

SeRuTek K732D

-- 基于 Kintex-7 325T 的 32 通道高速 TDC 演示方案

版本 1.0

2021 年 1 月 15 日

1 简介

SeRuTek K732D 是上海瑟如电子科技基于 KC705 开发板制作的一款 32 通道 TDC 演示方案。K732D 在单片 K7325T 上集成了 33 路时间戳单元、一个 Microblaze 微控制器、128KB Block SRAM、自校准模块、时间戳解析、时差计算模块以及用于测试的脉冲序列产生模块。K732D 使用 KC705 开发板 PL 侧的 200MHz 差分时钟作为系统的主时钟；利用 FMC LPC 扩展接口上的 IO 接口作为测量脉冲输入接口，或使用脉冲序列模块产生的测试脉冲作为输入。测量得到的时间戳或时差数据为标准的 AXI Stream 接口。在演示方案中，Microblaze 通过 AXI Stream FIFO 读取测量结果，再通过串口打印输出。客户可自行适配 UDP 或 PCIE 高速数据转发模块，实现测量数据的对外播发。K732D TDC 演示方案提供了开箱即用的 ToF 快速验证评估平台，只需少量的修改，就可应用于客户的定制环境，可极大地加快 ToF 系统设计，加速产品上市。K732D 的目标应用包括：多通道时间间隔计数、激光脉冲测距、质谱分析、医学图像、半导体自动化测试及精密时间同步等领域。

K732D 每个通道的时间戳精度典型值为 20ps, 时差测量精度典型值为 25ps, 每通道输入脉冲最小间隔 11ns, 相当于每个通道具有最大 90MSPS 的测量能力。SeRuTDC 能够提供几乎无限的测时量程, 默认配置下时间戳的表示范围约为 60 年, 如有需要还可进一步扩展。

K732D 提供标准的 AXI Stream 测量数据读取接口, 在演示方案中 Microblaze 通过 AXI Stream FIFO 读取测量数据, 再通过 UART 打印输出。用户可利用 FPGA 中的剩余资源, 实现 PL 端的数据处理或高速转发模块。瑟如电子可提供 UDP 的转发模块。

1.1 特点与优势

优势	特点
集成化的多通道测量	<ul style="list-style-type: none"> 在 7K325T 上集成了 33 路 TDC 测量单元, 其中一路可用作 start 信号测量, 其余 32 路可用作 stop 信号测量。
高精度高速率时间测量	<ul style="list-style-type: none"> 时间戳精度典型值: 20ps; 时差精度典型值 : 25ps; 同一通道最小脉冲间隔: 11ns (相当于 90MHz 的脉冲重复速率) 不同通道间没有最小脉冲间隔限制。
强大的持续测量能力	<ul style="list-style-type: none"> 默认配置下, 每一路 TDC 年的时间戳范围高达 58 年。

- 默认配置下，时间戳的持续读出速率高达 100Msa/s (每秒 1 亿条, 33 通道总合), 最高配置下可达 200Msa/s。
- 配备 PL 侧的钟差计算模块, 可在线实时计算 stop 脉冲与 start 脉冲之间的时间差。接口速度为 100MHz。

片上校准

- 当 TDC 使用环境温度发生大幅变化, 对延迟链的 BIN Size 进行校准有利于提高测量准确度。本演示方案利用片上集成的 Microblaze 处理单元利用码密度原理对 TDC 延迟链的 BIN Size 进行校准, 无需借助外部校准信号、外部计算单元。

基于 IP 的设计

便于用户增加自定义逻辑

- 本演示方案包括了 Microblaze 微控制软核、128KByte Block RAM, 33 通道 TDC、时间戳解析单元、时差计算单元。并预留了 X1Y3、X1Y4、X1Y5、X1Y6 四个 clock region, 用户可利用该区域实现用户逻辑, 如在 PL 侧实现高速的时差分析处理单元, 或实现基于 UDP 或 PCIE 的高速转发模块。
- 除了输出时差数据, 用户还可以选择输出时间戳数据, 以实现更多应用。

灵活配置，按需定制

- 可定制 TDC 通道数、时间戳量程、数据吐出速率、最小脉冲间隔等参数。

1.2 应用领域

车载多线激光雷达

激光测距

医学成像 (PET)

