〜Evaluation and Optimization of
the High Resolution Research Tomograph (HRRT)より〜

8.7. Detector Electronics and Event Processing

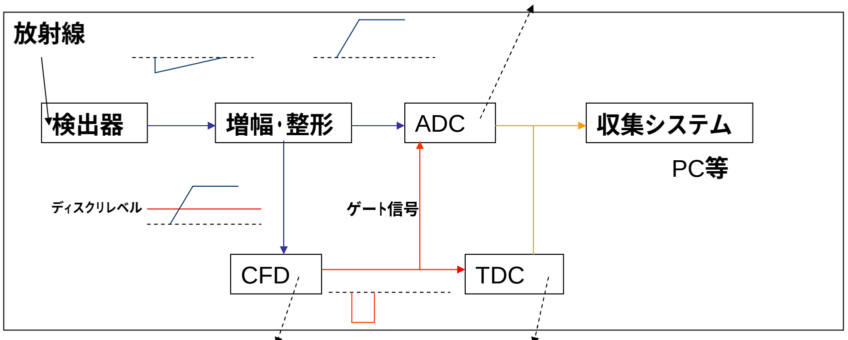
早大理工総研　錦戸文彦

2006.6.13

放射線検出回路

Analog-to-digital converter

信号の波高値をデジタル化



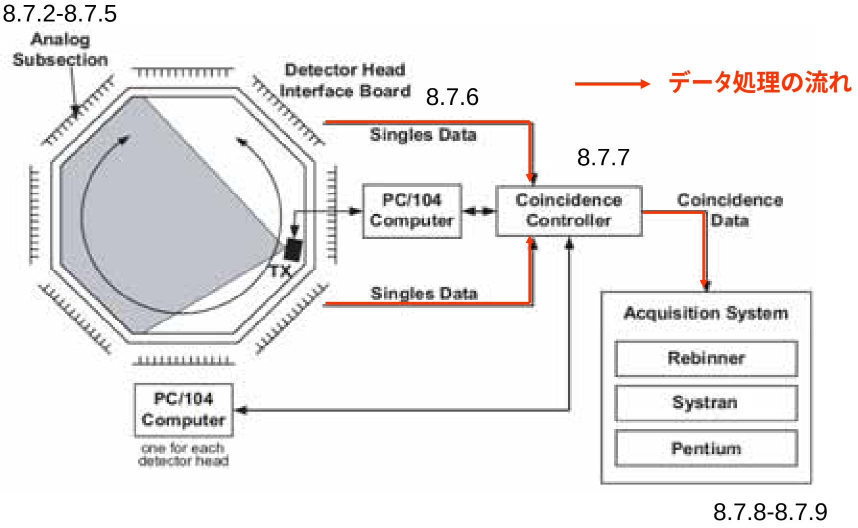
Constant fraction discriminator

一定の波高値以上の信号が来た場合、ロジック信号を出す。

Time-to-digital converter

start**信号と**stop**信号の時間差をデジタル化。**

データ収集系の概要



データの処理の流れ

1.Analog subsection

PMTからデータを受け取り結晶位置やエネルギーを計算。

single eventの情報をDHIに送る

2.Detector Head Interface

各検出器ヘッドでのsingle eventの優先付けを行う。

3.Coincidence Controller

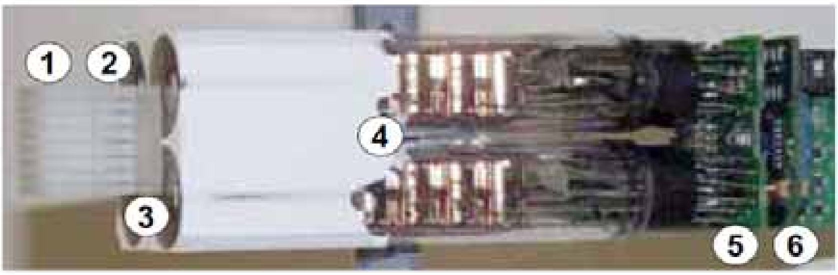
コインシデンスの判定。

64-bit list modeデータを作り収集システムに送る。

4.Data Acquisition System

リビニングやデータの記録を行う。

Analog subsection1 (PMT)



