Chronos

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

使用 Venus lite16 迅速搭建 4000 通道高精度时间测量平台

TR-01-3-020-1, Oct. 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. 多设备时钟同步

11.1 多设备时钟同步

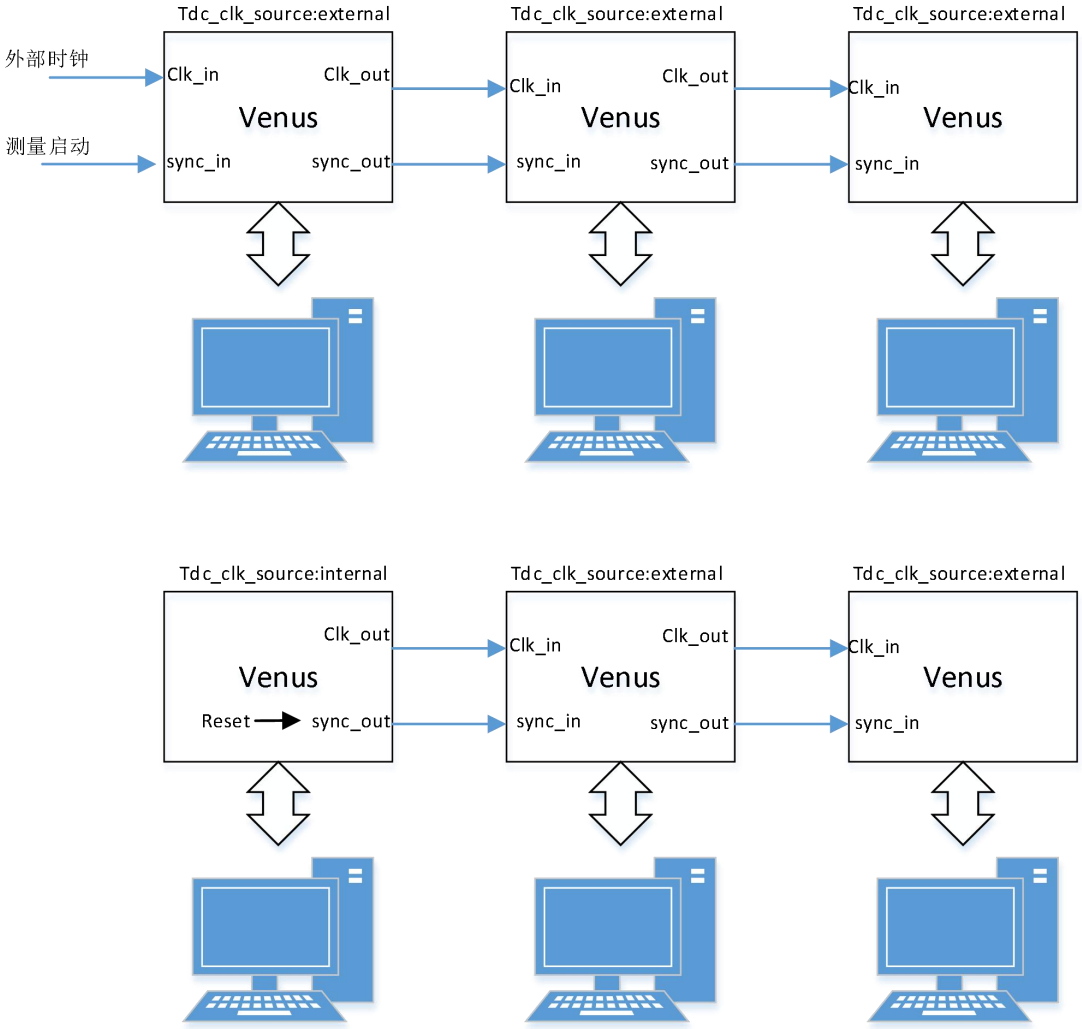

图 1 多设备时钟同步示意图（典型应用。上图：外部时钟，下图：第一个设备作为时钟源）

多个 Venus 设备可组建为一个高精度的同步测量网络。为实现系统内所有设备的时钟同步，各 Venus 设备均配备了以下接口：

- 外部时钟输入（clk_in）
- 外部同步信号输入（sync_in）
- 外部时钟输出（clk_out）
- 外部同步信号输出（sync_out）

一、同步配置方案

方案一：外接主时钟源同步

连接方式： 如上图所示。

系统配置：

- 所有 Venus 设备的 TDC 时钟源均设置为 “外部” 模式，其中第一个 Venus 设备接收来自系统主时钟源的 10/25 MHz 时钟和同步信号。其他 Venus 设备必须选择“外部时钟 25 MHz”；
- 第一个设备将时钟和同步信号分发给第二个设备，以此类推，形成串接链。设备之间的时钟频率都为 25 MHz;
- 同步触发： 当 sync_in 接收到高电平脉冲时，链上的所有 TDC 将同时复位。如果没有 Sync_in 复位信号，对第一台 Venus 设备内部 TDC 软复位也可以。第一台 Venus 设备收到 TDC 软复位命令后，会复位自身 TDC 并将 TDC 复位信号传递到下一台 Venus 设备，以此类推实现多设备 TDC 同步。

