

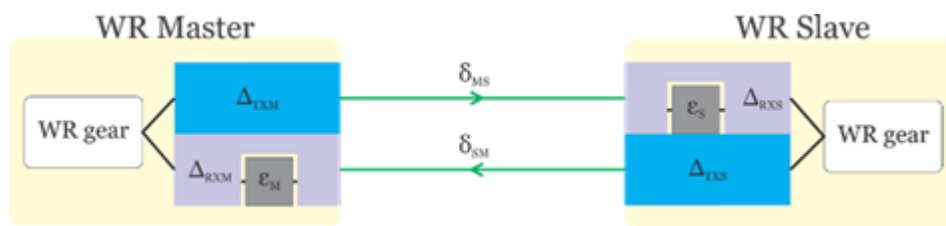
WR 设备延迟标定与设置

Revision 20220825

1. 简介

WR 网络是一种高精度的时钟同步网络，能够实现亚纳秒的时钟同步精度。构建 WR 网络的设备主要有 WR 交换机和 WR 节点。WR 交换机有多个端口，可以配置为 master 端用于接收上级交换机的时钟信号，也可以配置为 slave 端向下级设备（交换机或节点）传递时钟信号（通常 1 号端口配置为 slave，其他端口配置为 master）。WR 节点通常作为 slave 端接收时钟信号，在点对点的应用中也可以作为 master。在实际使用前，用户需要对 WR 网络中的一系列参数进行标定，才能够实现高精度的时钟同步功能。

WR 链路模型中需要标定的参数包括：作为 master 设备的发送固定延时 Δ_{txm} 、接收固定延时 Δ_{rxm} ，作为 Slave 设备的发送固定延时 Δ_{txs} 、接收固定延时 Δ_{rxs} ，master 与 slave 连接的光纤链路的不对称性系数 α 。延迟参数模型如下图所指示。其中 ϵ_M 和 ϵ_S 为 bit slide，可以通过 WR 软件读出，实际使用过程中会被自动补偿，不需要额外标定。



本标定方法使用的是相对标定的方式。当 WR 网络中设备数目较多时，在构建 WR 网络之前，需要准备一对 Golden Calibrator，一个作为 master 一个作为 slave，将其正确标定之后不再改动。使用这对 Golden Calibrator 对所构建的 WR 网络中的 WR 节点或者 WR 交换机的各个端口进行标定（Golden Calibrator master 标定 slave 端，Golden Calibrator slave 标定 master 端）。

设备的发送(接收)固定延时包括设备本身的信号传输延迟和光模块信号转化传输延迟，相对标

定不关注其绝对数值，目前本方案将这两个延迟合并在一起考虑。因此当标定完成后，若是更换光模块则该延迟可能会发生变化，需要重新标定。

光纤链路不对称性系数 α 与所使用的光纤、WR 设备使用的光模块的收发波长等有关，一般情况下设备的发送（接收）固定延时在出厂时标定一次即可，而光纤链路不对称性系数 α 在精度要求不高、光纤链路较短时也可使用默认参数。

不论是 WR 交换机还是 WR 节点，标定参数都是基于所使用的光模块，如果光模块的型号不能识别，将使用默认参数。

(该文档目前仅适用于 WR Switch V5.0.1 及以前版本的固件，WR Node V4.2 及以前版本的固件。未来 WR Switch 和 WR Node 的标定参数名称可能会更改。)

Ref: <https://ohwr.org/project/white-rabbit/wikis/Documents/White-Rabbit-calibration-procedure>

2. 设置参数

本章介绍如何配置 WR 节点和 WR 交换机的固定延迟参数和光纤的不对称系数。

2.1 节点参数配置

WR 节点的标定参数存储在 flash 芯片中。使用 USB 线与 WR 节点连接，并且使用串口调试工具（putty 或者串口调试助手等工具）登陆 WR 节点（115200 8N1）之后，可以通过下列指令进行读取、修改。