①②Crystal Array
③External light Guide
④PMT
⑤Tube Interface Board (TIB)
⑥Bleeder Board
⑦Light-Tight Interface (LTI)

PMT-Bleeder board間のコネクター、PMTを取り外すことなくBleeder boardを交換するため取り付けてある。

Bleeder Board

・各PMT (4個) のダイノード間の電圧をコントロール。

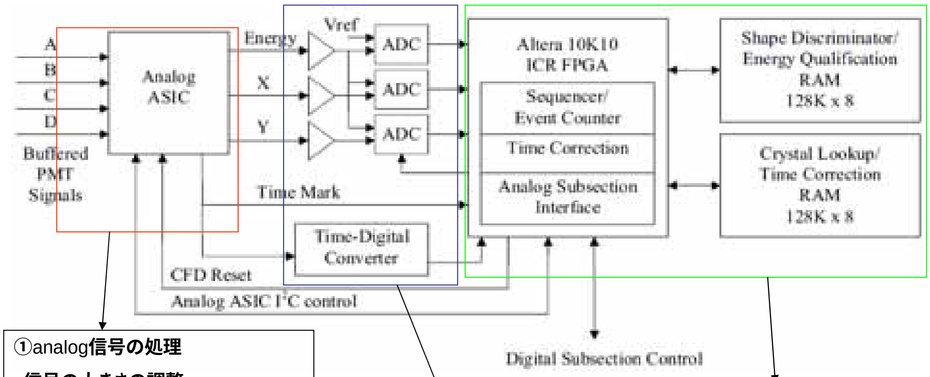
・electronically erasable potentiometer (EEPOT)により各PMTの電圧をコントロール。

・AMPを用いPMTの出力(約60mV)を1.5V程度まで増幅した後、以下のLight-Tight interfaceに送る。

Light-Tight Interface (LTI)
・1個のPMTは4つの検出器ブロックに接しているため、PMTからの信号を4つに分割を行った後、それぞれの検出器ブロックのASICへ送る。
・LTI上にあるAltra 10k10 FPGAでBleeder BoardのEEPOTのコントロール (PMTの電圧の設定) ・detector headの電圧や温度のモニターを行う。

8.7.5 Analog Subsection Board

1つのボードで3ch分、1つの検出器ヘッドに対して全39枚必要。



①analog信号の処理
・信号の大きさの調整
・信号のsum a+b,a+c (position用)
a+b+c+d (energy用)
②sum信号をCFDで処理。
→Time mackをFPGAに送る。

③A-D変換
Energy,X,Yをそれぞれデジタル化。
時間情報もTDCを用いてデジタル化。

④lookup tableの参照
波形弁別、結晶の決定
時間補正を行う。

8.7.5.1 Analog ASIC

4つのPMT信号からTiming・Energy・Positionの情報を計算する。

(1) 時間情報

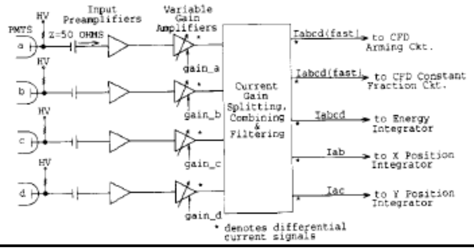
PMTからの4つの信号を足し合わせた後($e(t) = a(t) + b(t) + c(t) + d(t)$)、CFDに送る。CFDからの信号はtime master信号としてFPGAボードに送られる。

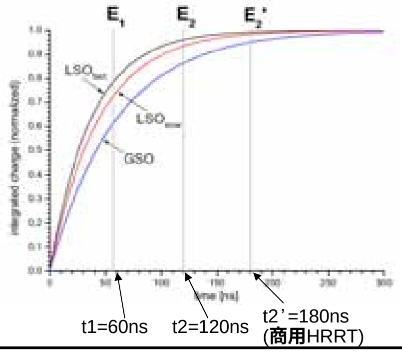
(2) エネルギー情報

sum信号(e(t))を積分回路で積分し、異なる2つのタイミング(t1,t2)での信号をflash ADC(8-bit)でデジタル化する。(右図) T2での信号をtotal event energyとみなす。T1は波形弁別に用いる。

