

ATLAS実験アップグレードに向けた レベル1 ミューオントリガーにおける 読み出し系の開発

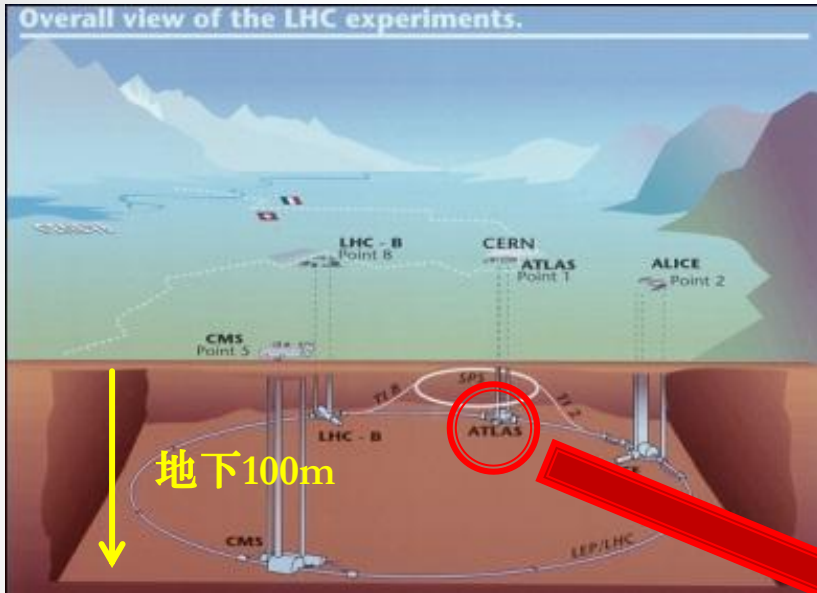
日本物理学会 2012年秋季大会
於：京都産業大学

大谷育生, 坂本宏, 結束晃平, 二ノ宮陽一,
佐々木修^A, 石野雅也^B, 田代拓也^B, 池野正弘^{A,C}, 内田智久^{A,C}
他ATLAS日本TGCグループ
東大素セ、高工研^A、京都大^B、Open-It^C

目次

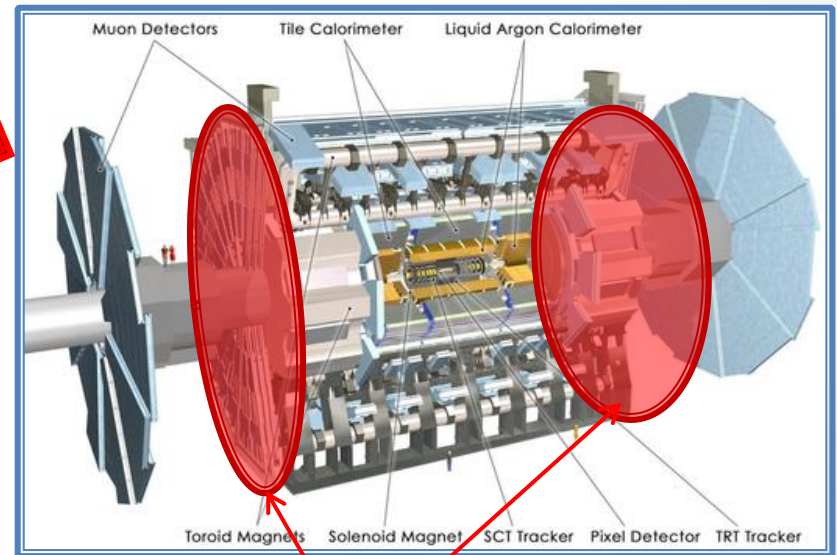
- 研究の背景となるLHCとATLAS実験に関する概説
- 運動量判定モジュールSector Logic (SL) のアップグレードについて
 - 必要となる技術の説明
 - GTX Transceiverの検証
 - SiTCPの検証
- SLプロトタイプの開発について

ATLAS実験



LHC

- 陽子・陽子衝突型加速器
- 周長 26.7km
- 衝突頻度 40MHz
- ビームエネルギー 7TeV
- ルミノシティ $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Thin Gap Chamber (TGC)

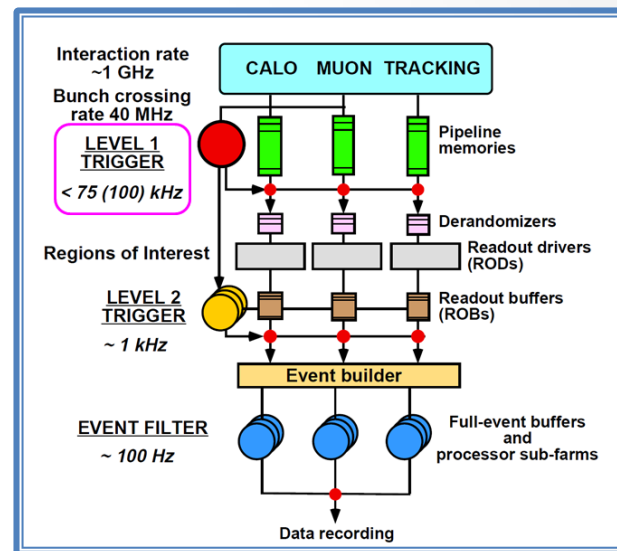
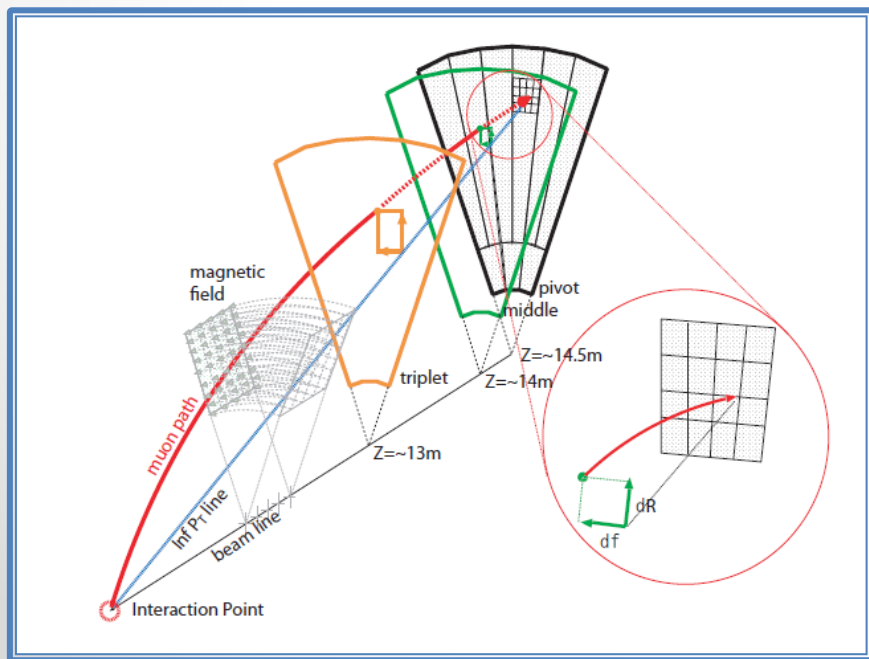
ATLAS detector