方案二：设备主时钟同步

连接方式： 如下图所示。

系统配置：

- 将第一个 Venus 设备的内部本地时钟作为整个系统的主时钟源;
- 将其 25 MHz 时钟和同步信号（设备上电或复位后会自动产生）输出给第二个设备，以此类推，形成串接链;
- 后续设备的 TDC 时钟源设置为 “外部时钟 25 MHz” 模式;
- 同步触发：用户在软件中对主设备（第一个设备）执行 TDC 复位操作，该复位命令将通过 sync_out 传递，致使链上所有设备的 TDC 同步复位。

二、安装与校准注意事项

- 线缆要求： 连接各设备的时钟和同步信号的同轴电缆应尽量等长，以最小化传输延迟差异;
- 系统标定： 尽管已使用等长电缆，但仍需对线缆延迟带来的固定时间差进行系统标定。标定得到的延迟值可输入至各设备的 INTER_DEALY 查找表中，软件将在数据处理时自动进行补偿;
- 设备标识： 用户可为每个 Venus 设备分配唯一的板号。该板号将作为

标识信息被记录在 Raw data 中，便于后续的数据区分与融合处理。

11.2 通过 API 接口进行多设备同步采集

11.2.1 通过以太网和交换机实现组网测试

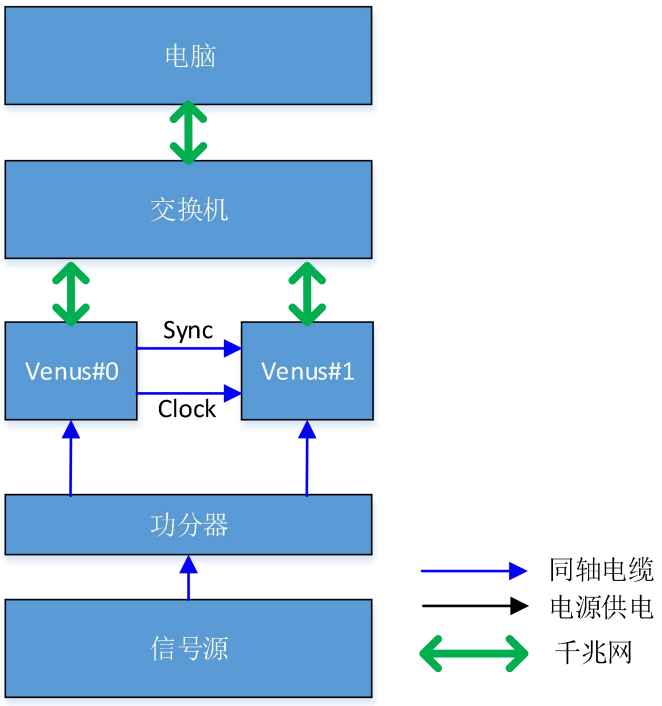

图 2 Venus 多设备组网测试示意图（以太网）

Venus 支持多设备通过以太网组网。根据 11.1 节介绍，Venus 组网有两种方式，本次测试以 Venus0 设备本地时钟作为全局时钟，Venus1 设备使用来自 Venus0 输出的时钟。