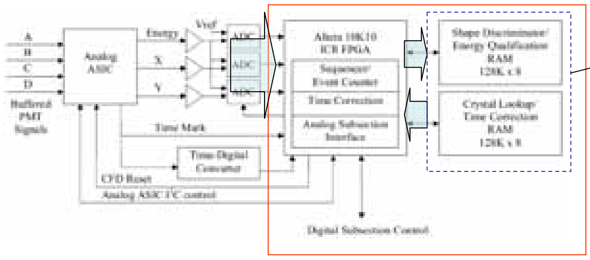
(3) 位置情報

PMTからのsum信号(a+b)(a+c)を積分し、積分時間(?)の最後にflash ADC(8bit)でデジタル化。ADCはsum信号(a+b+c+d)をリファレンスとしたレシオメトリックモードでデジタル化し、それぞれを (X,Y)とする。





8.7.5.2 Analog Subsection FPGA



2つのRAM上にあるlookup tableを参照することで結晶の識別を行う。

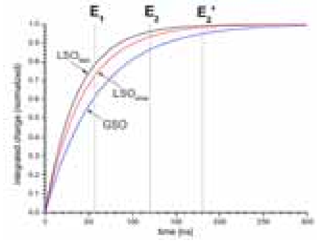
ASICによって得られたEnergy,X,Yの情報を入力から
・Pulse Shape Discrimination →DOIの識別
・Crystal Position Information →結晶の識別
・Energy Qualification →scatter correction (将来導入予定)
を行う。

Pulse Shape Discrimination

・結晶の種類により減衰時間が違うためE1/E2を計算することで各層の弁別ができる。

・Shape discrimination value (SDV)を決めてやることで結晶を弁別する。

・実際の処理ではE1・E2値からlookup tableを参照する。



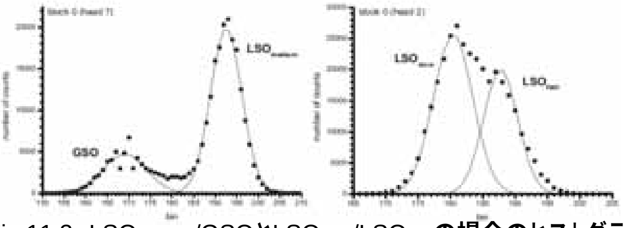
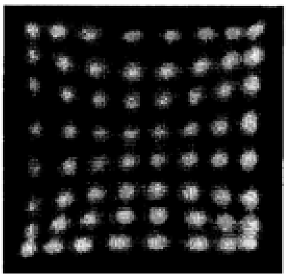


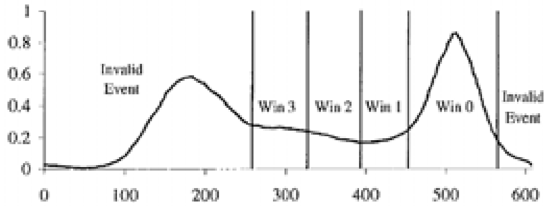
Fig.11.3 LSO_{medium}/GSOとLSO_{slow}/LSO_{fast}の場合のヒストグラム

・Crystal Position Information

00	01	02	03	04	05	06	07
10	11	12	13	14	15	16	17
20	21	22	23	24	25	26	27
30	31	32	33	34	35	36	37
40	41	42	43	44	45	46	47
50	51	52	53	54	55	56	57
60	61	62	63	64	65	66	67
70	71	72	73	74	75	76	77



・Energy Qualification



Lookup tableの参照

・Shape Discrimination Lookup

E1(8bit) high → slow(0)
E2(8bit) low → or fast(1)

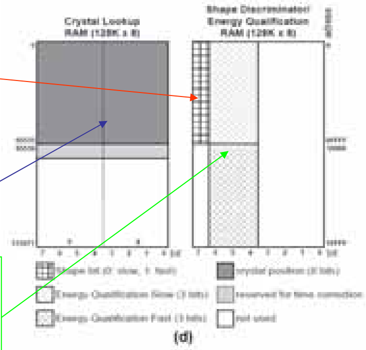
・Crystal Lookup

Y (8bit) high → crystal address (256ch)
X (8bit) low → X(4bit)+Y(4bit)

