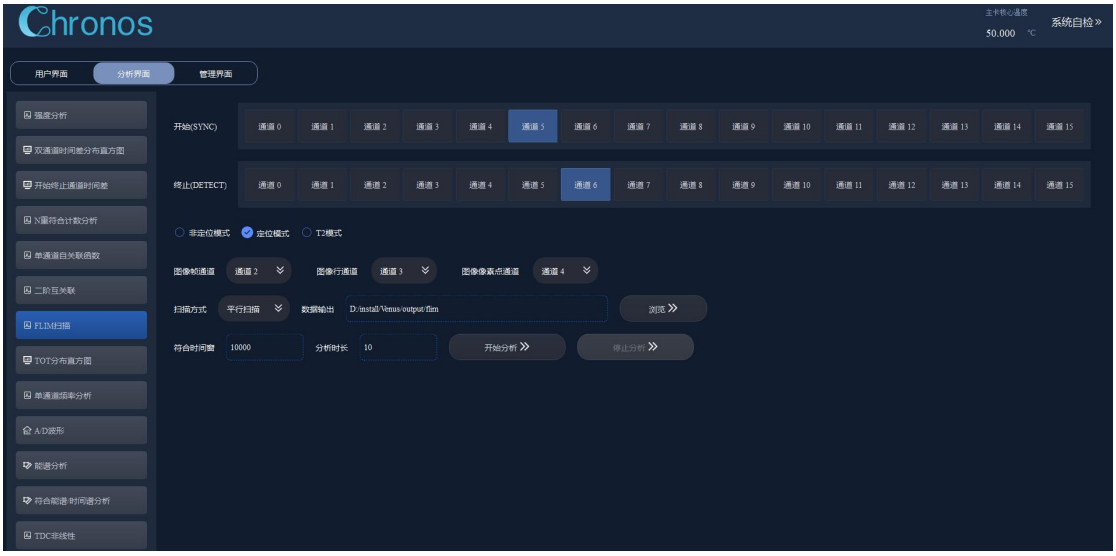


图 75 FLIM 扫描软件功能

Venus 支持在线高速荧光寿命成像显微镜（Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy）扫描测试。包括三种方式供用户选择：

（1）定位模式：用户输入位置(Frame/Line/Pixel)通道、Sync 通道和 Signal 通道信号。软件自动输出位置信息，以及 Sync 和 Signal 时间差信息；

（2）非定位模式：用户仅输入 Sync 通道和 Signal 通道信号。软件输出 Sync 和 Signal 时间差信息，以及每次物理符合事件发生时的时间戳信息；