- 读取存储的标定参数

```
sfp show
```

该指令会显示目前数据库中已经存储的 SFP 数据，从左到右依次是 SFP 的 PN 值，发送固定延迟和接受固定延迟以及光纤的不对称系数。

- 写入新的标定参数

```
sfp add SFP_ID dTx dRx alpha
```

SFP_ID 为 SFP 的 PN 值。

dTx 为发送固定延时

dRx 为接收固定延时

alpha 为当前光纤链路不对称性系数

若 sfp show 中已存在相同 ID 的 SFP 模块，上述指令将覆盖该型号 SFP 的标定参数

- 删除存储的标定参数

```
sfp erase
```

该指令删除所有存储的标定参数，如果需要对单条数据进行修改，可以使用 sfp add 命令进行覆盖修改。

- 匹配 SFP 参数

```
sfp match
```

该指令将当前 SFP 模块与数据库中存储的 SFP 参数相匹配。若是匹配成功则载入该参数，该参数在下次链路重启（拔插光纤或断电重启）后会被使用。若匹配失败，则会显示错误信息。

通过该命令也可以用于读取目前设备上插入的 SFP 的 PN 值。

需要注意，当重新配置完 WR 节点的参数之后，需要拔插光纤或者对重新上电，配置参数才能生效。

2.2 交换机参数配置

WR 交换机的标定参数存储在 ARM 运行的 Linux 操作系统的配置文件中，其文件路径为

```
/wr/etc/dot-config
```

可以通过串口登录和 ssh 登录来修改该配置文件。

WR 交换机的串口登录与 WR 节点登录方式类似，使用 USB 转 mini USB 线连接电脑与交换机前面板的 MNG 端口，通过串口调试工具（putty 或者串口调试助手等工具）登陆交换机（115200 8N1），通过命令行的方式对文件进行访问和修改。

通过 ssh 登陆需要先获知交换机的 IP 地址，通常设备铭牌上会标识出该信息，也可以通过串口配置一个临时的 IP（重启后失效）。网络配置的端口为前面板左侧的电口和光口。交换机运行 linux 操作系统，该操作需要用户熟悉 linux 下基本操作指令。默认修改文件的编辑工具为 vi，其基本操作请参考该链接：

<https://www.cnblogs.com/chenlogin/p/6245958.html>

在 WR 交换机的 dot-config 文件中，相关配置参数如下：

```

# Port Timing Configuration
#
CONFIG_PORT01_PARAMS="name=wri1,proto=raw,tx=286283,rx=249452,role=slave,fiber=0"
CONFIG_PORT02_PARAMS="name=wri2,proto=raw,tx=286371,rx=249639,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT03_PARAMS="name=wri3,proto=raw,tx=286311,rx=249641,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT04_PARAMS="name=wri4,proto=raw,tx=286281,rx=249349,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT05_PARAMS="name=wri5,proto=raw,tx=286219,rx=250345,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT06_PARAMS="name=wri6,proto=raw,tx=286271,rx=250339,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT07_PARAMS="name=wri7,proto=raw,tx=286283,rx=250421,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT08_PARAMS="name=wri8,proto=raw,tx=286193,rx=250371,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT09_PARAMS="name=wri9,proto=raw,tx=286268,rx=250460,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT10_PARAMS="name=wri10,proto=raw,tx=286212,rx=250274,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT11_PARAMS="name=wri11,proto=raw,tx=286388,rx=250602,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT12_PARAMS="name=wri12,proto=raw,tx=286375,rx=250589,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT13_PARAMS="name=wri13,proto=raw,tx=286375,rx=250459,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT14_PARAMS="name=wri14,proto=raw,tx=286341,rx=250541,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT15_PARAMS="name=wri15,proto=raw,tx=286444,rx=250830,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT16_PARAMS="name=wri16,proto=raw,tx=286441,rx=250759,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT17_PARAMS="name=wri17,proto=raw,tx=286415,rx=250813,role=master,fiber=0"
CONFIG_PORT18_PARAMS="name=wri18,proto=raw,tx=286588,rx=250776,role=master,fiber=0"
#
# SFP and Media Timing Configuration
#
CONFIG_SFP00_PARAMS="vn=Axcen Photonics,pn=AXGE-1254-0531,tx=0,rx=0,wl_txrx=1310+1490"
CONFIG_SFP01_PARAMS="vn=Axcen Photonics,pn=AXGE-3454-0531,tx=0,rx=0,wl_txrx=1490+1310"
CONFIG_SFP02_PARAMS="vn=APAC Opto,pn=LS38-C3S-TC-N-B9,tx=761,rx=557,wl_txrx=1310+1490"
CONFIG_SFP03_PARAMS="vn=APAC Opto,pn=LS48-C3S-TC-N-B4,tx=-29,rx=507,wl_txrx=1490+1310"
CONFIG_SFP04_PARAMS="vn=ZyXEL,pn=SFP-BX1490-10-D,tx=0,rx=0,wl_txrx=1490+1310"
CONFIG_SFP05_PARAMS="vn=ZyXEL,pn=SFP-BX1310-10-D,tx=0,rx=0,wl_txrx=1310+1490"
CONFIG_SFP06_PARAMS="vn=FS,pn=GE-LC-1310,tx=0,rx=0,wl_txrx=1310+1490"
CONFIG_SFP07_PARAMS="vn=FS,pn=GE-LC-1490,tx=0,rx=0,wl_txrx=1490+1310"
CONFIG_SFP08_PARAMS="vn=FiberStore,pn=GE-LC-1310,tx=0,rx=0,wl_txrx=1310+1490"
CONFIG_SFP09_PARAMS="vn=FiberStore,pn=GE-LC-1490,tx=0,rx=0,wl_txrx=1490+1310"
CONFIG_FIBER00_PARAMS="alpha_1310_1490=2.6787e-04"
CONFIG_FIBER01_PARAMS="alpha_1310_1490=2.6787e-04"
CONFIG_FIBER02_PARAMS="alpha_1310_1490=2.6787e-04"
CONFIG_FIBER03_PARAMS="alpha_1310_1490=2.6787e-04"
# CONFIG_TIME_GM is not set
# CONFIG_TIME_FM is not set
CONFIG_TIME_BC=y
CONFIG_PTP_PORT_PARAMS=y
# CONFIG_PTP_CUSTOM is not set
# CONFIG_PTP_REMOTE_CONF is not set