・Energy Lookup

DOI (1bit)
crystal(8bit) high → Energy Qualification
E2(8bit) low → (3bit)

入力 出力



RAM上のlookup tableの配置

Detector Head Interface (DHI)

Analog subsection boardとCoincidence controller (CC)の間のインターフェイス

PC/104によってコントロールされている

・flash disk内にセットアップ情報やAnalog subsection、LTI、DHI用のプログラムが記録されている。

・様々な収集モードに対するエレクトロニクスの設定を行う。

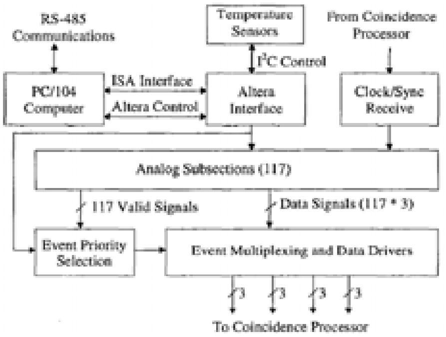
・CCからのclock情報をanalog subsection boardに送る

・analog subsectionからのmultiple event情報の優先付け

・CCに検出器ブロックからのsingleの情報とイベントレイトをCCに送る(RS-485)

・FPGA、ASIC、RAM lookup table、EEPOT、event priority deviceのサポート

・温度・電圧のモニター



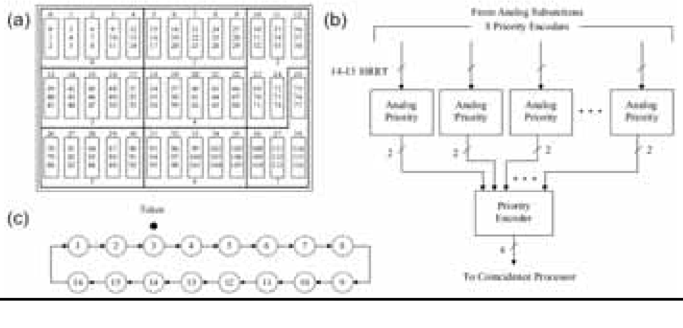
Event Priority Circuit

・全117台のanalog subsection からのsignalを受け取る

・8つのセクションに分かれている（各15ch、最後だけ12ch）・・・(a)

・1セクションにつきmaster clock cycle(256nsec)の間に2つのsingle event（1つのdetector headにつき16event）、最大4つのsingle eventをCCに送ることが出来る。その他のイベントは捨て、loss rateをCCに報告。 ・・・ (b)

・clock cycle毎にトークンをanalog subsectionから次のanalog subsectionに移す。（トークンを持つサブセクションの優先度が一番低く、次のサブセクションが最も優先度が高い） ・・・ (c)



Coincidence Controller (CC)

8つのDHIからのデータを受け取り6nsecの間にきたeventをcoincidence pairとし64bitのlist modeデータを収集システムに送る。以下の4つのモードがある。

Coincidence mode: 通常のモード。反対側にある5つの検出器とのコインシデンスイベントを記録する。

Passthru mode: single eventをそのまま64bitデータにして送る。検出器のセットアップやチェックに用いる。

Time Difference mode:256nsec間に来た2つのsingle eventの時間情報の差を求め、位置情報と共に64bitデータにして送る。タイミングの調整に用いる(8.8.3参照)

Transmission mode:トランスミッション線源の位置とsingle eventの情報を64bitのlist modeデータにして送る。

Data Format

①64-bit List Mode データ

・CCから出力したデータをそのままHDDに書き出す。

・Tag word (タイミングやガントリーの情報) をlist modeデータの間に挿入することが出来る。

Table 8.2: 64-bit list mode word definition [Jon99]

Bit	First 32-bit Word, Event A	Bit	Second 32-bit Word, Event B
0-7	transaxial block index	32-39	transaxial block index
8-15	axial block index	40-47	axial block index
16-18	head number	48-50	head number
19-21	energy window	51-53	energy window
22-24	crystal layer	54-56	crystal layer
25-27	time of flight	57-59	time of flight
28-29	reserved	60-61	reserved
30	event (=0) / tag word (=1)	62	prompt (=1) / delayed (=0)
31	packet sync = 0	63	packet sync = 1