（3）T2 模式：用户仅输入 Sync 通道和 Signal 通道信号。软件输出 Sync 和 Signal 时间戳信息。完全由用户自行处理数据；

8.7.13.1 定位模式

首先，用户应该先配置位置（Frame/Line/Pixel）通道、Sync 通道和 Signal 通道：

（1）Frame 通道：FLIM 图像帧切换指示信号；

（2）Line 通道：FLIM 每一 Frame 图像中，每行扫描切换指示信号；

（3）Pixel 通道：FLIM 每一 Line 图像中，每个 Pixel 扫描切换指示信号；

（4）Sync 通道：为探测器激发使能同步信号；

（5）Signal 通道：为荧光激发探测器输出的电信号。

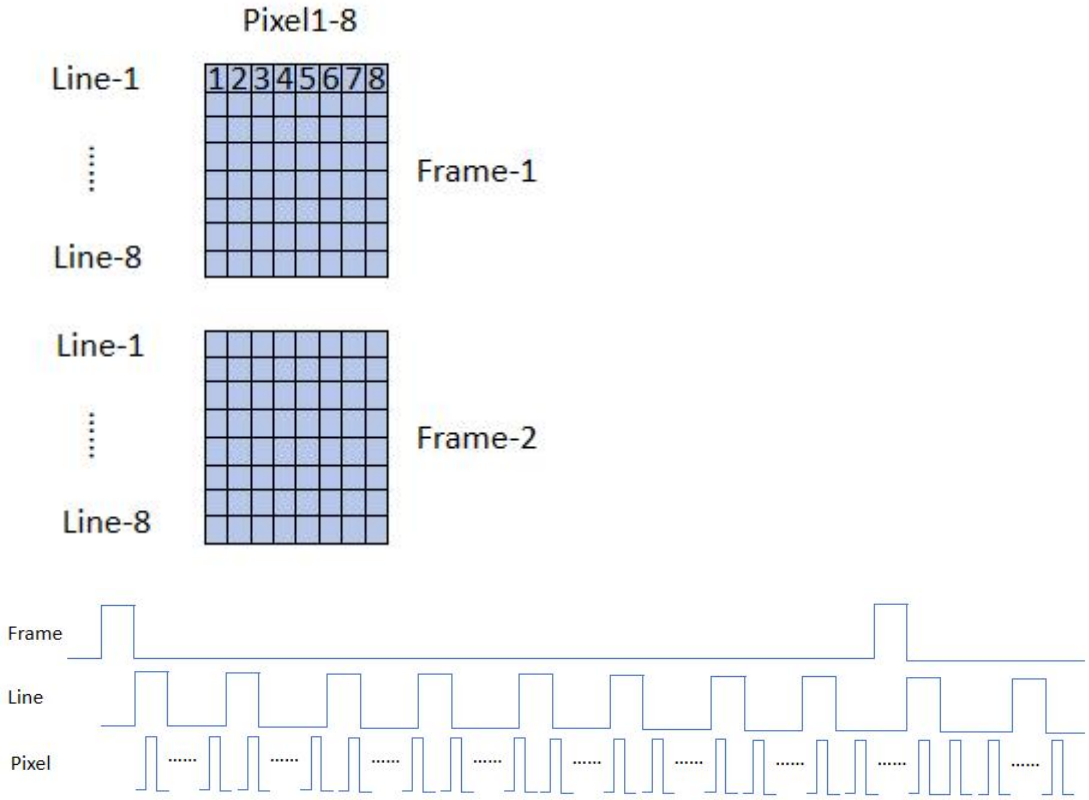


图 76 同步扫描位置信号（Frame/Line/Pixel 示意图，以 2 帧，8x8 图像为例）

Venus 扫描支持高达 262144x262144 大小的图像，足以满足应用需求。

然后，用户按照配置通道内容，将 Frame、Line、Pixel 位置指示信号，以及 Sync 和 Signal 信号接入相应通道。然后点击开始采集，Venus 将输出 FLIM 数据，如下，包括：

（1）Frame 的时间戳信息；

（2）Line 的时间戳信息；

（3）Pixel 位置计数值、Sync 通道号、Signal 通道号以及 Signal 与 Sync 信号时间差信息。

用户通过以上位置和时间差信息，结合扫描序列数据，可以进行进一步拟合得到 FLIM 图像。用户可以选择平行扫描或者蛇形扫描方式进行采集。因此，FLIM 扫描需要 5 个输入信号。得到的扫描数据存放在软件安装目录下的 output 文件夹内，其数据格式如下所示。用户通过时间差信息拟合得到寿命信息。

	A	B	C	D
1	frame_timestamp_ps	line_timestamp_ps	pixel_index	timediff_ps
2	0	0	301	3969
3	0	0	301	3973
4	0	0	301	3968
5	0	0	301	3970
6	0	0	301	3976
7	0	0	301	3978
8	0	0	301	3971
9	0	0	301	3970
10	0	0	301	3984
11	0	0	301	3981
12	0	0	301	3981
13	0	0	301	3970
14	0	0	301	3976
15	0	0	301	3982
16	0	0	301	3973
17	0	0	301	3974
18	0	0	301	3975
19	0	0	301	3981

图 77 FLIM 定位扫描模式下的数据输出格式

8.7.13.2 非定位模式



图 78 FLIM 非定位模式

首先，用户应该先配置 Sync 通道和 Signal 通道：

（1）Sync 通道：为探测器激发使能同步信号；

（2）Signal 通道：为荧光激发探测器输出的电信号。

然后，用户设置一个时间窗和采集时长，就在保存目录下得到 T3 时间差数据以及每次事件发生的时间戳信息。用户根据时间戳信息来计算扫描位置，通过时间差信息拟合得到寿命信息。

	A	B	C	D	E
1	timestamp_ps	start_ch	stop_channel	timediff_ps	
2	100009780000	2	3	23	
3	100009790000	0	1	15	
4	100011780000	2	3	31	
5	100011790000	0	1	15	
6	100013780000	2	3	31	
7	100013790000	0	1	15	
8	100015780000	2	3	39	
9	100015790000	0	1	7	
10	100017780000	2	3	39	
11	100017790000	0	1	15	
12	100019780000	2	3	31	
13	100019790000	0	1	15	
14	100021780000	2	3	23	
15	100021790000	0	1	15	
16	100023780000	2	3	31	
17	100023790000	0	1	15	
18	100025780000	2	3	31	
19	100025790000	0	1	15	