半导体自动化测试

单光子计数

质谱分析

高能物理

精密时间同步

1.3 时间戳格式

默认时间戳长度为 12 字节，最高位的一个字节为通道标识，用来表示产生该时间戳的通道编号。在 SeruTek K732D 中，通道编号范围是 1-33。在时差计算模块中，通道 1 为作为 start 信号，通道 2-33 作为 stop 信号。

时间戳的低 9 个字节用来表示时间戳的值，数据类型为无符号整型。最小位 LSB 对应的单位是皮秒 ps。

[95:88]	[87:72]	[71:0]
通道号	无定义	时间戳，无符号整型，LSB ps

1.4 时差数据格式

时差数据长度可配置为 32bit 或 64bit。其中 8bit 用来表示时差数据的通道号。时差计算模块默认通道 1 为 start 信号，并计算通道 2-32 相对于通道 1 的时间差。如果通道号为 2，那表示该时差是通道 2 的时间戳-通道 1 时间戳得到的。

当时差数据长度为 32bit 时，剩余的 24 bit 数据用来表示实际的时间差，数据格式为有符号的整型，单位是 ps。能够表示的时间差范围约为 8.38 微秒，用真空中的光速换算得到对应的测距范围大约为 2500 米。

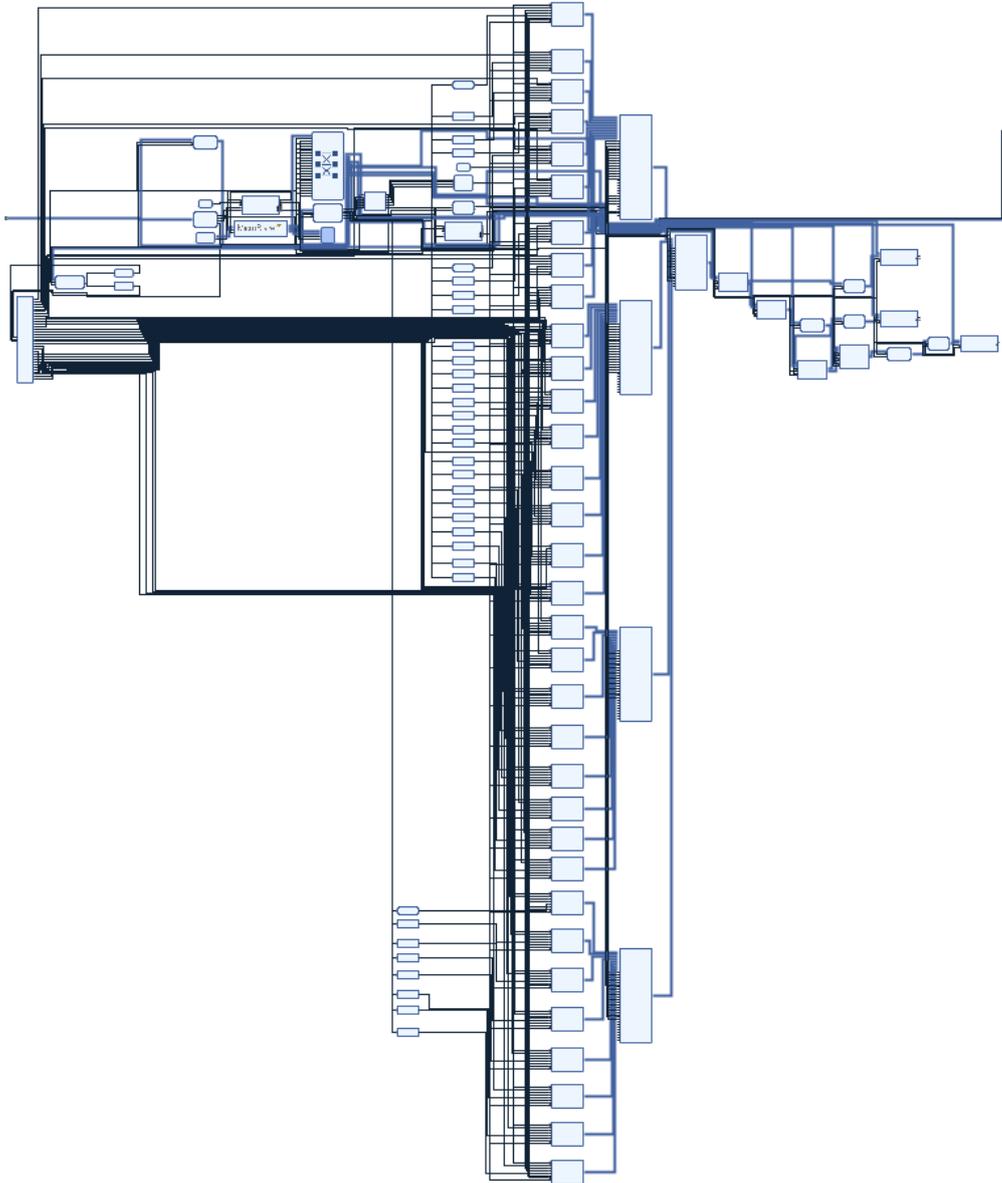
[31:24]	[23:0]
通道号	时间差，有符号整型，LSB ps

当时差数据长度为 64bit 时，剩余的 56bit 数据用来表示实际的时间差，数据格式为有符号的整型，单位是 ps。能够表示的时间差范围约为 36000 秒，用真空中的光速换算得到对应的测距范围大约为 10 亿公里。

[63:56]	[55:0]
通道号	时间差，有符号整型，LSB ps

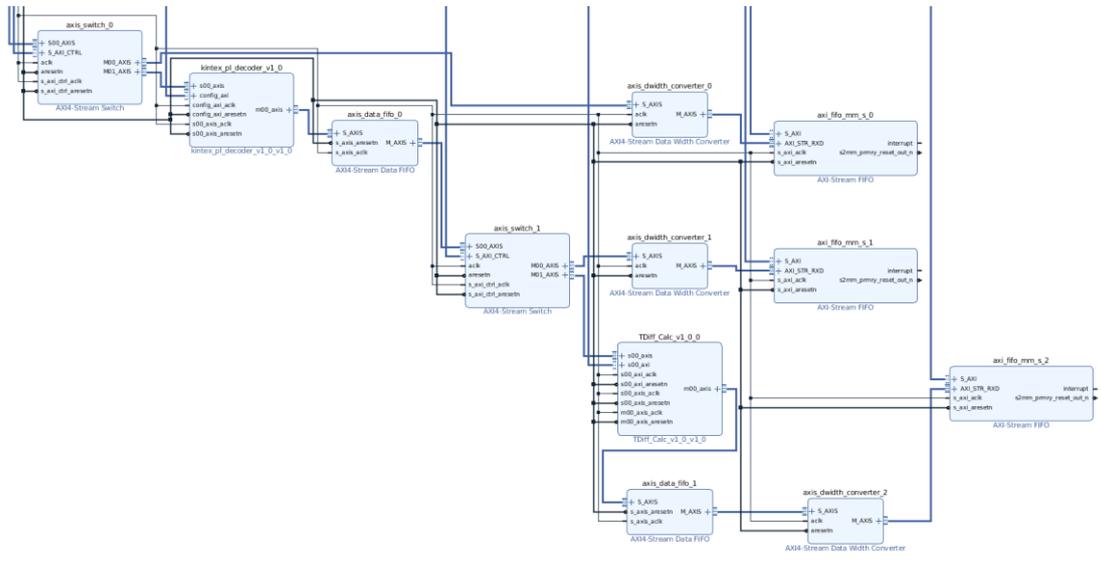
2 演示方案设计简介

2.1 K732D 演示方案整体 BD 设计：



注：客户得到的示例程序于上图有所不同，33 通道 TDC、时间戳解析、时差计算模块会被封装为一个 IP。

2.2 测量数据接口设计



在演示方案中例化了 3 个 AXI Stream FIFO，Microblaze 从这三个 FIFO 中分别读取原始数据、解析后的时间戳以及时差数据。同时例化了 2 个 AXI Stream Switch，用来控制数据的流向。