②**32-bit List Mode データ**

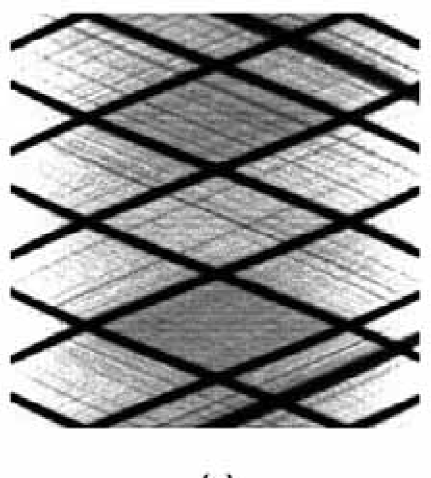
64-bitのデータをspanやring difference を元にサイノグラムのアドレスに変換する。

Rebinner card (VME)を用いて64-bitデータを32-bitデータに変換する。

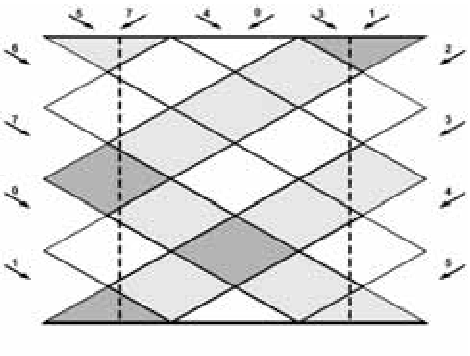
Table 8.3: 32-bit list mode word definition for coincidence events [Jon99]

Bit	Information
0-28	sinogram bin adress
29	0 = emission; 1 = transmission
30	0 = delayed; 1 = prompt
31	0 = event word; 1 = tag word

③**sinogram データ**



(a)



(b)

White : LSO/LSO – LSO/LSO

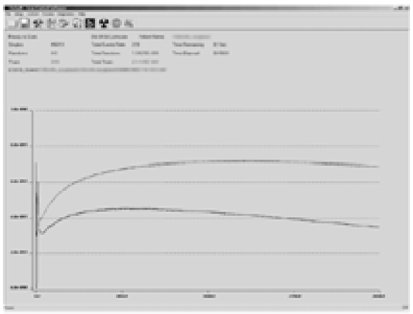
Grey : LSO/LSO – LSO/GSO

Dark grey : LSO/GSO – LSO/GSO

8.7.9 Acquisition system

収集用PC
600MHz Pentium**III**
725MB RAM
Windows NT
1TB RAID HDD
ファイバーチャンネル(systan PCI card)

Storage rate : 4×10^6 event/s



収集ソフトScan Control Software (SCS)

サイノグラムの収集モード

Table 8.4: Acquisition modes for the HRRT

	Emission				Transmission
Span (rd)	3 (67)	5 (67)	7 (94)	9 (67)	9 (67)
♯ Bins	256	256	256	256	256
♯ Angles	288	288	288	288	288
♯ Planes	6367	3873	3197	2209	207‡
Segments†	±22	±13	±13	±7	
% LORs‡	88	88	99	88	
Data Set Size [MB]	939	571	471	326	31
♯ Bins [10^8]	4.69	2.86	2.36	1.63	0.15

†≙$(2\cdot rd+1)/span$, ‡segment 0 only
‡total number of LORs = 4.486×10^9

本実験ではspan 3とspan 9のみを使用する。

Rebinning（ハードウェアでの）

- Rebinner (VME) cardを用いて64bit list modeデータを32bit list modeデータもしくはsinogramに変換する。
- DOI情報はtransaxial方向のみ使用し、axial方向には使用しない。
- Rebinningを行うことでデータサイズを減らすことが出来る(List modeを用いた場合、人間の脳のデータは簡単に40GBを越えてしまう。)。
- 時間情報が失われてしまう。
- Rebinningは決まったspanやring differenceしか使用できない。後でspan等を変更することが出来ない。