图 79 FLIM 非定位扫描模式下的数据输出格式

8.7.13.3 T2 模式

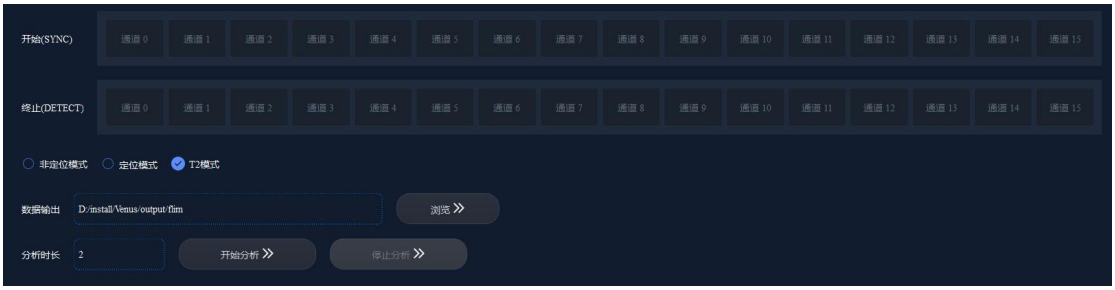


图 80 FLIM 中 T2 模式

T2 模式即保存原始流时间戳信息，是最简单和最完整的时间信息。用户拿到每个时间信息然后计算扫描位置和寿命信息。

	A	B	C
1	channel	timestamp_ps	
2	10	1896484878978626	
3	11	1896484878978599	
4	12	1896484878978735	
5	13	1896484878978686	
6	14	1896484878978698	
7	15	1896484878978697	
8	16	1896484878978695	
9	0	1896484878978828	
10	1	1896484878979822	
11	2	1896484878979853	
12	3	1896484878979911	
13	4	1896484880979689	
14	5	1896484880979699	
15	6	1896484880978722	
16	7	1896484880978572	
17	8	1896484880978576	
18	9	1896484880978688	
19	10	1896484880978626	
20	11	1896484880978600	
21	12	1896484880978735	
22	13	1896484880978686	
23	14	1896484880978707	

