

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



Bakalářská práce

**Kalibrační a ovládací software sítě částicových pixelových
detektorů umístěných uvnitř experimentu ATLAS
na LHC v CERN**

Jakub Begera

Vedoucí práce: Ing. Štěpán Polanský

Studijní program: Otevřená informatika, Bakalářský

Obor: Softwarové systémy

7. května 2016

zadani

Poděkování

Zde můžete napsat své poděkování, pokud chcete a máte komu děkovat.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2016

.....

Abstract

Translation of Czech abstract into English.

Abstrakt

Abstrakt práce by měl velmi stručně vystihovat její obsah. Tedy čím se práce zabývá a co je jejím výsledkem/přínosem.

Očekávají se cca 1 – 2 odstavce, maximálně půl stránky.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Motivace	1
2	Detektory ionizujícího záření	3
2.1	Klasifikace detektorů a jejich parametry	3
2.2	Geiger-Müllerův počítač	3
2.3	Sintilační detektory	3
2.4	Polovodičové detektory	3
2.4.1	Princip	3
2.4.2	Módy	3
2.4.3	Medipix	3
2.4.4	Timepix	3
2.4.5	Cluster analýza	3
2.4.6	FitPix	3
2.4.7	Pixelman	3
2.4.8	Aplikace	3
3	Energetická kalibrace	5
4	Atlas TPX	7
4.1	Atlas MPX	8
4.1.1	Hardwarová a softwarová architektura sítě Atlas MPX	9
4.2	Hardwarová architektura	10
4.3	Softwarová architektura	12
4.4	Řídící software	15
4.4.1	Řízení detektorů	15
4.4.2	REST API server	15
4.4.3	Zpracování a ukládání dat	15
5	Závěr	17
A	Obsah přiloženého CD	21

Seznam obrázků

4.1	Atlas TPX detektor - vrstvy a rozmístění konvertorů	7
4.2	Atlas MPX s přehledem rozmístění detektorů	8
4.3	Snímek z Atlas MPX detektoru s výřezem zachycených částic (převzato z [1])	9
4.4	Fotografie znázorňující Medipix2 detektor s neutronovými konvertory (převzato z [6])	9
4.5	Atlas MPX - řídicí aplikace (převzato z [4])	10
4.6	Atlas TPX - diagram hw komponent	11
4.7	Atlas TPX - fotografie hw komponent	11
4.8	Atlas TPX - diagram softwarových komponent	12
4.9	Cluster analýza - 6 základních typů clusterů (převzato z [4])	14
A.1	Seznam přiloženého CD — příklad	21

Seznam tabulek

Kapitola 1

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a implementací software pro ovládání a kalibraci sítě hybridních částicových pixelových detektorů umístěných uvnitř experimentu Atlas na LHC v CERN - projekt AtlasTPX. Jelikož proces kalibrace je zcela nezávislý na následném řízení činnosti těchto detektorů, je tento software členěn na dvě nezávislé části - energetickou kalibraci částicových pixelových detektorů (viz kapitola [3](#)) a řízení sítě těchto detektorů - AtlasTPX (viz kapitola [4](#)).

TODO

1.1 Motivace

Ionizující záření je spjato s naším světem už od začátku jeho existence. Jeho studium započalo koncem 19. století a pomáhá nám pochopit podstatu hmoty, její interakce s prostředím a další vlastnosti. Tyto poznatky našli své uplatnění v mnoha oborech, jako například v defektoskopii, zdravotnictví, energetice a v mnoha dalších. Spolu s rostoucími poznatky o ionizujících záření a s technickým postupem se rozvíjela i detekční technika, která za poslední století prodělala veliký posun. Od prvních bublinových komor, až po nejmodernější polovodičové pixelové detektory, kterými se tato práce zabývá.