```

18个端口的
默认固定延时参数

SFP的型号、收发波长、以及相对于固定延时参数的修正

α 的值对应alpha_txWavelength_rxWavelength
Fiber00、01、02、03表示不同款光纤，与CONFIG_PORT_PARAMS中的fiber参数匹配。

其中需要对 CONFIG_PORTxx_PARAMS、CONFIG_SFPyy_PARAMS、CONFIG_FIBERzz_PARAMS 三行中的参数进行配置(xx,yy,zz 对应不同编号)。

➤ CONFIG_PORTxx_PARAMS 行需关注 tx、rx 和 fiber 三个参数：

tx、rx 分别对应第 xx 个端口的发送延迟、接收延迟。fiber 为所使用的的光纤种类编号，其对应参数在 CONFIG_FIBERzz_PARAMS 配置行中给出。

➤ CONFIG_SFPyy_PARAMS 需要关注 vn、pn、tx、rx、wl_txrx 五个参数。

交换机启动后读取 SFP 模块实际存储的 vn 和 pn 值，与本文件信息进行对比；匹配错误则使用默认参数。vn 和 pn 值可以在 SFP 插入交换机 xx 号端口之后使用如下命令读出

```
wrs_sfp_dump -L xx
```

tx、rx 为相对于固定延迟的参数修正，用于补偿不同类 SFP 模块之间的发送延迟和接收延迟的差异。wl_txrx 则为 SFP 的发送和接收波长，txwavelength 和 rxwavelength 中间用 '+' 间隔，用于与 CONFIG_FIBERzz_PARAMS 中的 alpha 匹配。序号 yy 为不同

SFP 的编号，与端口编号 xx 无关。

➤ CONFIG_FIBERzz_PARAMS 记录光纤的不对称系数

每一种光纤对应一个编号 zz，在 CONFIG_PORTxx_PARAMS 中根据实际连接的光纤类型来设定对应的光纤编号。由于同种光纤在不同 WDM 波长下不对称系数不一致，因此每个 CONFIG_FIBERzz_PARAMS 可在一行配置多个不对称系数，用不同的 alpha_txwavelength_rxwavelength 区分。需要与 CONFIG_SFPyy_PARAMS 的 wl_txrx 匹配。

