



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences

2026年1-4月考核报告

报告人：赵钱缘

导师：赵京周

专业：核技术及应用

2026. 4. 23

◆ RPC 后端触发电子学开发

● 完成Emulator 搭建

- IpGBT及Sitcp数据传输链路打通

● CERN 实地系统性联调 (RPC Backend与link system)

- 验证链路稳定性
- IpGBT/GBT协议层测试
- 慢控部分固件开发及功能性测试
- 测试结果已在RPC合作组会上汇报

● 基于ATCA架构的触发电子学开发

- IpGBT 固件移植

◆ 端盖 RPC 触发模拟研究

- CMSSW学习与流程复现



目的:

验证RPC后端serenity板卡和前端板底层硬件物理接口在面对 HL-LHC 极高数据吞吐量时的承载能力，链路稳定性与信号完整性，推动link board量产

方法:

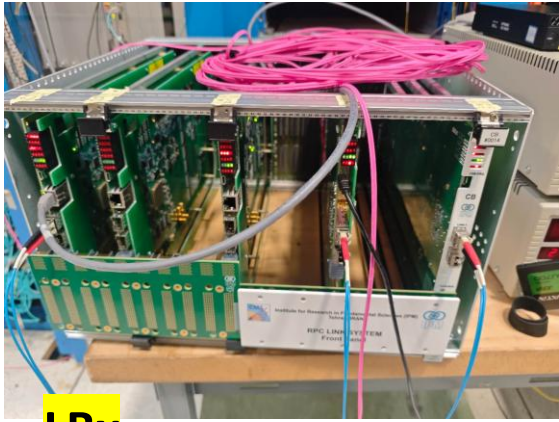
在两端硬件板卡上驱动高速串行收发器（GTY/GTX），在长距(20m)光纤环境下发送并校验伪随机码流或计数器序列，测试4.8G（控制链路）和10.24G（数据链路）两种线速率下的误码率。

表现:

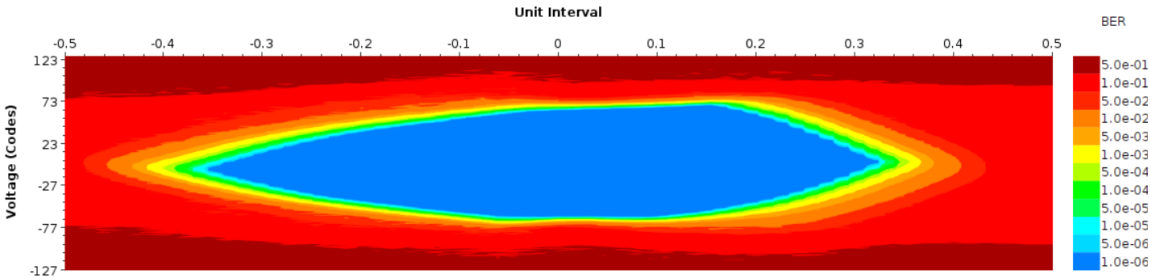
眼图张开度良好，长时间传输链路误码率小于 10^{-14}



BE-serenity



LBx



Summary		Metrics		Settings	
Name:	SCAN_0	Open area:	3641	Link settings:	N/A
Description:	Scan 0	Open UI %:	61.54	Horizontal increment:	1
Started:	2026-Mar-13 10:02:06	Horizontal range: -0.500 UI to 0.500 UI			
Ended:	2026-Mar-13 10:05:45				

LB-> BE, serenity side@10.24G

Name	TX	RX	Status	Bits	Errors	BER	BERT Reset	TX Pattern	RX Pattern	TX Pre-Cursor
Ungrouped Links (0)										
Link Group 0 (1)										
Link 0	Quad_233/MGT_X1Y54/TX (xcvu13p_0)	Quad_233/MGT_X1Y54/RX (xcvu13p_0)	10.260 Gbps	6.001E14	0E0	1.666E-15	Reset	PRBS 7-bit	PRBS 7-bit	0.01 dB (00000)

结果:

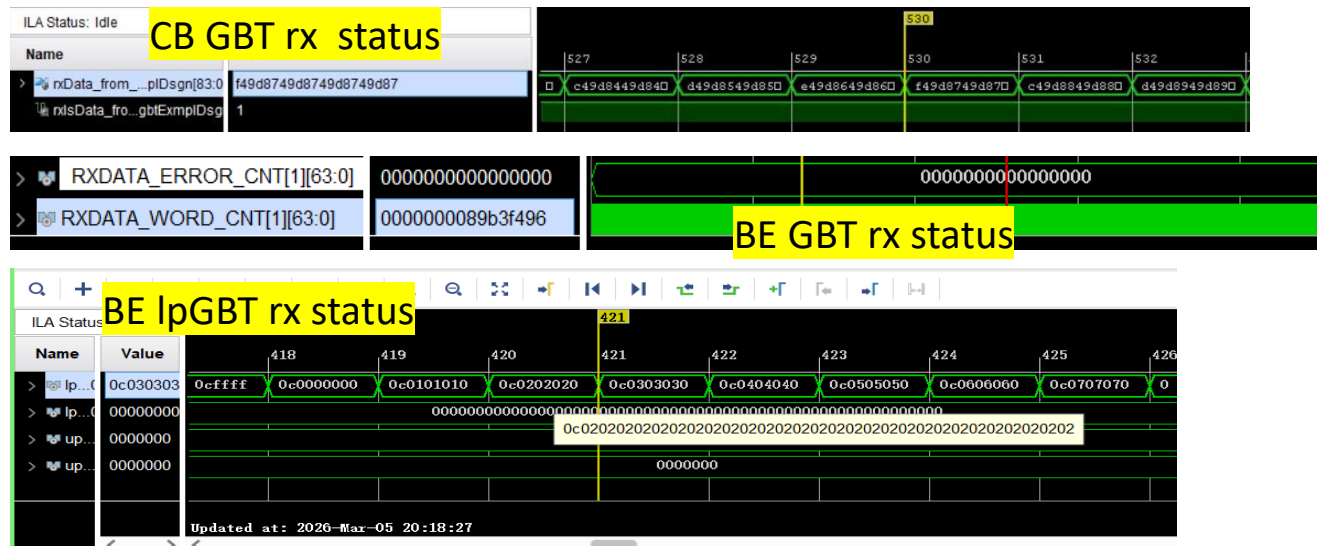
- 链路成功建立, 确认帧封装与解复用正确、对齐/锁定机制可靠, 长时间传输误码数为0, 链路稳定可靠。

GBT	84b payload					
gbit_frame mode, 4.8Gbps@40.0786MHz	[83, 82]	[81, 80]	[79, 60]	[59, 40]	[39, 20]	[19, 0]
the data format we hope to receive for error detect	IC	EC	data[3]	data[2]	data[1]	data[0]
	11	previous clk word+1	pre clk data[3] +1	data[2]= data[3]	data[1]=da ta[3]	data[0]=dat a[3]
	which means ic=11, ec, data[3][2][1][0] both increases by 1 with each beat					
tx data format from RPCBackend	same with the required format , for example, 84b payload data e24afe24afe..., next clk is f24aff24aff...					

测试中使用的GBT传输格式

lpGBT	230b payload					
FEC5 mode, 320Mbps e-link	[229, 224]	[223, 216]	[215, 208]	...	[15, 8]	[7, 0]
	6bx	eLink[27]	eLink[26]	...	eLink[1]	eLink[0]
the data format we hope to receive for error detect	eLink[27]=eLink[0], eLink[26]=eLink[1], eLink[27-i]=eLink[i], etc (mirror symmetry)					
for tx data from VC118 we choose count pattern	001100	pre eLink[27]+1	same with eLink[27]	...	same with eLink[27]	same with eLink[27]