- 大型汎用検出器
 - トラッカー (Pixel detector, SCT, TRT)
 - カロリメータ (EM, Hadronic)
 - ミューオンスペクトロメータ (MDT, CSC, RPC, TGC)
- ヒッグス粒子や未知の物理の探索

トリガーシステム

3段階のトリガー

- Level 1 (~100kHz)
 - 2.5 μ s 以内に発行する必要がある
 - ゆえに全てハードウェアによるトリガー
 - TGCやカロリメータが担当
- Level 2 (~数kHz)
- Event Filter (~数100Hz)



TGC L1トリガー

- ミューオンは磁場で曲げられ、3枚のTGCにヒットを生じさせる
- 無限運動量のパス（直線）からのずれで運動量を算出し、高い運動量のミューオンを選び出す

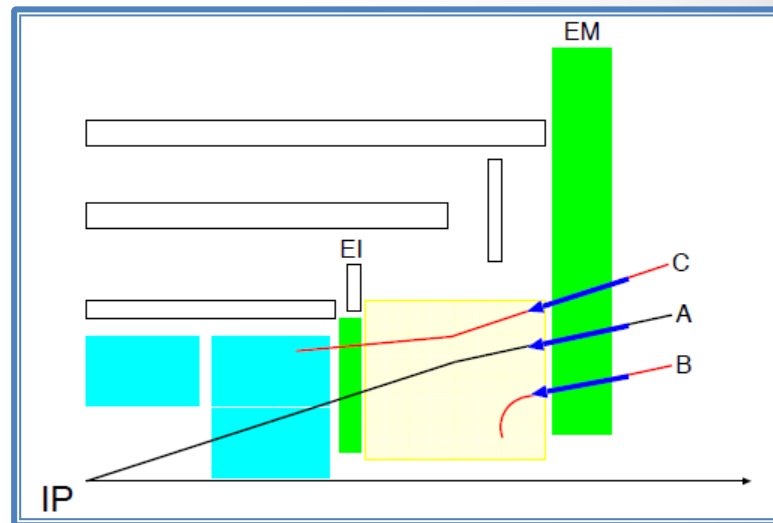
ATLASのアップグレード

高ルミノシティLHC (HL-LHC) へ

- 2020年代へ向け段階的アップグレード
- ルミノシティ：0.8 \Rightarrow $5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

ATLAS検出器のアップグレード

- 放射線損傷した検出器の交換
- 新トリガーシステムの検討
 - 現行ではTGC L1トリガーの9割超がフェイクミュオン（衝突点以外からくるミュオン）でかかっている
 - 2018年に向けてインナーステーションの情報を用いた新しいトリガーシステムを構築する
→関連エレクトロニクスのアップグレードが必要



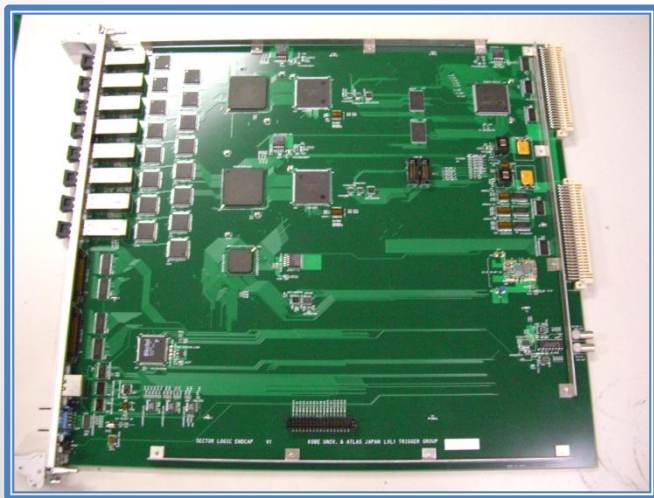
Aが衝突点由来のミュオン
B, Cは別由来だが衝突点から来るように“見える”