文件修改并保存后，需要重启交换机，才能够启用新的配置。

3. 参数标定

3.1 光纤不对称性系数 α 的标定方法

本章节介绍两种光纤条件下的标定方法,分别是成盘光纤下的标定和光纤已经部署条件下的标定。使用成盘光纤意味着各 WR 设备可以在物理上靠近,可以使用 TIC 设备(示波器等)测量 WR 设备之间的 PPS 偏差。已经部署的光纤两端距离较远,无法使用其他设备测量 WR 设备之间的 PPS 偏差。

● 成盘光纤的标定方法

本方法是 WR 官方指南中推荐的方法。标定之前需要准备两个 WR 设备,两段不同长度的光纤和一个光纤连接器,短光纤长度推荐 3 米以内,长光纤为待标定的光纤类型,长度需要在公里量级。

标定步骤如下:

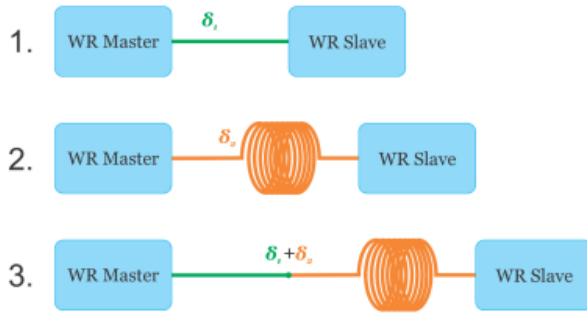
(1) 系统初始化

根据第二章介绍的方法,将 WR 设备的发送延迟、接收延迟和不对称系数全部设置为 0。

重启 WR 设备使其生效。

(2) 测量参考光纤延迟

如图所示,分别利用短光纤 (δ_1)、长光纤 (δ_2)、长短光纤拼接 ($\delta_1 + \delta_2$) 这三种方式连接 A、B 两个 WR 设备。



通过串口或 ssh 登录 WR 的 slave 设备，WR 交换机使用 wr_mon 命令查看相关信息，输出如下图所示：

```

WR Switch Sync Monitor v5.0.1-7-g7f66734 [q = quit]
WR time (TAI): 1970-01-02 07:42:42
Switch time (UTC): 1970-01-02 07:42:06
Leap seconds: 35
----- HAL ----- PPSI -----
Port | Link | WRconf | Freq | Inst | MAC of peer port | PTP state | Pro | VLANs
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
wri1 | up   | Slave  | Lock | 0    | 22:33:09:55:28:47 | slave     | R-W |
wri2 | down | Master |      | 1    |                   |           | R-W |
wri3 | down | Master |      | 2    |                   |           | R-W |
wri4 | down | Master |      | 3    |                   |           | R-W |
wri5 | down | Master |      | 4    |                   |           | R-W |
wri6 | down | Master |      | 5    |                   |           | R-W |
wri7 | down | Master |      | 6    |                   |           | R-W |
wri8 | down | Master |      | 7    |                   |           | R-W |
wri9 | down | Master |      | 8    |                   |           | R-W |
wri10 | down | Master |      | 9    |                   |           | R-W |
wri11 | down | Master |      | 10   |                   |           | R-W |
wri12 | down | Master |      | 11   |                   |           | R-W |
wri13 | down | Master |      | 12   |                   |           | R-W |
wri14 | down | Master |      | 13   |                   |           | R-W |
wri15 | down | Master |      | 14   |                   |           | R-W |
wri16 | down | Master |      | 15   |                   |           | R-W |
wri17 | down | Master |      | 16   |                   |           | R-W |
wri18 | down | Master |      | 17   |                   |           | R-W |
Pro - Protocol mapping: V-Ethernet over VLAN; U-UDP, X-Ethernet
----- Synchronization status -----
Servo state: wri1: TRACK_PHASE 错误
----- Timing parameters -----
Round-trip time (mu): 790.509 nsec mu
Estimated link length: 33.21 meters
Master-slave delay: 413.679 nsec
Total link asymmetry: -36.849 nsec, alpha: 0
Clock offset: 0.002 nsec
Phase setpoint: 5.678 nsec
Skew: -0.002 nsec dTx(M) dRx(M)
Servo update counter: 27 times
Master PHY delays: TX: 0.000 nsec, RX: 6.400 nsec
Slave PHY delays: TX: 206.203 nsec, RX: 249.452 nsec dTx(S) dRx(S)
----- Temperatures -----
FPGA: 24.56 PLL: 24.50 PSL: 23.94 PSR: 25.63