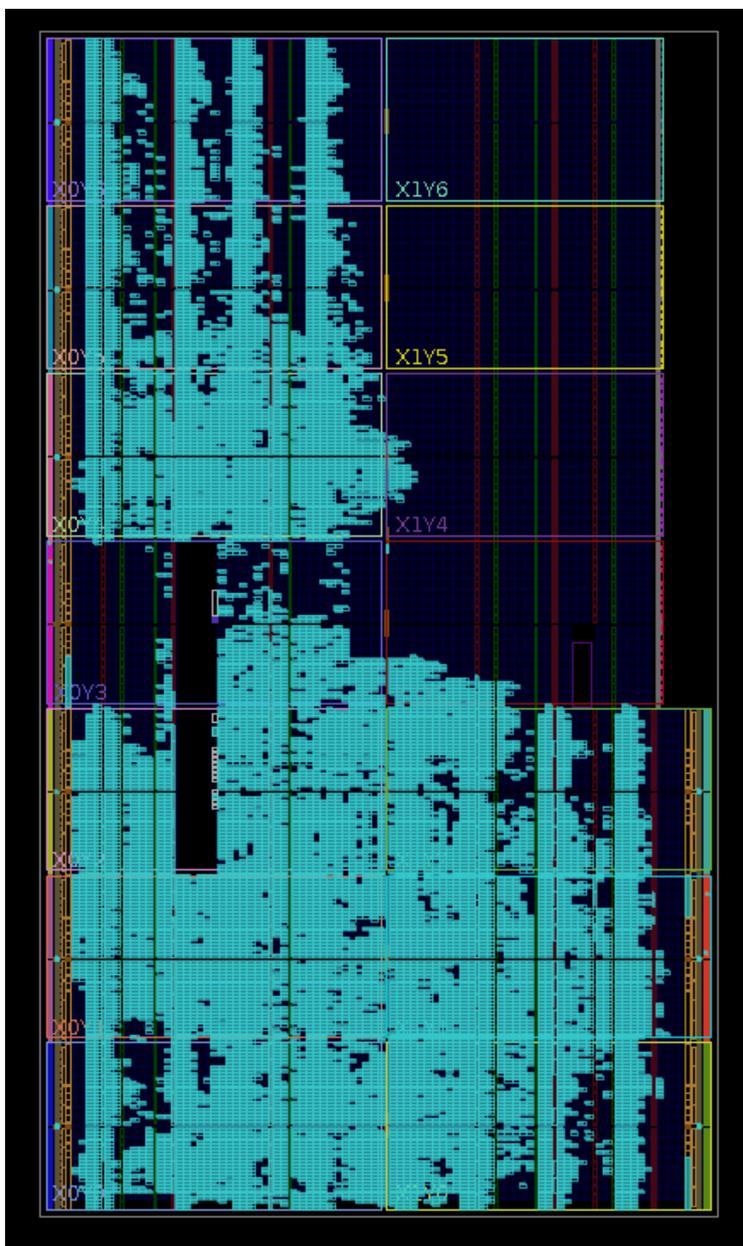
当进行片上自动准时，配置 switch0 从 M0 输出，Mb 读取原始数据，并计算 bin size。

当工作在时间戳模式下，switch0 从 M1 输出，switch1 从 M0 输出。Mb 可以读取到经过解析后的时间戳。当用户需要在 PL 侧直接获取时间戳时，可以在 switch0 增加一个输出端口。

当工作在时差输出模式下，switch0 从 M1 输出，switch1 也从 M1 输出，Mb 读取到的是 2-33 通道相对于通道 1 的时间差。如果需要在 PL 侧直接获取时间差数据，可在 switch1 增加一个输出端口。

3 K732D 资源占用

3.1 器件视图



如上图所示，演示方案中还剩下约 4 个完整的 clock region。客户可以利用这些资源实现数据处理模块以及 UDP 或 PCIE 的高速转发模块。如果采用更大的器件，甚至可以在剩余的资源中实现 DPU，在片上对点云数据直接进行物体识

别。

3.2 资源利用报告

Name	Slice LUTs (203800)	Slice Registers (407600)	F7 Muxes (101900)	F8 Muxes (50950)	Slice (50950)	LUT as Logic (203800)	LUT as Memory (64000)	Block RAM Tile (445)	Bonded IOB (500)	IBUFDS (480)	BUFGCTRL (32)	MMCME2_ADV (10)	PLLE2_ADV (10)
design_1_wrapper	39665	74735	900	158	22515	35586	4079	159	5	1	12	2	1
design_1_j (design_1)	39665	74735	900	158	22515	35586	4079	159	0	1	12	2	1