图 81 FLIM 中 T2 模式下的数据输出格式

8.9 管理页面

8.9.1 基本介绍

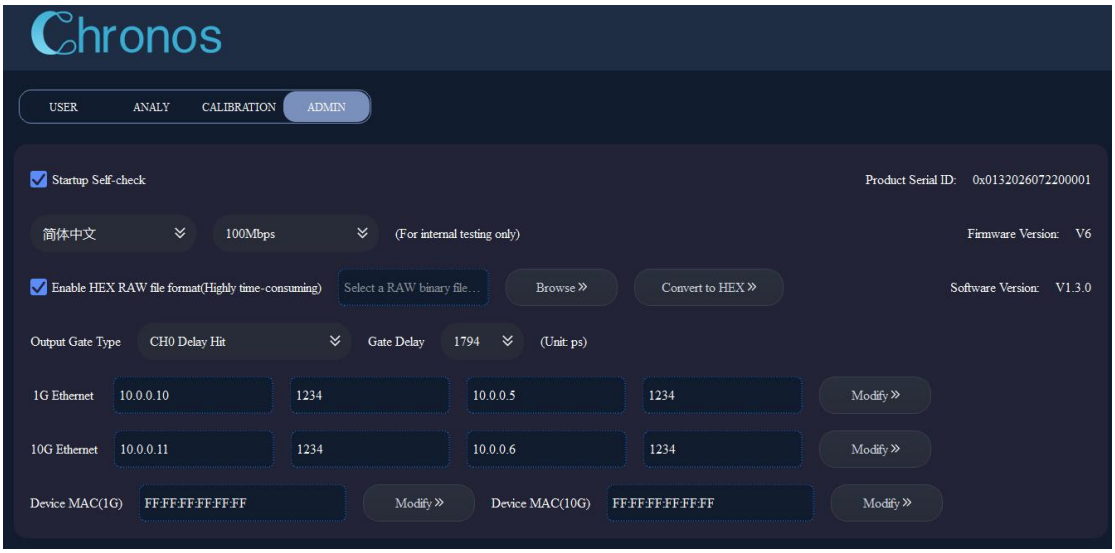


图 82 管理页面

管理页面用于进行系统级设置与信息查看，主要功能包括：

- 软件语言选择
- Raw 数据保存格式设置和离线转换
- 以太网地址配置
- 设备序列号显示
- 下位机固件版本号显示
- 辅助 Gate 输出

其中，设备序列号是产品的唯一身份标识，将伴随设备的整个生命周期。凭借此序列号，我们可为每一台设备提供全生命周期的技术跟踪支持、售后服务与软件升级。

表格 4 设备序列号解释

设备序列号段	段名	可选
段 1	设备类型	0x1 Venus(TDC)
段 2	设备类型	
段 3	生产日期	例如：0x20251101
段 4	生产地点	例如：0x0，杭州
段 5	生产编号	例如：0x1

8.9.2 辅助 Gate 输出

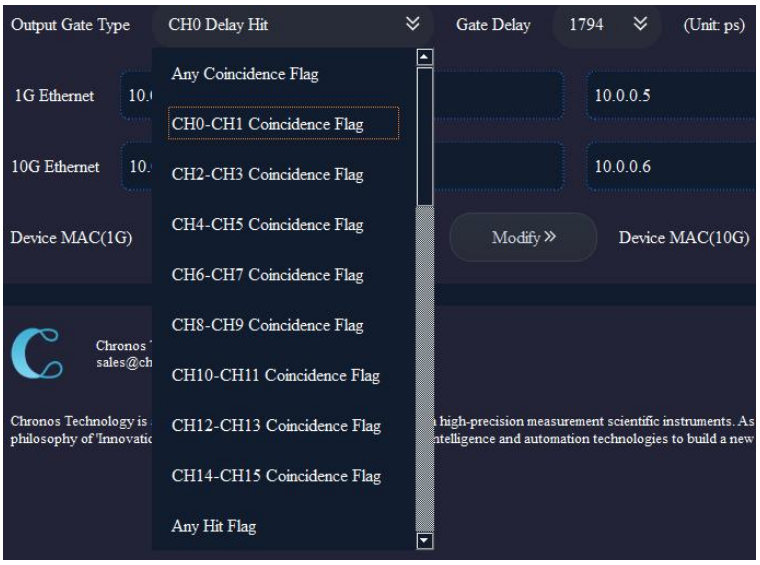


图 83 Gate 输出功能选择

辅助 Gate 输出，用户通过配置不同功能定义 Output Gate SMA 输出，如下表所述。

表格 5 Gate 输出功能描述

序号	软件配置	意义	说明
1.	全局符合标志	任意 2 个通道符合事件发生，输出高电平脉宽	一次符合事件输出脉冲宽度约 10 ns，如果连续多次符合，输出脉冲宽度为 10 x N ns。
2.	通道 0 和通道 1 符合标志	通道 0 和通道 1 符合事件发生，输出高电平脉宽	
3.	通道 2 和通道 3 符合标志	通道 2 和通道 3 符合事件发生，输出高电平脉宽	
4.	通道 4 和通道 5 符合标志	通道 4 和通道 5 符合事件发生，输出高电平脉宽	
5.	通道 6 和通道 7 符合标志	通道 6 和通道 7 符合事件发生，输出高电平脉宽	
6.	通道 8 和通道 9 符合标志	通道 8 和通道 9 符合事件发生，输出高电平脉宽	
7.	通道 10 和通道 11 符合标志	通道 10 和通道 11 符合事件发生，输出高电平脉宽	
8.	通道 12 和通道 13 符合标志	通道 12 和通道 13 符合事件发生，输出高电平脉宽	

9.	通道 14 和通道 15 符合标志	通道 14 和通道 15 符合事件发生，输出高电平脉宽	
10.	通道触发标志	任意一个通道有触发发生后，输出高电平脉宽	一次事件输出脉冲宽度约 10 ns，如果连续多次触发，输出脉冲宽度为 10 x N ns。
11.	通道 0 触发标志	通道 0 有触发发生后，输出高电平脉宽	
12.	通道 1 触发标志	通道 1 有触发发生后，输出高电平脉宽	
13.	通道 2 触发标志	通道 2 有触发发生后，输出高电平脉宽	
14.	通道 3 触发标志	通道 3 有触发发生后，输出高电平脉宽	
15.	系统时钟锁定		低电平表示系统正常
16.	Input gate		转发 input gate 输入信号，用于级联硬件数据采集（8.6.8 节）
17.	通道 0-通道 16 触发脉冲延迟输出	通道 0-通道 16 触发脉冲经过可控延迟后输出	延迟值 0~2.5 ns，最小分辨 78 ps
18.	N 重符合第 0 组策略有效输出	N 重符合模式，第 0 组策略有效时输出脉冲	一次事件输出脉冲宽度约 10 ns，如果连续多次触发，输出脉冲宽度为 10 x N ns。