```

WR 节点使用 gui 命令，输出与 WR 交换机输出类似，如下图所示：

```

WR PTP Core Sync Monitor wrpc-v4.2-43-g1fc9fea
Esc = exit

TAI Time:                Fri, Jan 2, 1970, 07:40:46

Link status:
wru1: Link up (RX: 144, TX: 97) IPv4: BOOTP running
Mode: WR Slave Locked Calibrated

PTP status: slave

Synchronization status:
Servo state:            TRACK_PHASE
Phase tracking:         ON
Aux clock 0 status:    enabled

Timing parameters:
Round-trip time (mu):   801365 ps
Master-slave delay:    373529 ps
Master PHY delays:     TX: 206201 ps, RX: 263749 ps
Slave PHY delays:     TX: 0 ps, RX: 3200 ps
Total link asymmetry:  54307 ps
Cable rtt delay:      328215 ps
Clock offset:          3 ps
Phase setpoint:       4027 ps
Skew:                  2 ps
Update counter:       24
wrc# █

```

记录下往返时间延迟 Round-trip time(mu)、 Master PHY delay TX(dTXm)、 Master PHY delay RX(dRXm)、 Slave PHY delay TX(dTXs)、 Slave PHY delay RX(dRXs)。

短光纤连接时，计算数据往返的固定总延迟 DelayMM1'有：

$$\text{DelayMM1}' = \mu - dTXm - dRXm - dTXs - dRXs$$

长光纤连接时，计算数据往返的固定总延迟 DelayMM2'有：

$$\text{DelayMM2}' = \mu - dTXm - dRXm - dTXs - dRXs$$

长短两根光纤连接时，计算数据往返的固定总延迟 DelayMM3'有：

$$\text{DelayMM3}' = \mu - dTXm - dRXm - dTXs - dRXs$$

由于我们经过初始化，上面三次测试中， dTXs 和 dTXm 数值应该为 0。则两根光纤的传输延迟为：

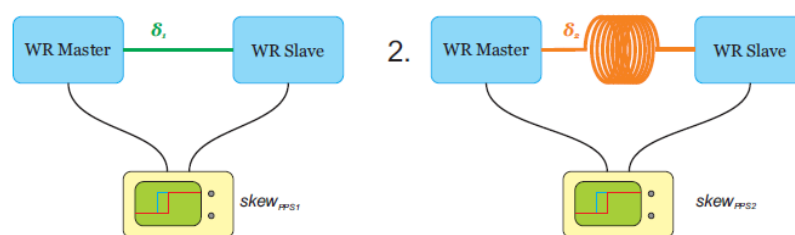
$$\text{短光纤: } \delta_1 = \text{DelayMM3}' - \text{DelayMM2}'$$

$$\text{长光纤: } \delta_2 = \text{DelayMM3}' - \text{DelayMM1}'$$

(3) 测量设备同步偏差

分别使用短光纤和长光纤连接两台 WR 设备，使用示波器等 TIC 设备测量两台 WR 设备的 PPS 输出信号的偏差。此处记 slave 的 PPS 信号在前（示波器屏幕靠左侧）为负。分

别记为 skewpps1 和 skewpps2。



(4) 计算光纤波长不对称系数

根据 skewpps1、skewpps2 和 δ_2 可得到待测光纤的不对称系数。

$$\alpha = 2 \times (\text{skewpps2} - \text{skewpps1}) / [\delta_2 / 2 - (\text{skewpps2} - \text{skewpps1})]$$