测试中使用的IpGBT传输格式



慢控--Ipbustest with gbt link loopback

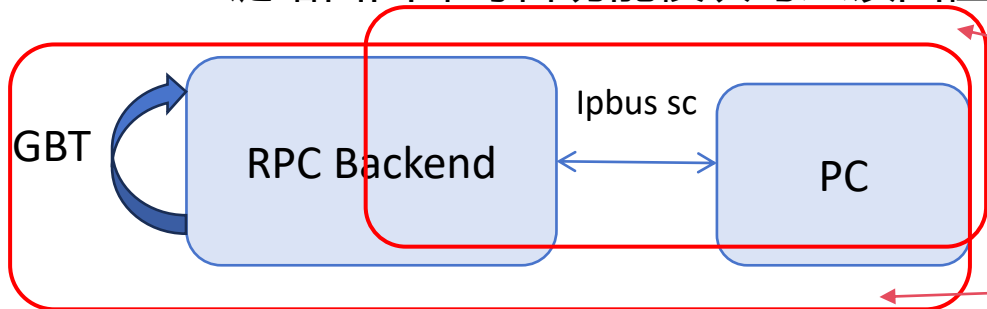
功能开发：依据前端提供的slow control 手册和交流讨论，进行了后端慢控系统的设计(基于IPbus和gbt协议)，包括固件和PC端的脚本，并调试优化，在进行功能性测试前，需要先验证PC-BE之间的链路工作正常

测试方法

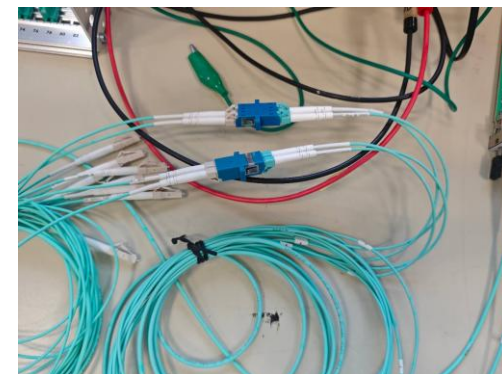
- Step1: PC --FPGA寄存器读写 (基础通信)
- Step2: 建立 GBT 光纤自回环，把 ipbus_info 打包成 gbt_frame 回读

测试结果：

- 可以通过Ipbustest从PC正常读写FPGA寄存器
- GBT链路自回环时各功能模块写入读回值一致



IPBUS-PC端



GBT自回环-BE端

```
rpc_cb
ipbusdp-2.0://192.168.200.16:50001
be_wr.be_reset = 7
be_wr.be_reset = 4
be_wr.be_reset = 1
be_wr.be_reset = 0
be_wr.be_test = 7
be_wr.be_testsig = 7
```

功能模块：be_wr
(不会被打包进GBT模块)

```
06-03-26 16:28:04.196387 [139745623844672] INFO - URI "ipbusdp-2.0://192.168.200.16:50001" parsed as:
> protocol : ipbusdp-2.0
> hostname : 192.168.200.16
> port : 50001
> path :
> extension :
> arguments :

rpc_cb
ipbusdp-2.0://192.168.200.16:50001
-----link1-----
CB_LB_wr.test_node = 1023
CB_LB_wr.test_node = 1022
CB_LB_wr.test_node = 1021
CB_LB_wr.test_node = 1020
CB_LB_wr.test_node = 1019
CB_LB_wr.test_node = 1018
CB_LB_wr.test_node = 1017
-----link2-----
CB_LB_wr.test_node2 = 1022
CB_LB_wr.test_node2 = 1021
CB_LB_wr.test_node2 = 1020
CB_LB_wr.test_node2 = 1019
CB_LB_wr.test_node2 = 1018
CB_LB_wr.test_node2 = 1017
-----link3-----
CB_LB_wr.test_node3 = 1022
CB_LB_wr.test_node3 = 1021
CB_LB_wr.test_node3 = 1020
CB_LB_wr.test_node3 = 1019
CB_LB_wr.test_node3 = 1018
CB_LB_wr.test_node3 = 1017
-----link4-----
CB_LB_wr.test_node4 = 1022
CB_LB_wr.test_node4 = 1021
CB_LB_wr.test_node4 = 1020
CB_LB_wr.test_node4 = 1019
CB_LB_wr.test_node4 = 1018
CB_LB_wr.test_node4 = 1017
```