SLのアップグレード

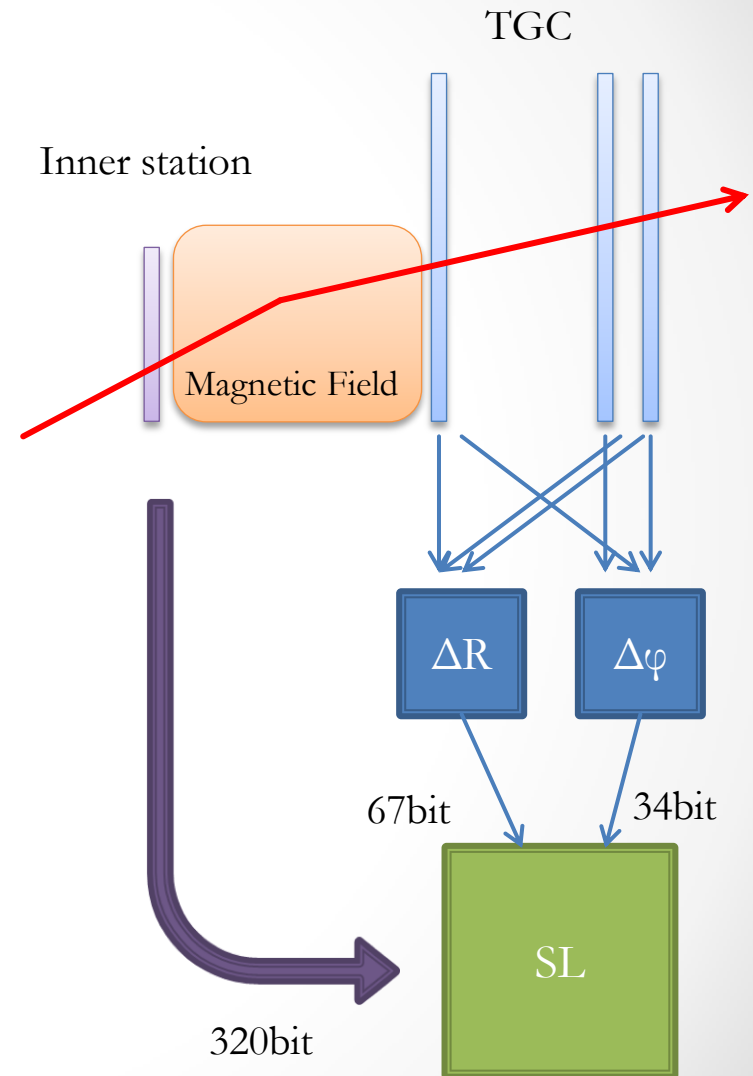
SL (Sector Logic)

- R方向と φ 方向の情報を統合し運動量を割り出すモジュール
- フェイクを落とすために、インナーステーションの情報を入れられる新SLを作る予定

→新SL開発に向けたプロトタイプ的设计
= my work

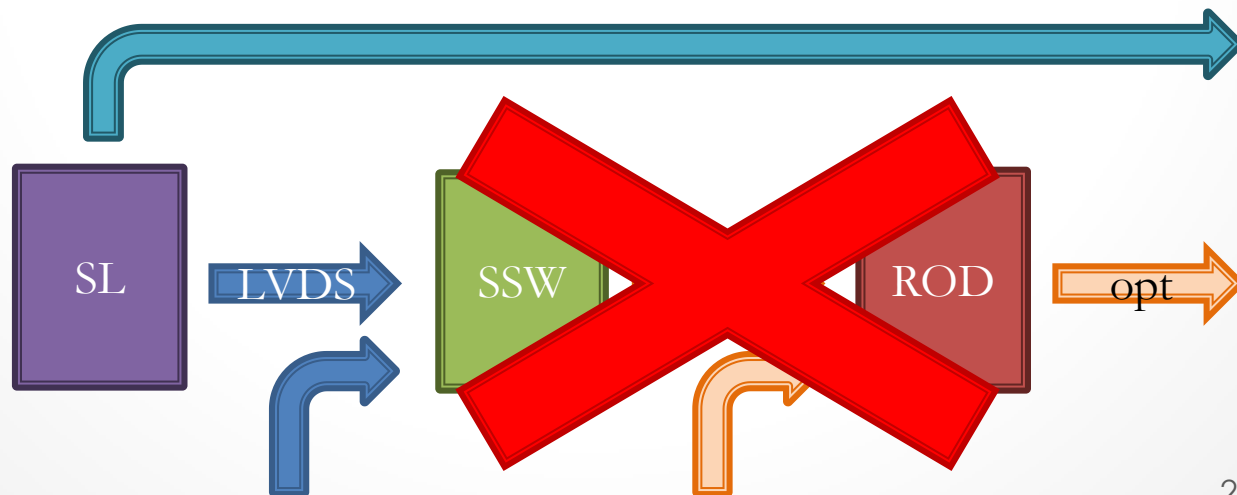


SL board



新SLにおける改善点

- **インプットの増量**
 - 従来の入力：optical 101bit（4Gbps）
 - インナーステーションからの追加入力：optical 320bit（12.8Gbps）→4倍のインプット
- **新しいリードアウトラインの構築**
 - 現行ではリードアウトバッファは他モジュールのASICを流用
 - ASICの出力に合わせて後段のDAQも他のラインに組み込んでいる→バッファをFPGA内に作り、独立した経路を確立する