(5) 写入波长不对称系数

将 α 值重新写入 WR 交换机数据库中。

对于 WR 节点，则需要进行如下转化，得到的结果写入 WR 节点 SFP 配置参数中。

$$\alpha_{\text{Node}} = 2^{40} \times [(\alpha + 1) / (\alpha + 2) - 0.5]$$

● 成盘光纤的简化标定方法

如果设备的固定延迟参数已经被正确标定，可以采用本近似简化的标定方法。

步骤如下：

(1) 系统初始化

完成 WR 设备的发送延迟、接收延迟的标定，将当前的不对称系数设置为 0。重启 WR 设备使其生效。

(2) 测量设备同步偏差

使用示波器等 TIC 设备测量两台 WR 设备的 PPS 输出信号的偏差。此处记 slave 的 PPS 信号在前（示波器屏幕靠左侧）为负，记为 skewpps。

(3) 测量数据往返固定总延迟

在 Slave 设备中读取往返时间延迟 Round-trip time(μ)、Master PHY delay

TX(dTXm)、Master PHY delay RX(dRXm)、Slave PHY delay TX(dTXs)、Slave PHY delay RX(dRXs), 计算 delayMM', 计算过程与前文一致:

$$\text{delayMM}' = \mu - d\text{TXm} - d\text{RXm} - d\text{TXs} - d\text{RXs}$$

(4) 计算光纤波长不对称系数

$$\alpha = \text{PPS_skew} \times 4 / \text{delayMM}$$

(5) 写入波长不对称系数

将 α 值重新写入 WR 交换机数据库中。

对于 WR 节点, 则需要进行如下转化, 得到的结果写入 WR 节点 SFP 配置参数中。

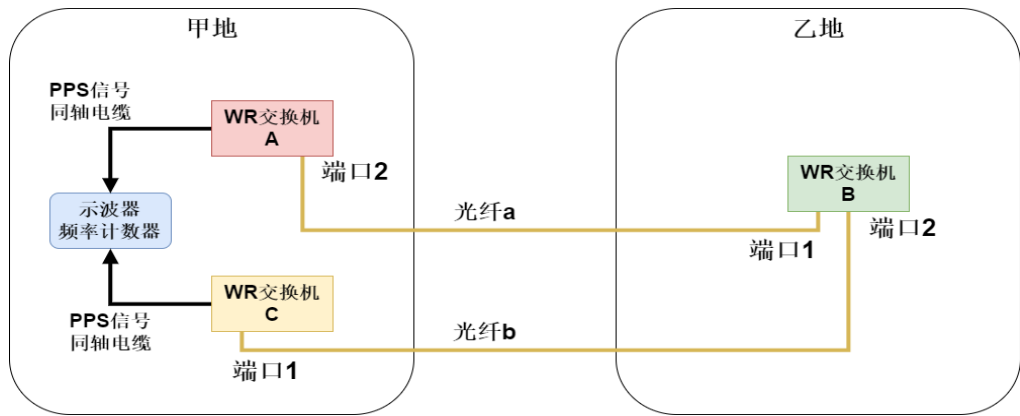
$$\alpha_{\text{Node}} = 2^{40} \times [(\alpha + 1) / (\alpha + 2) - 0.5]$$

● 已部署光纤的标定方法

已部署光纤意味着各 WR 设备在物理上距离较远, 不便于使用设备直接测量其 PPS 偏差。标定已部署光纤需要两根光纤, 且需假定这两根光纤的光纤不对称性系数近似相等。为了确保这一点, 需要挑选两对收发波长近似相等的光模块。

标定使用 3 台 WR 交换机, 这三台交换机固定延迟默认已经被正确标定, 且不对称系数都设置为 0, 分依次编号为 A、B、C; 使用 2 条长光纤, 分别标号为 a、b。其中编号为 A、C 的两台在甲地, 编号为 B 的在乙地。编号为 A 的 WR 交换机作为第一级设备, 其 2 号端口通过长光纤 a 与编号为 B 的 WR 交换机的 1 号端口相连; 编号为 B 的 WR 交换机作为第二级设备, 其 2 号端口通过长光纤 b 与编号为 C 的 WR 交换机的 1 号端口相连;