信号源输出脉冲信号（上升沿/下降沿 3ns，幅度 4 V，重复频率 1 MHz），通过功分器将信号分为两路，分别接入 Venus0 设备的通道 0 和 Venus1 设备的通道 0,。设备输出的测量数据通过交换机（1G 或者 10G 交换机，本次测试仅介绍 1G 交换机为例，10G 组网类似操作）将数据传给上位机电脑。Venus 设备的配置参数见下表所示。注意，两台设备的 IP 地址和 MAC 地址需要区分。

表格 1 Venus 多设备组网测试设置参数

参数	Venus0	Venus1	本机电脑
IP 地址	10.0.0.10	10.0.0.20	10.0.0.5
端口地址	0x1234	0x5678	0x1234/5678
MAC 地址	0x0123456789AB	0x0123456789CD	/
板号	0x0	0x1	
TDC 时钟来源	本地时钟或外部 10/25MHz 时钟	外部时钟 25 MHz	

官方提供基于 Python 的参考脚本，名称为 tdc_networking_example.py。用户可以在此基础上进行二次开发和测试。该脚本基本的工作过程如下所示。

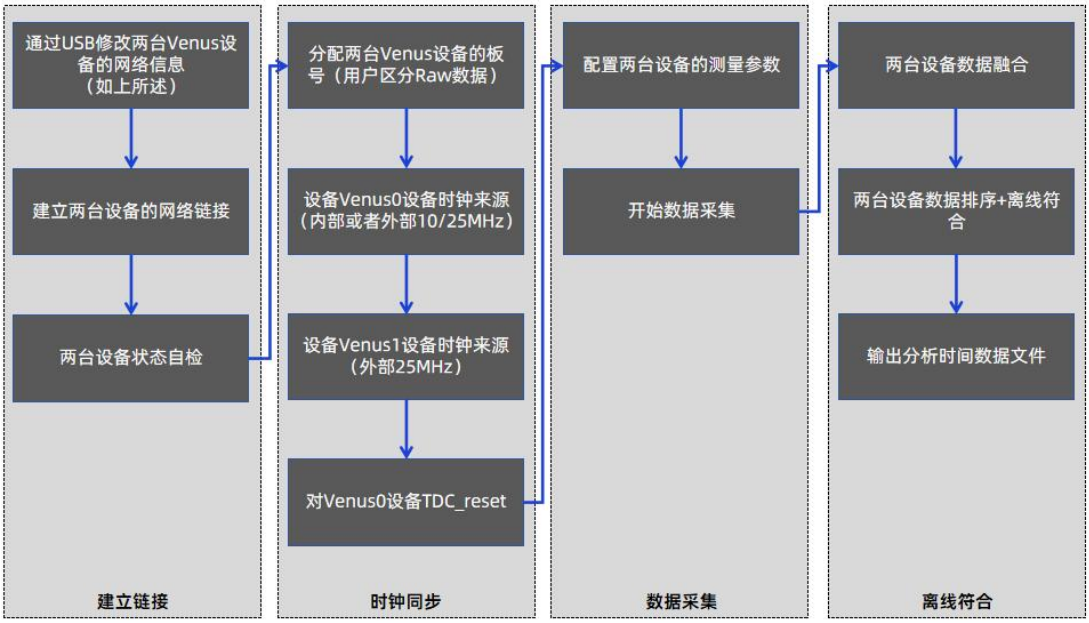

图 3 tdc_networking_example 脚本运行过程说明

具体说明如下。

（1） 首先，通过 USB 接口修改两台设备的网络信息。因为修改网络信息后可能引发设备网络暂时中断，建议通过 USB 接口修改比较稳妥。修改完网络信息后，**注意需要重启交换机操作，**否则有的交换机会有缓存导致链接错误；

（2） 在测试脚本当前目录下，新建 device0 和 device1 两个目录（分别对应板号为 0 和 1 的设备），将 apiconfig.ini 文件拷贝到两个目录中，并修改配置文件中的设备 IP 指向不同的设备。同时修改本地端口，确保两个配置文件中的本地端口不同。如下所示。