用户通过管理页面中的 Output Gate Type 来选择功能。当选择通道 0-通道 16 触发脉冲延迟输出时，通过 Gate Delay 选择输出脉冲相对于输入脉冲的延迟，延迟范围为 2.5 ns，最小分辨为 78 ps。

8.10 日志区

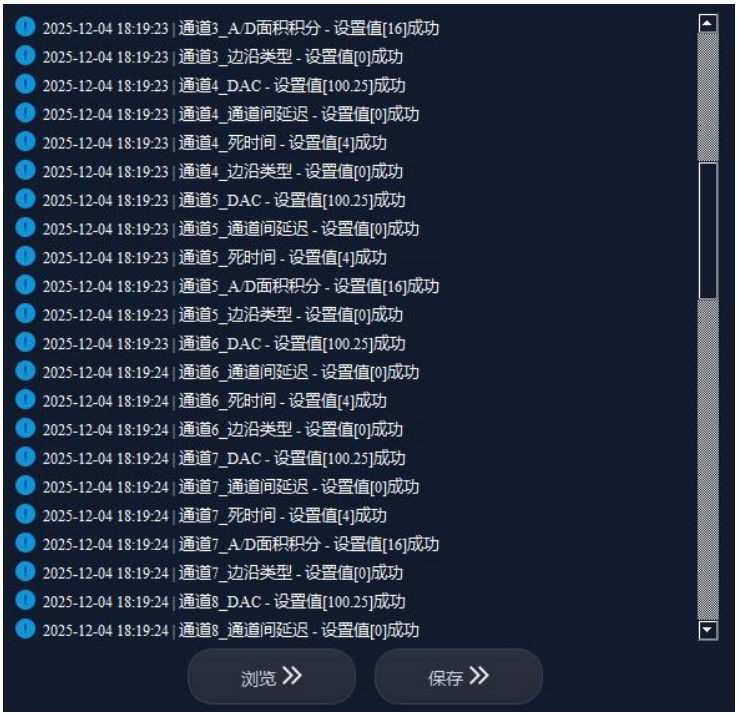


图 84 系统日志

Venus 会自动保存用户的所有操作和系统时间信息，并可以保存测试过程到上位机电脑，用户可以通过管理日志来查询实验条件历史信息。

本文档历史记录

文档编号	修改时间	修改人	说明
UG-01-3-010-1	2025.12	Cong	V1.0
UG-01-3-030-1	2026.2	Cong	1. 针对 v1.2 硬件版本进行更新； 2. 优化了时间测量性能； 3. 增加了比较器迟滞电压设置功能； 4. 去掉了时间延迟使能按钮； 5. 修改了外部时钟输入要求； 6. 增加了 LabVIEW SDK，更新了 C++/Python/Matlab SDK； 7. 增加了 Start-Stop 分析模式； 8. 更新了部分测试结果
UG-01-3-040-1	2026.4	Cong	1. 针对 v1.3 硬件版本进行更新； 2. 详细描述了 Start-stop 统计方法； 3. 更新了产品订购型号说明； 4. 更新了测试结果和 API 接口
UG-01-3-050-1	2026.6	Cong	1. 增加了关联函数 g2 计算； 2. 优化了时钟频率分析功能，满足 IEEE 1139； 3. 增加了多重符合统计； 4. 解决了部分 bug；
UG-01-3-051-1	2026.7	Cong	1. 增加了单边沿数据格式； 2. 增加了多功能 Gate 输出； 3. 增加了常用问题答疑
UG-01-3-052-1	2026.8	Cong	1. 增加了硬件 N 重符合统计方案； 2. 增加了硬件 N 重符合统计性能测试结果；
UG-01-3-053-1	2026.9	Cong	1. 增加了 FLIM 模块描述； 2. 更新了部分测试结果

UG-01-3-054-1	2026.11	Cong	1. 增加了 Burst 测试； 2. 增加了组网 USB 采集方法； 3. 增加了 Frame cnt 数据结构； 4. 更新了部分测试结果 5. 增加了一些答疑