连接关系如下所示



标定步骤如下：

(1) 测量设备同步偏差

使用示波器或者频率计数器测量编号为 A、C 的 WR 交换机之间的 PPS 偏差。

(2) 计算光纤波长不对称系数

假定这两根光纤的光纤不对称性系数 α 近似相等，分别通过编号为 B、C 的 WR 交换机得到光纤 a、b 的往返总延时 delayMM_a 和 delayMM_b ，其计算方式与成盘光纤标定方法中的计算类似。最后根据下式计算得到 α 。

$$\text{PPS_skew}(A \rightarrow C) = \alpha \times (\text{delayMM}_a + \text{delayMM}_b) / 4$$

(3) 写入波长不对称系数

将 α 分别写入到编号为 A、B、C 的 WR 交换机中，重启各设备，重新测量 A、C 之间的 PPS 偏差，看是否已经得到修正。

3.2 WR 设备固定延时标定

本手册介绍的固定延迟标定方法为相对标定。在一套 WR 系统中，为了进一步提高同步精度，需要对该系统中所有端口的延迟参数进行标定，以确保全局时钟的同步精度。在特定的 WR 设备标定之前，需要先准备出一对 WR 主从设备作为基准**标定器**，再用这套**标定器**对其他的 WR 设备进行标定，以此实现一系列设备之间的相对标定。

由于延迟参数与 SFP 有关，且同型号的 SFP 之间可能存在器件差异，因此建议标定完成后不

再更换 SFP，若由于 SFP 故障需要更换，请重新标定。

标定过程中需要使用到一长一短两根光纤，即前述成盘光纤标定方法中步骤（2）所使用的长短光纤。

● 标定器预标定

基准标定器参数标定过程需要准备两个 WR 节点作为基准标定器，以 WR-CUTE 单端口为例子。记两块板子分别为 A、B。标定的过程如下：

(1) 设备初始化

通过下列指令将 A 节点设置为 Master 模式。

```
mode master
```

将 B 节点设置为 Slave 模式

```
mode slave
```

同时在 A、B 节点上使用如下指令，将 SFP (dTx、dRx) 延迟参数设置为 0。

```
sfp erase
```

```
sfp add SFP_ID 0 0 alpha
```

```
sfp match
```

(2) 测量参考光纤的延迟

根据成盘光纤的标定方法中的步骤（2），测量出长短光纤的信号传输延迟 δ_1 和 δ_2 ，同时记录 delayMM1' 的数值。若是已经执行过之前步骤的可以直接使用。

(3) 设置 dTX、dRX 初始值

dTX 和 dRX 的初始值设置为：

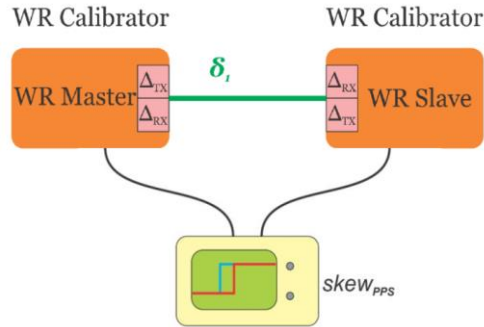
$$dTX_m = dRX_m = dTX_s = dRX_s = (\text{DelayMM1}' - \delta_1) / 4$$

将 A、B 设备的延迟参数都配置为该组数值，不对称系数设置为 3.1 中测量的结果，重

启设备。

(4) 修正延迟参数

将设置好初始值的 A、B 两个节点使用短光纤连接，等待链路建立同步。使用示波器测量 A、B 节点输出 PPS 的延迟差 skewpps1（记 slave 端节点时钟信号在前为正）。



为了消除 TIC 设备不同通道及其测量线缆延迟不一致引入的额外误差，可以交换 WR 设备和测试设备之间的连接线缆，此时 master 信号在前为正，再次测量后得到 skewpps2，则实际的偏差为

$$skewpps = (skewpps1 - skewpps2) / 2$$

根据下式对从节点的延迟参数进行修正：

$$dTXs = dTXs - skewpps$$

$$dRXs = dRXs + skewpps$$

(5) 更新参数

将修正后的参数配置到 B 节点，重启设备。

至此，两个标定器预标定完成，此时若再次对 A、B 节点进行 PPS 延迟测量，其偏差应该接近于 0（几十皮秒范围内）。对于其他 WR 设备，可使用 A 设备对其 Slave 端口进行标定，使用 B 设备对其 Master 端口进行标定。