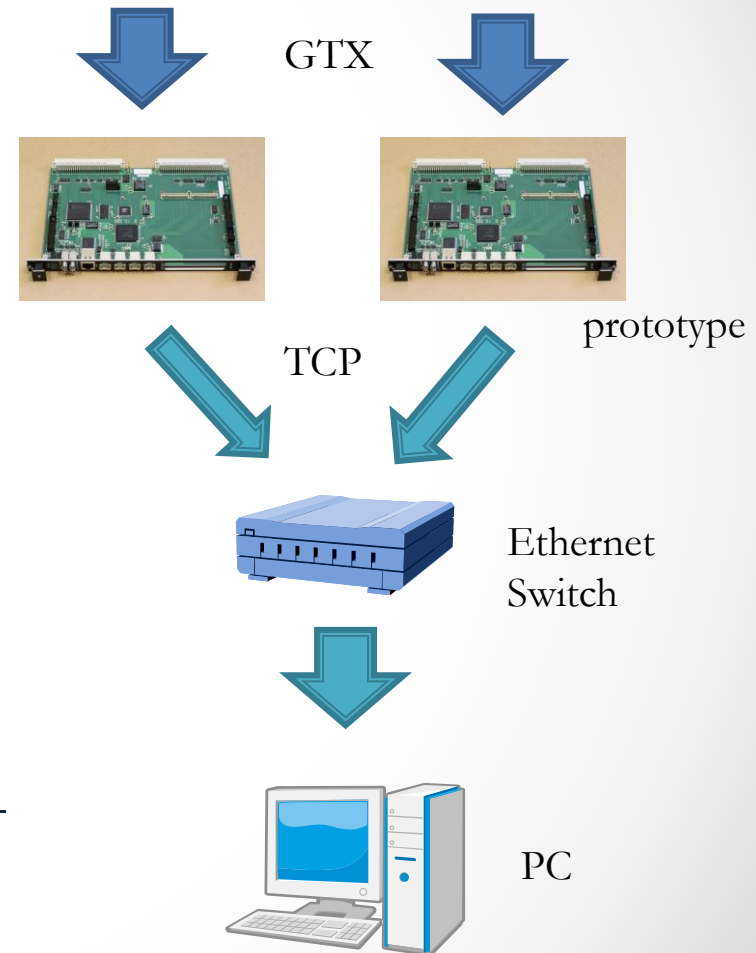


新SLプロトタイプに必要な技術

- 入力: GTX Transceiver
 - Xilinx社のハイエンド/ミドルクラスFPGAに搭載されたギガビットトランシーバ
 - 1レーンで最大12.5Gbps
 - 少ないリソースで新SLの入力を再現可能
- 出力: SiTCP
 - Bee Beans Technologies社の提供するFPGAベースのネットワークプロセッサ
 - TCPによるデータ読み出し+UDPによる制御
 - TCPを用いることで後段のDAQが容易に