功能模块：CB_LB_wr
(经由GBT回环)

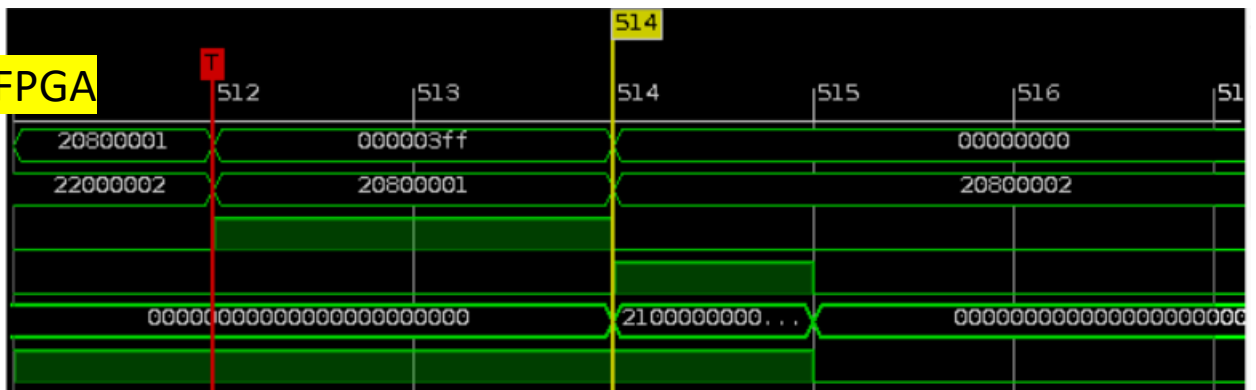
SC-Ipbus test with gbt link loopback

write command

write data from ipbus to register on FPGA

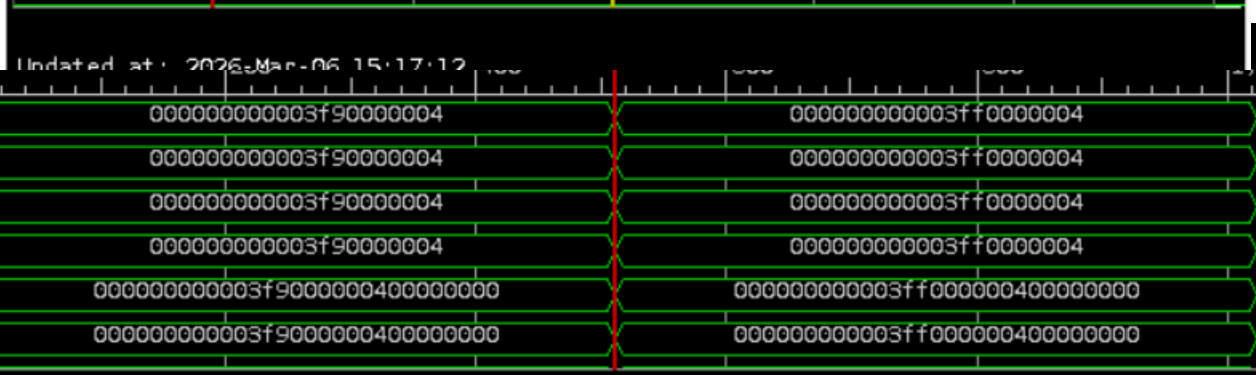
ILA Status: Idle

Name	Value
> payload/example/CB_LB..._in[ipb_wdata][31:0]	00000000
> payload/example/CB_LB..._us_in[ipb_addr][31:0]	20800002
> payload/example/CB_LB.../ipbus_in[ipb_strobe]	0
> payload/example/CB_LB...cframe_gen_valid_ila	1
> payload/example/CB_LB...cframe_gen_ila[89:0]	21000000000003ff0000
> payload/example/CB_LB...t/ipbus_in[ipb_write]	1