（3） 建立两台设备的网络连接；

（4） 分配两台设备的板号。两台设备的板号设置不同，以区分两台设备的 Raw data；

（5） 设置 Venus0 设备的 TDC 时钟来源为“本地时钟，或者外部时钟 10/25 MHz”，设置 Venus1 设备的 TDC 时钟来源为“外部时钟 25 MHz”。在本次测试中，系统 TDC 工作时钟来源于 Venus0 设备，因此需要设置 Venus0 设备的 TDC 时钟来源为“本地时钟”。如果用户通过其他时钟源来对 Venus0 提供 TDC 工作时钟的话，Venus0 需要配置为“外部时钟 10/25 MHz”；

（6） 对 Venus0 设备进行 TDC Reset，Venus0 设备会完成 TDC 计数值清零，并将同步清零信号透明传递给 Venus1 设备，Venus1 设备同步完成 TDC 计数值清零；

（7） 配置 Venus0 和 Venus1 设备的采集参数，包括 DAC 阈值、时间延迟值、死时间值、采集模式、采集时间等等信息；

（8） 注意，由于在切换时钟来源后，TDC 需要进行一次非线性校准，需要大概 20 s 的时间。因此，在脚本程序中，Venus1 设备在切换时钟源后，会等待一段时间，并实时检测 TDC 校准过程是否完成；

（9） 开启两台设备的数据采集，得到 Raw 数据文件，“Timestamp_raw_0_XX.bin”和 “Timestamp_raw_1_XX.bin”；

（10） 软件自动将采集到的两个设备的时间戳信息进行合并；

（11） 将合并得到的时间戳信息进行排序，得到'Timestamp_raw_sort. csv'；

（12） 用户设置分析符合时间窗值，软件根据排序的时间戳信息，以及板号和通道号信息，进行离线符合处理，得到全局符合数据文件'Coins. csv'，包含[Board_ID-A, Channel_ID-A, Board_ID-B, Channel_ID-B , time_difference]内容，表示 A 和 B 事件的通道号和时间差值。用户可以根据符合数据进行飞行时间分析等；

（13） 符合时间窗/符合计算长度/边沿类型等用户都可以根据需要进行修改，官方提供的 API 示例代码完全开放；

（14） 官方提供的 API 中也有将.bin 文件转为.hex 格式的示例，用户可以方便转换；

（15） 用户可以使用程序中输出的任何中间数据自行进行数据分析。

分析采集到的'Coins. csv'数据，画出两个通道（分别为板 0 的通道 0 和板 1 的通

道 1）时间差的分布图，并统计其平均值和均方根值，如下图所示。可以看到，由于同步信号延迟等原因，两个板的平均时间差较大，约为 29.5 ns，但是其时间差的晃动均方根值（/√2）约为 5.5 ps RMS，和单板测试性能接近。两个板子的延迟平均值可以通过 INTER_DELAY 寄存器进行补偿，参考 8.6.4 节。