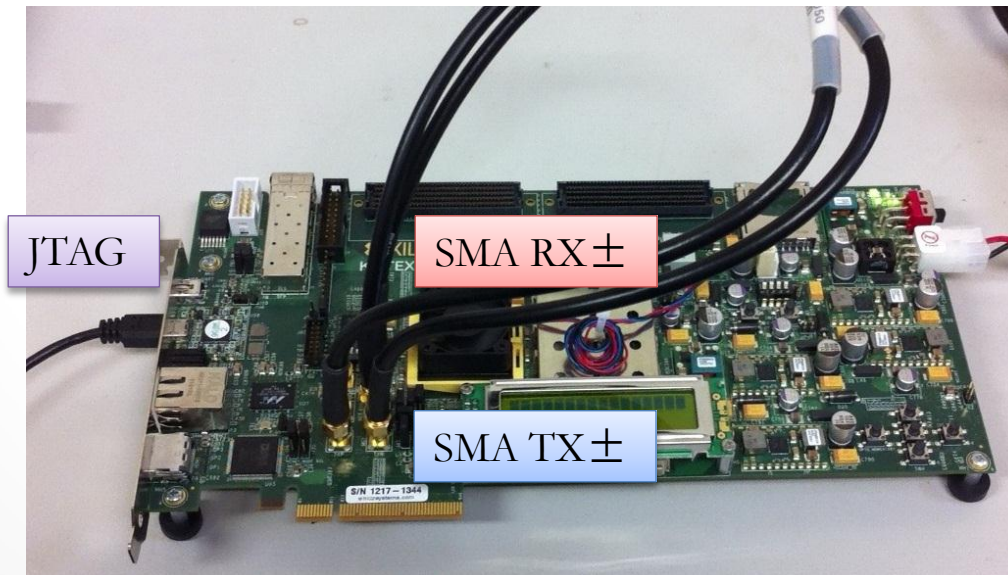
これらの技術を実装したプロトタイプを制作し、
テスト環境を構築する

次ページ以降ではGTXとSiTCPの検証作業を行ったことについて述べる

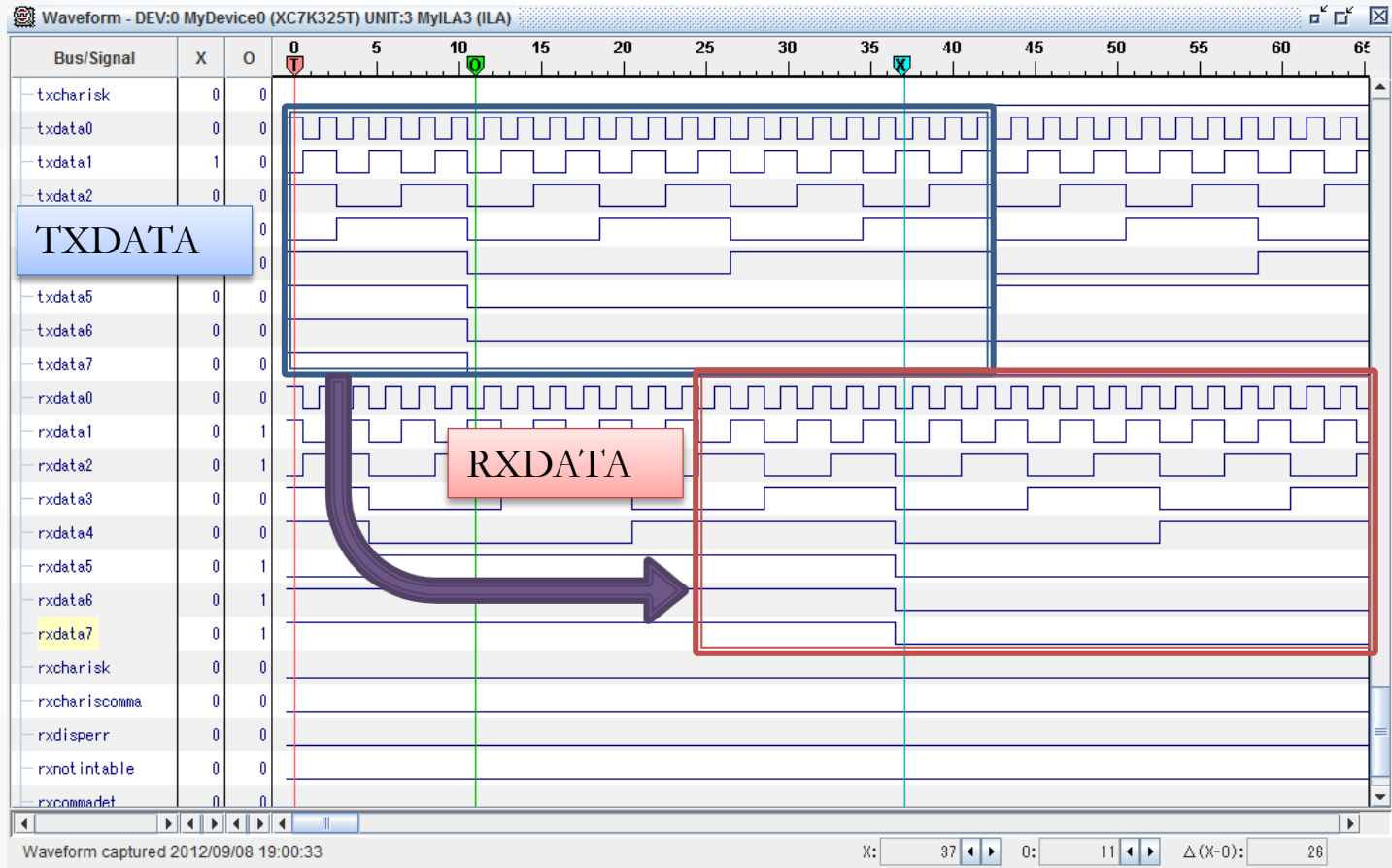


GTX Transceiverの検証1

- Kintex7評価ボードKC705を用いる
- GTX Transceiver Wizardでデザインを生成する (2.5Gbps = 20bit x 125MHz)
 - 送信データは単純なカウンター
- SMAケーブルでtxから自身のrxへループバックさせる
- デバッグツールChipScope proを用いて検証:次ページ
 - JTAG経由で内部信号が見れるツール



GTX Transceiverの検証1



データ（カウンター）が正しく転送できている

GTX Transceiverの検証2

- IBERT(Integrated Bit Error Ratio Test)を用いて検証
 - JTAG経由でBER (Bit Error Ratio)を計測するツール

The screenshot shows the IBERT Console interface with the following settings:

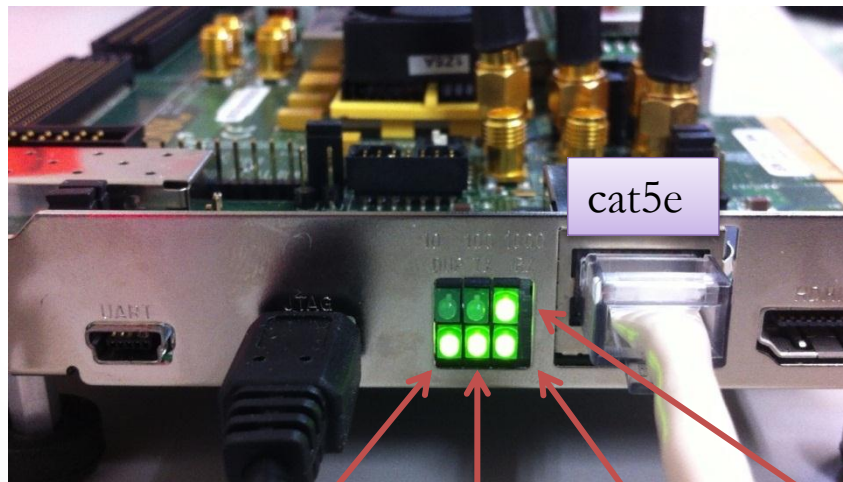
Category	Parameter	Value
MGT Settings	MGT Alias	GTX0_117
	Tile Location	GTX_X0Y8
	MGT Link Status	2.5 Gbps
	PLL Status	QPLL LOCKED
	Loopback Mode	None
	Channel Reset	Reset
	TX Polarity Invert	<input type="checkbox"/>
	TX Error Inject	Inject
	TX Diff Output Swing	850 mV (1100)
	TX Pre-Cursor	1.67 dB (00111)
	TX Post-Cursor	0.68 dB (00011)
	RX Polarity Invert	<input type="checkbox"/>
	RX Termination Mode	Programmable
RX Termination Voltage	800 mV	
BERT Settings	TX Data Pattern	PRBS 31-bit
	RX Data Pattern	PRBS 31-bit
	RX Bit Error Ratio	1.814E-014
	RX Received Bit Count	5.512E013
	RX Bit Error Count	0.000E000
BERT Reset	Reset	

Annotations on the screenshot:

- A blue callout box points to the "2.5 Gbps" value in the MGT Link Status field, with the text "2.5Gbpsでリンクが取れている".
- A red callout box points to the "1.814E-014" value in the RX Bit Error Ratio field, with the text "BER 1.8E-14" and "5.5E13bit送ってエラーなし".

SiTCPの検証

- Kintex7評価ボードKC705を用いる
- Kintex7用SiTCP (ver50) をデザインに組み込む
 - 送信データは単純なカウンター
- Cat5eケーブルでPCとつなぐ
- Bee Beans Technologiesのデバッグツールを用いて検証:次ページ



Full duplex

Tx

Rx

1000M Link

SiTCPの検証

The screenshot shows the SiTCP Utility application window. The title bar reads "SiTcpユーティリティ". The main window contains the following information:

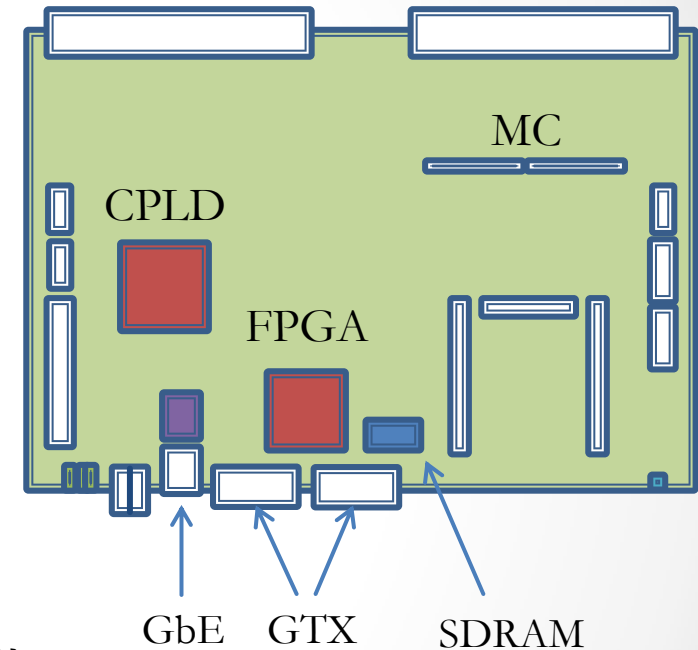
- Version: 0.9.2
- Copyright(C) Bee Beans Technologies, Inc.
- Logo: bee beans with an eye icon
- Navigation tabs: 一般 (General), 制御(UDP) (Control/UDP), データ(TCP) (Data/TCP)
- Statistics: 受信サイズ=647,168 Bytes, 受信時間=31.17 sec, 受信レート=166.11 kbps
- Buttons: 受信停止 (Stop Reception)
- File operations: ファイルに保存 (Save to File), ... (Browse), 開く (Open)
- Options: ファイルのテキスト変換 (Convert file text), データ表示(65535byteまで) (Data display up to 65535 bytes)
- Format field: フォーマット 1111111111111111
- Hex dump: A scrollable area displaying hexadecimal data in columns of 16 bytes, starting from 54 55 56 57 58 59 5A 5B 5C 5D 5E 5F 60 61 62 63 and ending at F4 F5 F6 F7 F8 F9 FA FB FC FD FE FF 00 01 02 03.

データ（カウンター）が正しく転送できている

新SLプロトタイプの開発

- 名称：ProtoType7 (PT7)
 - 6UサイズのVMEモジュール
 - 汎用モジュールとしても使用可能
- **Kintex7** FPGA (XC7K325T) を搭載
- **GTX Transceiver**を8レーン使用
 - コネクタはinfiniband 4xを2つ使用
 - 4レーン x 5Gbps = 20Gbps/ケーブル
- **SiTCP**によるギガビットイーサネット
- MicroBlaze CPUを組み込むことを想定
- DDR3-1333 SDRAMを搭載
- Mezzanine Cardでインターフェイスの拡張可能

PT7 概略図



- 現在回路図を描き終わり、業者への提出前に最終チェック中

まとめ



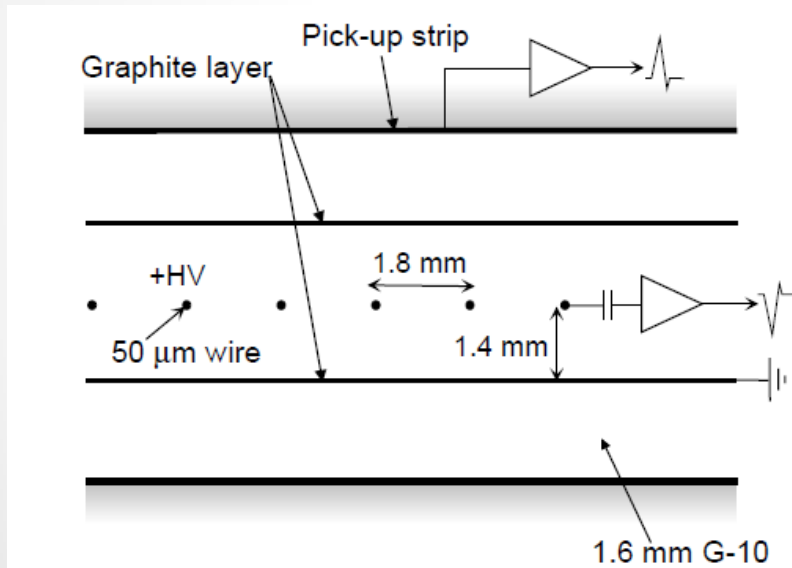
- ATLAS ミューオン検出器の運動量判定モジュールSLのアップグレードプロトタイプとして VMEモジュールPT7を開発中
- PT7に実装する予定のGTX TransceiverとSiTCPの評価をKintex7評価ボードを用いて行った
- 今後はPT7を用いて実際のSLのFPGAロジック開発やテスト環境の構築を行っていく予定である