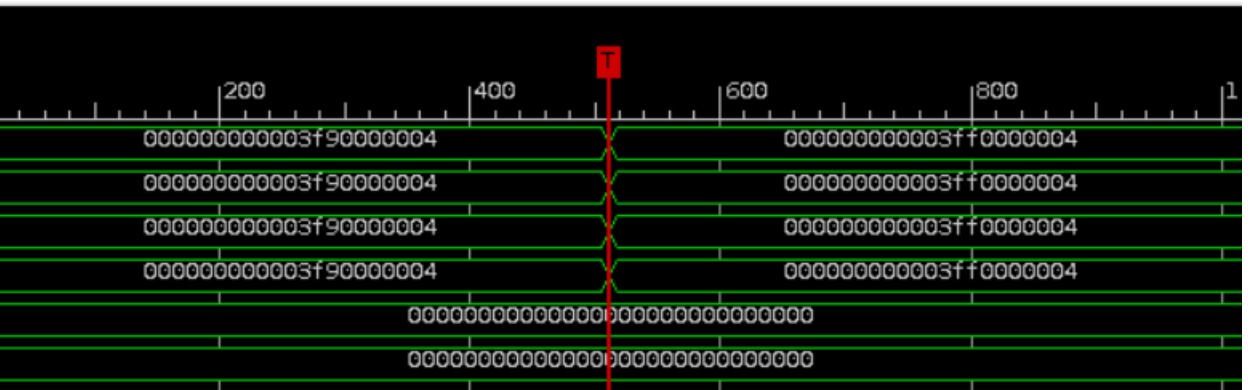
tx_data after packaged

> txData_from_gbtExmplDsgn[1][83:0]	000000000003f9000000
> txData_from_gbtExmplDsgn[2][83:0]	000000000003f9000000
> txData_from_gbtExmplDsgn[3][83:0]	000000000003f9000000
> txData_from_gbtExmplDsgn[4][83:0]	000000000003f9000000
> txExtraDataWidebus_...ExmplDsgn[1][115:0]	000000000003f9000000
> txExtraDataWidebus_...ExmplDsgn[2][115:0]	000000000003f9000000



rx_data from loopback fiber

Name	Value
> rxData_from_gbtExmplDsgn[1][83:0]	000000000003f9000000
> rxData_from_gbtExmplDsgn[2][83:0]	000000000003f9000000
> rxData_from_gbtExmplDsgn[3][83:0]	000000000003f9000000
> rxData_from_gbtExmplDsgn[4][83:0]	000000000003f9000000
> rxExtraDataWidebus_...ExmplDsgn[1][115:0]	000000000000000000
> rxExtraDataWidebus_...ExmplDsgn[2][115:0]	000000000000000000



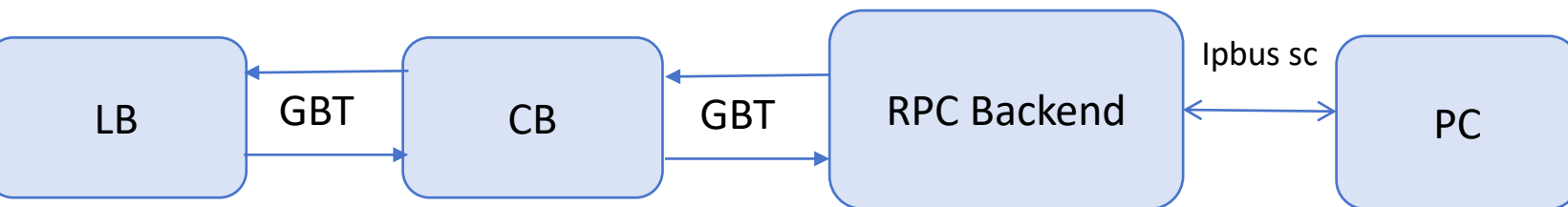
RPC后端电子学慢控部分一功能性测试

慢控主要功能:

- 远程硬件配置与控制
- 实时状态监控

测试方法及表现

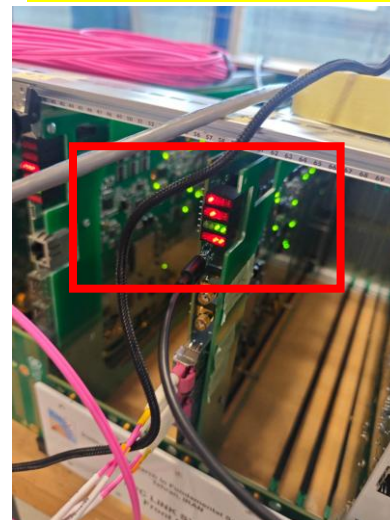
- 为验证慢控功能完善可用，测试了两种commands:
 - 读取CB ADC参数;
 - power_on/off LB
- 结果: PC,BE,CB之间能正常通信且慢控命令读写正常



- 慢控整体链路已被验证
- 另, CB-LB之间存在响应延迟, 设计了valid 位和轮询机制 (有待验证)

						慢控80b							
	[79, 78] -2b	[77]-1b	[76, 72]-5b	[71, 70] -2b	[69, 49] -21b	[48, 45]-4b	[44, 0]-45b						
scframe [79, 0]	RSVD	CE/LB	OPCODE	RSVD	packet length	LB Addr	40b payload						
CE_LB_wr	00	0	00001	00	21"x"	4b RSVD	4b Mux sel [44, 41]		3b ADC ch [40, 38]		10b ADC data[37, 28]		28b RSVD
CE_LB_wr	00	1	00001	00	21"x"	4b Link Board num	4b Mux sel [44, 41]		3b ADC ch [40, 38]		10b ADC data[37, 28]		28b RSVD
feb	00	1/0	00010	00	21"x"	3b operation	3b DE	1b DE port	2b FEB	1b Chip	3b Ch	10b feb data	26b RSVD
fwid	00	1/0	00011	00	21"x"	4b Link Board num	11b RSVD	32b firmware ID				2b RSVD	
rp_w	00	1/0	00100	00	21"x"	4b Link Board num	32b bitstream						13b RSVD
Diag	00	1/0	00010	00	21"x"	4b Link Board num	4b Diag_type [44, 41]		36b four function chosen by diag_type				
Phase	00	1	00101	00	21"x"	4b Link Board num	1b pos/neg	10b Shift Value			29b payload		
Power on/off	00	0	00110	00	21"x"	35b RSVD		9b power status (LB 9-1)			5b RSVD		

80b 慢控命令map



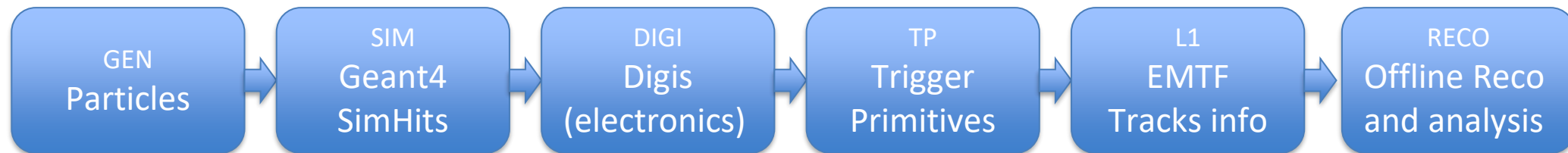
LB5 power on



LB5 power off

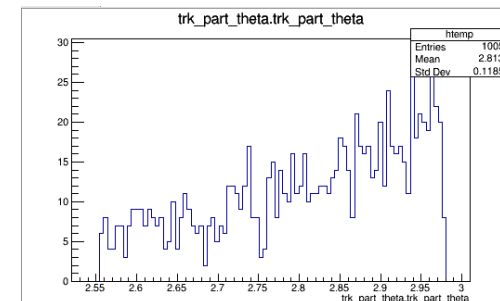
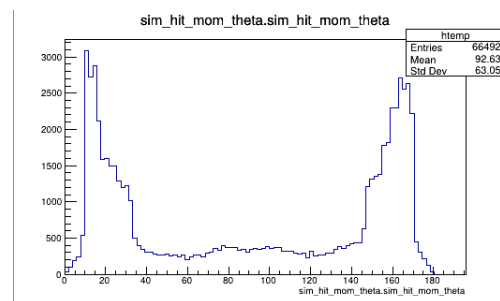
- 文献调研与阅读-持续进行中
- 明确 RPC new timing (sub-BX 1.56ns) 接入 EMTF 的需求, 为端盖RPC触发及簇团特征研究做准备