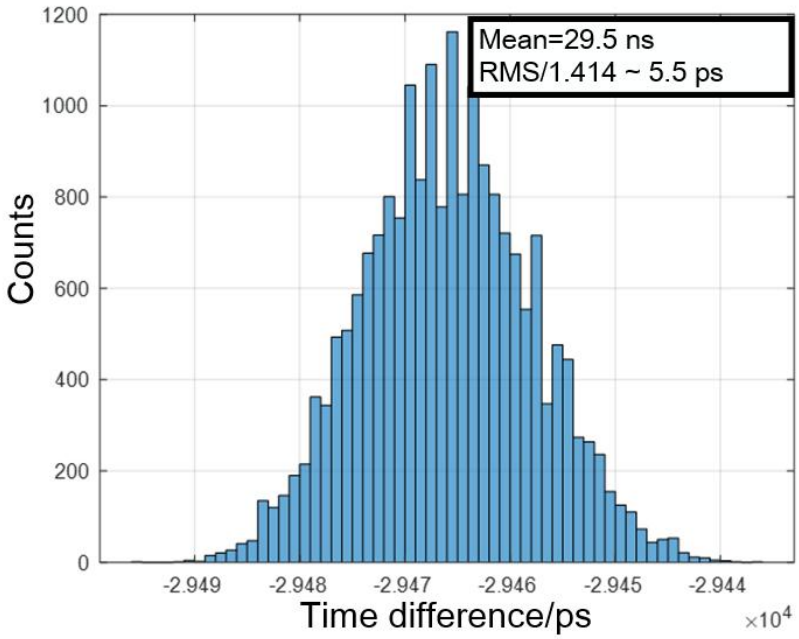

图 4 双板通道间的时间差分布直方图典型测试结果

我们在实验室将 4 台 Venus lite 设备进行了组网测试，实现 64 通道测试系统。Venus 软件支持对多达 256 个设备进行板号唯一性设置，可以搭建超过 4000 个测量通道。用户只需要按照相同的连接方式进行级联即可。Chronos 会积极配合有大量测量通道需求的用户，并提供全方位的技术支持和软件开发。需要特别注意的是，通过路由器组网测试会因为路由器数据带宽的限制导致单设备有效计数率的下降。Venus lite 组网测试还可以通过 USB 分路器、万兆网交换机等进行数据采集，其时间分辨率性能不会受到跨设备和数据接口的影响。

11.2.2 通过 USB 实现组网测试

通过 USB 接口进行多设备组网测量，基本的思路与 11.2.1 相同。使用 USB 还是网口组网，通过代码中的 USING_UDP_MODE 来选择，True 的话为以太网，False 为 USB。

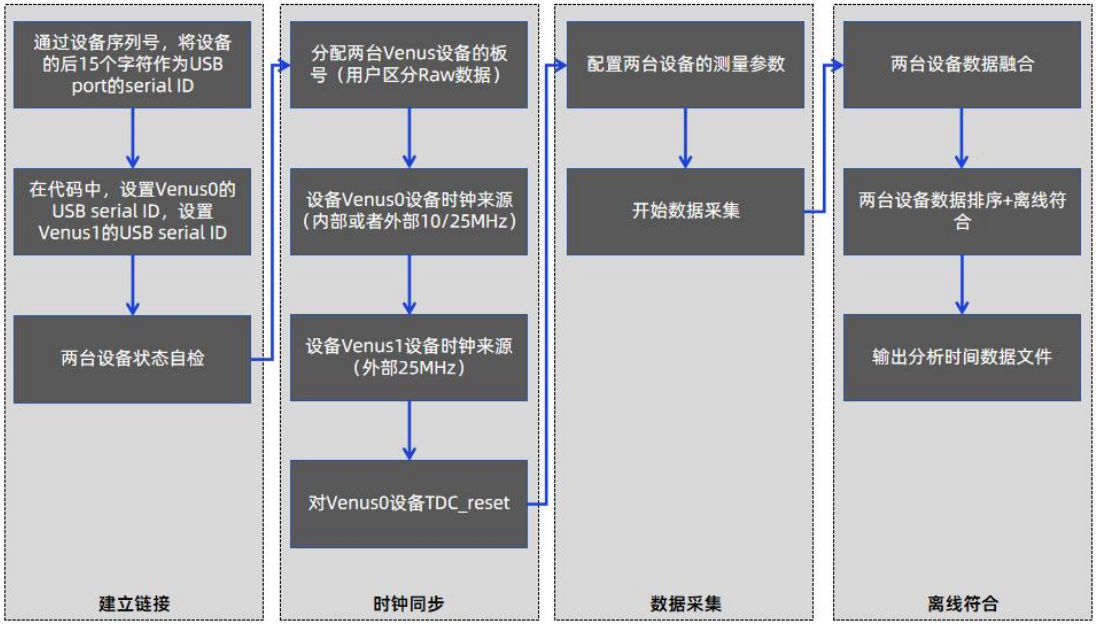

图 5 tdc_networking_example 脚本运行过程说明

注意，用户需要知道两个 USB 端口号与 Venus 设备的对应关系。请按照以下步骤设置：

（1）通过 GUI 或 API 读到两台 Venus 设备的序列号信息，假如“0x0132026090100005”和“0x0132026090100006”；

（2）设备的 USB 端口序列号为设备序列号的后 15 个字符，假如分别为“132026090100005”和“132026090100006”；

（3）对于第 0 台 Venus 设备 Venus0，假如其作为主设备，配置 MASTER_USB3_SN = "132026090100006";