- 本開発はOpen-Itプロジェクトの1つであり、回路図やverilog source等は公開予定である

Buck up

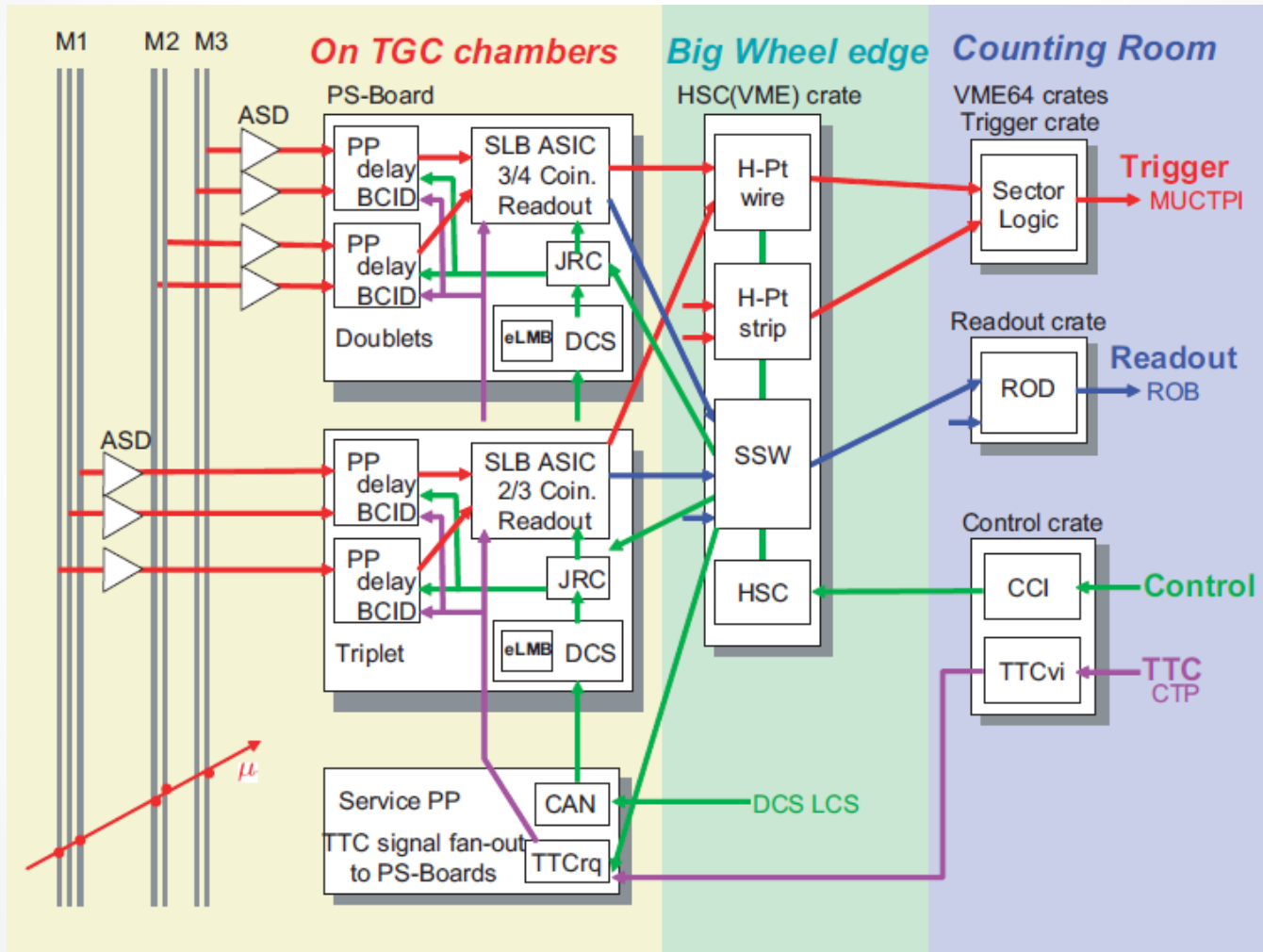
...

TGC parameter

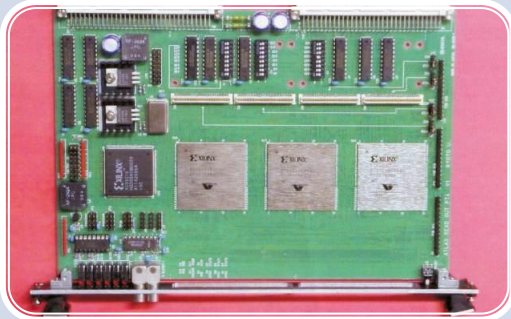


parameter	Design value
Gas gap	$2.8 \pm 0.10\text{mm}$
Wire pitch	$1.8 \pm 0.05\text{mm}$
Wire diameter	$50\mu\text{s}$
Wire potential	$2900 \pm 100\text{V}$
Operating plateau	200V
Gas mixture	$\text{CO}_2 / \text{n-pentane (55:45)}$
Gas amplification	$3\text{E}+5$

Current TGC scheme



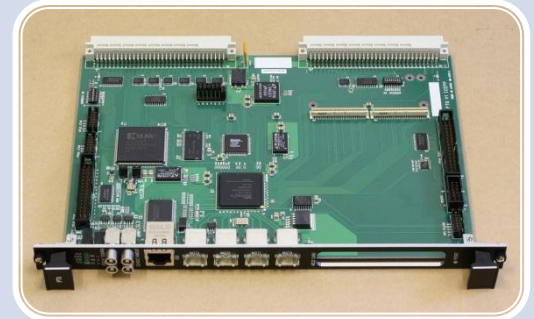
Prototypes



PT4 (2001)
VME-6U
A32D32
Virtex



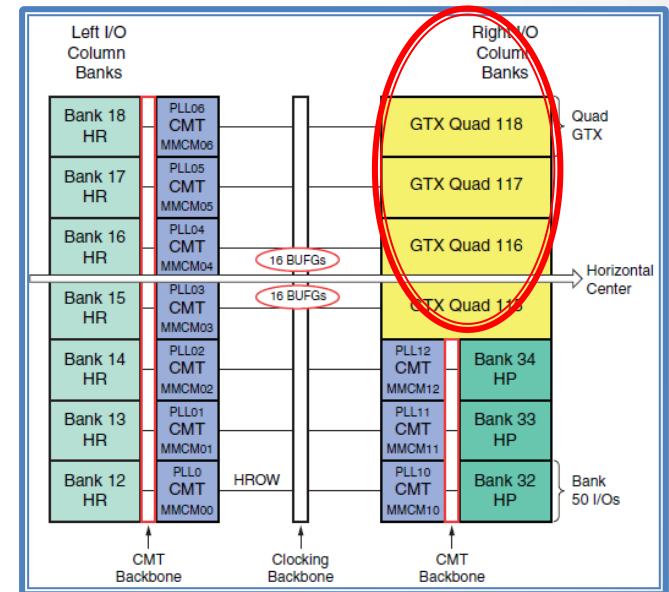
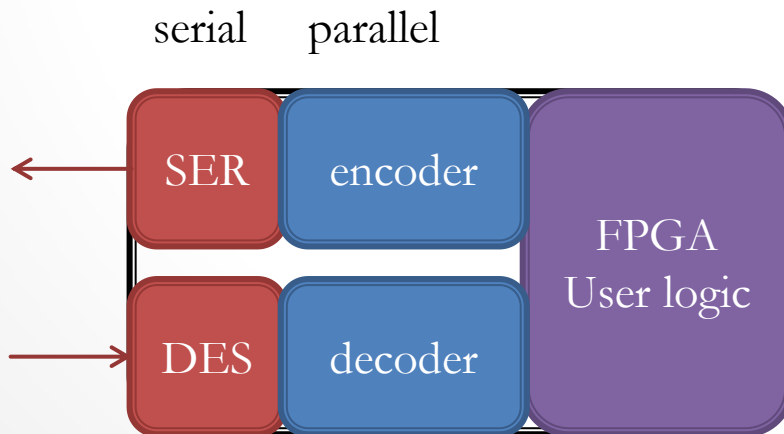
PT5 (2005)
VME-6U
A32D32
Spartan3