流程理解:



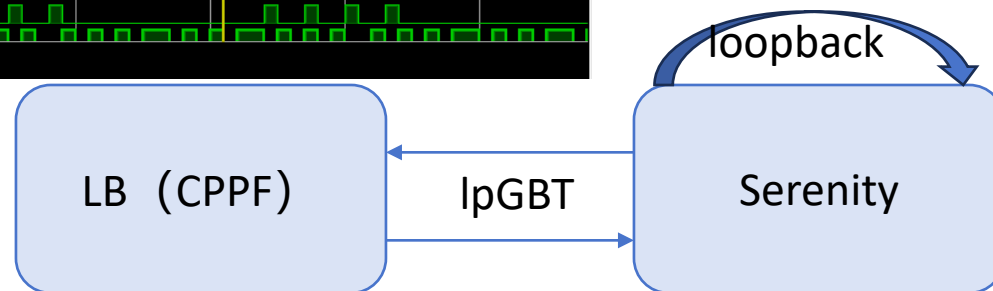
现阶段:

- 完成环境搭建/编译
- 跑通了模拟流程, 已能产生SingleMuon的Ntuple文件
- 目前问题: run_check_emu/check_performance 输出为空、依赖链路需完善

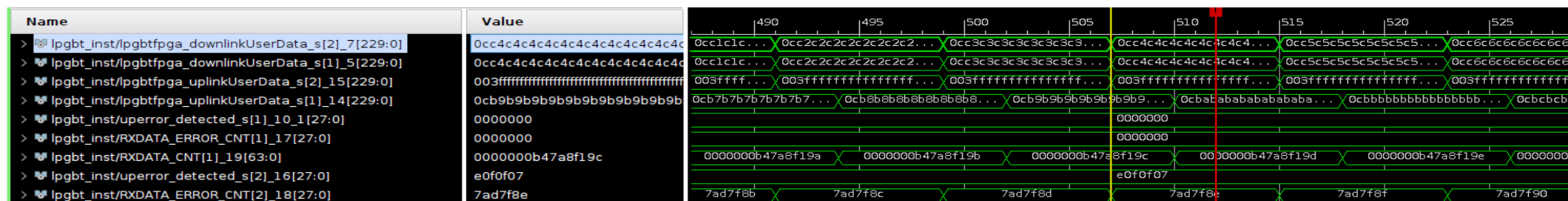


Ntuple of Single Muon Pt 2GeV

- CMS Phase-2 新后端电子学将统一以 ATCA架构 **Serenity板卡** 为平台
- 更新 VU13P 资源/GT Quad 规划、更改refclk/user_clk时钟引入、XDC 约束等
- 一路经光纤 loopback、一路板间对传；



- 链路成功建立
- 协议层封装/解复用正常，两路接收解码出来的userdata和发送的一致



本季度工作总结

- ✓完成Emulator 搭建
- ✓ 学习 CMSSW
- ✓基于ATCA的固件移植 (IpGBT协议)
- ✓ 顺利完成联合调试
 - ✓ 链路稳定性测试
 - ✓ IpGBT/GBT 协议层测试
 - ✓ 慢控开发及功能性测试



后续工作计划：

- 扩展ATCA供电子板功能，加入IPMC管理和信号fanout模块
- 推进与 CMS Phase-2 前端电子学的整体对接，确认链路初始化需求，继续开发改进慢控功能
- 学习emp框架，将RECF 与RPC Backend移植到serenity平台上
- 基于CMSSW研究HL-HLC下簇团特征

感谢各位老师和同学！