（4）对于第 1 台 Venus 设备 Venus1，假如其作为从设备(其 TDC 时钟和同步信号来自 Venus0），配置 MASTER_USB3_SN = "132026090100005";

（5）正常情况下，两台设备即可建立数据连接和完成设备自检；

（6）其他操作与 11.2.1 中的（4）-（15）步骤相同。

USB 组网测试平台如下所示，测试电脑需要 2 个 USB3.0 端口。

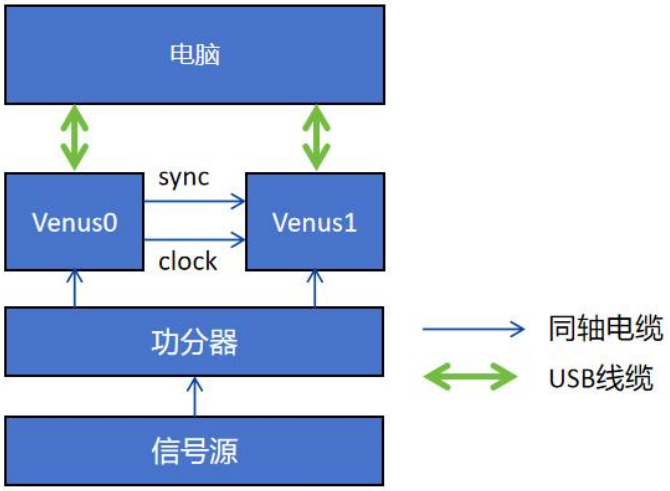

图 6 Venus 多设备组网测试示意图（USB）

11.3 并行数据获取方案

如果用户有硬件在线符合以及多板高带宽并行数据处理需求，时溯科技也会提供相应的软硬件技术方案支持服务。一种常见的多设备并行数据获取系统架构如下图所示。基于每台 Venus lite 设备拥有 QSFP 高速数据接口，每台 Venus lite 设备都可以通过最高 40 Gbps 的数据带宽与后端订制的符合板或交换板实现高速通信，然后将数据汇总后汇入到上位机电脑或用户指定的数据获取系统。具体需求需与时溯科技技术团队沟通。

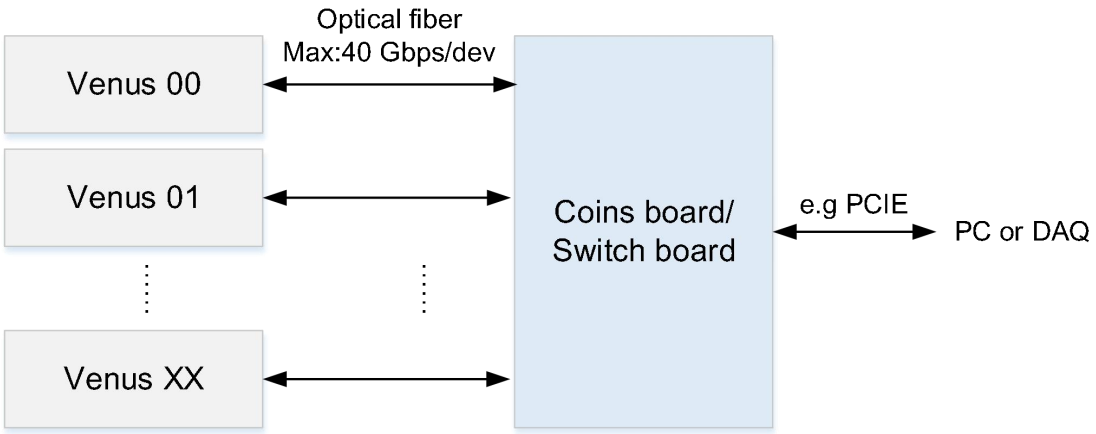

图 7 一种可能的并行数据获取系统架构

本文档历史记录

文档编号	修改时间	修改人	说明
TR-01-3-010-1	2026.9	Cong	V1.0
TR-01-3-020-1	2026.10	Cong	1. 增加了 USB 采集