PT6 (2010)
VME-6U
A32D32
Spartan6

GTX Transceiver

- 高速シリアル通信用ギガビットトランシーバ
 - Xilinx社のKintex-7 FPGAなどに搭載されたハードマクロ
 - 1レーンで最大12.5Gbps
 - 全二重通信可
- 種々のプロトコルに対応
 - PCIe, 10GBASE-R, Serial RapidIO
 - 8b10bを用いた単純なコーディングも可能

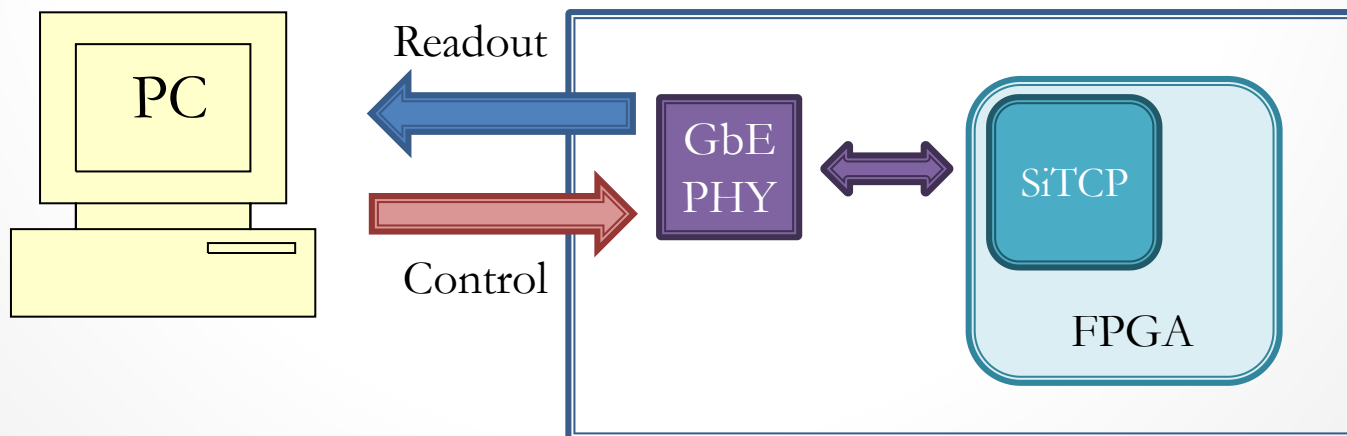


Kintex7 FPGA

SiTCP



- ハードウェアによるネットワークプロセッサ
 - KEKの内田さんにより開発された技術
 - FPGAに組み込むことで手軽にギガビットイーサネットが使える
 - FPGA側からはFIFO、PC側からはサーバーに見える
- TCPによる高速リードアウト
 - 最大1Gbps
- UDPベースのプロトコルにより外部からのコントロールも可能



SiTCPの検証

パケットキャプチャツールwiresharkで解析

PC側のTCP windowがfullになっているのが原因

このロスを抜くと500Mbps超で通信できている

→適切なソフトウェアを書く必要

	50	0.001095000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=59861 Ack=1 win=2031 Len=1460
	51	0.001096000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=61321 Ack=1 win=2031 Len=1460
	52	0.001098000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=62781 Ack=1 win=2031 Len=1460
	53	0.001100000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=64241 Ack=1 win=2031 Len=1460
	54	0.001102000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=65701 Ack=1 win=2031 Len=1460
	55	0.001103000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=67161 Ack=1 win=2031 Len=1460
	56	0.001105000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=68621 Ack=1 win=2031 Len=1460
	57	0.001107000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=70081 Ack=1 win=2031 Len=1460
	58	0.001108000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=71541 Ack=1 win=2031 Len=1460
	59	0.001111000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=73001 Ack=1 win=2031 Len=1460
	60	0.001113000	192.168.10.16	192.168.10.2	[TCP window Full] 24 > 54439 [ACK] Seq=74461 Ack=1 win=
7ms	61	0.001166000	192.168.10.2	192.168.10.16	[TCP Zerowindow] 54439 > 24 [ACK] Seq=1 Ack=74657 win=
	62	0.008441000	192.168.10.2	192.168.10.16	[TCP window Update] 54439 > 24 [ACK] Seq=1 Ack=74657 w
	63	0.008650000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=74657 Ack=1 win=2031 Len=1460
	64	0.008652000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=76117 Ack=1 win=2031 Len=1460
	65	0.008654000	192.168.10.16	192.168.10.2	[TCP window Full] 24 > 54439 [ACK] Seq=77577 Ack=1 win=
0.4s	66	0.008691000	192.168.10.2	192.168.10.16	[TCP Zerowindow] 54439 > 24 [ACK] Seq=1 Ack=78129 win=
	67	0.405756000	192.168.10.2	192.168.10.16	[TCP window Update] 54439 > 24 [ACK] Seq=1 Ack=78129 w
	68	0.405821000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=78129 Ack=1 win=2031 Len=1460
	69	0.405902000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=79589 Ack=1 win=2031 Len=1460
	70	0.405905000	192.168.10.16	192.168.10.2	24 > 54439 [ACK] Seq=81049 Ack=1 win=2031 Len=1460