● Slave 端口参数标定

使用预标定好的标定器 A 对 WR 设备的 slave 端口进行标定，步骤如下：

(1) 初始化

将待标定 Slave 节点的 dTX、dRX 设置为 0，不对称系数设置为 3.1 中得到的数值。

(2) 预置固定延迟参数

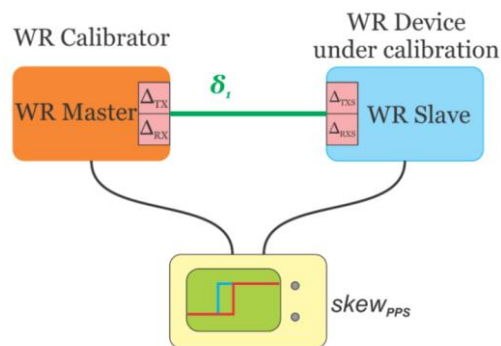
利用短光纤连接待标定设备和标定器，等待它们建立同步。通过串口访问待标定 slave 设备，通过相关命令（交换机 wr_mon，节点 gui）查看同步情况，记录下往返时间延迟 Round-trip time(μ)、Master PHY delay TX(dTX_m)、Master PHY delay RX(dRX_m)、Slave PHY delay TX(dTX_s)、Slave PHY delay RX(dRX_s)。根据下式计算待标定节点 slave 设备的延迟参数：

$$dTX_s = dRX_s = (\mu - dTX_m - dRX_m - dTX_s - dRX_s - \delta_1)/2$$

将该数据写入待标定 slave 节点，重启设备。该参数是一个预设值，需要进一步修正。

(3) 修正固定延迟参数

待设备重启并建立同步连接之后，利用示波器测量标定器和代标定节点之间 PPS 信号偏差 skewpps1（记 lsave 设备时钟信号在前为正），



与前文类似，交换 TIC 设备的 PPS 信号输入，测量 skewpps2。

根据下方公式对待标定节点的延迟参数进行修正。

$$skewpps = (skewpps1 - skewpps2)/2$$

$$dTX_s = dTX_s - skewpps$$

$$dRX_s = dRX_s + skewpps$$

对参数进行配置，重启设备。

● Master 端口参数标定

使用预标定好的标定器 B 对 WR 设备的 master 端口进行标定，步骤如下：

(1) 初始化

将其 dTX、dRX 设置为 0，不对称系数设置为 3.1 中得到的数值。

(2) 预置固定延迟参数

利用短光纤连接待标定设备和标定器，等待它们建立同步。通过串口访问标定器 B，通过 gui 命令查看同步情况，记录下记录下往返时间延迟 Round-trip time(μ)、Master PHY delay TX(dTXm)、Master PHY delay RX(dRXm)、Slave PHY delay TX(dTXs)、Slave PHY delay RX(dRXs)。根据下式计算待标定节点 Slave 端口的延迟参数：

$$dTXm = dRXm = (\mu - dTXm - dRXm - dTXs - dRXs - \delta 1)/2$$

将该数据写入待标定 master 节点，重启设备。该参数是预设值，需要进一步修正。

(3) 修正固定延迟参数

待设备重启并建立同步连接之后，利用示波器测量标定器和代标定节点之间 PPS 信号偏差 skewpps1（记 slave 端节点时钟信号在前为正）；交换 TIC 设备的 PPS 信号输入，测量 skewpps2。

根据下方公式对待标定节点的延迟参数进行修正。

$$\text{skewpps} = (\text{skewpps1} - \text{skewpps2}) / 2$$

$$dTXm = dTXm + \text{skewpps}$$

$$dRXm = dRXm - \text{skewpps}$$

对参数进行配置，重启设备。

联系我们

Contact US

信科太（北京）科技有限公司

北京市海淀区双清路

启迪（八家）创业园 A508 室

<http://www.synctechnology.cn>

0086-13070165776

info@synctechnology.cn

support@synctechnology.cn

Sync (Beijing) Technology Co., LTD

A508, QIDI (Bajia) incubator

Shuangqing Road, Haidian District, Beijing

<http://www.synctechnology.cn/>

0086-13070165776

info@synctechnology.cn

support@synctechnology.cn