Kapitola 2

Detektory ionizujícího záření

2.1 Klasifikace detektorů a jejich parametry

2.2 Geiger-Müllerův počítač

2.3 Sintilační detektory

2.4 Polovodičové detektory

2.4.1 Princip

2.4.2 Módy

2.4.3 Medipix

2.4.4 Timepix

2.4.5 Cluster analýza

2.4.6 FitPix

2.4.7 Pixelman

2.4.8 Aplikace

Kapitola 3

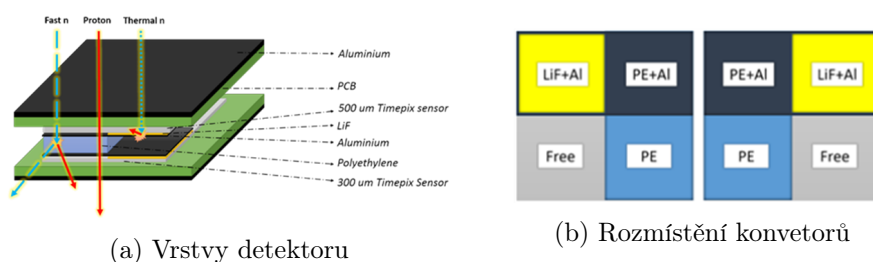
Energetická kalibrace

Kapitola 4

Atlas TPX

Atlas TPX je síť 15¹ hybridních pixelových detektorů typu Timepix 2.4.4, nainstalovaných na různé pozice experimentu Atlas na LHC² v CERN během LS2³ (leden 2013 až březen 2015) je následníkem svého předchůdce - sítě Atlas MPX (viz 4.1). Hlavní motivací výměny této sítě bylo využití nových technologií, především pak nového detekčního čipu Timepix. Ten na rozdíl od svého předchůdce Medipix2 2.4.3 umožňuje rozšíření naměřené informace i o časovou oblast (viz 2.4.4). To nově umožňuje provozovat detektory v módech TOA⁴ a TOT⁵.

Další změnou oproti svému předchůdci je, že každý detektor obsahuje dva detekční čipy s tloušťkami 300 μm a 500 μm , umístěné předními stranami k sobě - viz 4.1a. To přináší možnost měřit koincidence. Když částice projde oběma vrstvami detektoru a zároveň v každé nechá jisté měřitelné množství své energie, je detekována oběma vrstvami a je možné zpětně zrekonstruovat její trajektorii. Tyto koincidence se nejsnáze detekují, pokud oba Timepix čipy pracují v módu TOA - jelikož rychlost částic se blíží rychlosti světla, je vysoce pravděpodobné, že zasažené pixely budou mít stejnou hodnotu.



Obrázek 4.1: Atlas TPX detektor - vrstvy a rozmístění konvertorů

¹V průběhu LS3³ (plánováno 2017 - 2018) je plánováno rozšíření této sítě o nové detektory

²z angl. Large Hadron Collider

³z angl. long shutdown - dlouhodobá technologická přestávka LHC

⁴z angl. Time of Arrival - čas příletu částice v hodinových cyklech detektoru od začátku akvizice

⁵z angl. Time Over Threshold - počet hodinových cyklů, kdy komparační napětí je větší, než referenční (ekvivalent energie deponované částice, viz kapitola 3)

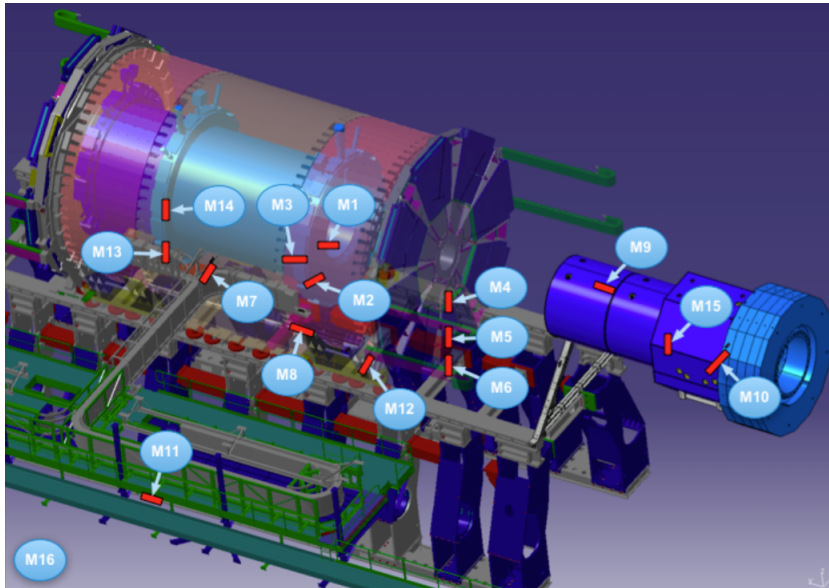
Mezi vrstvami detektoru je umístěn konvertující materiál pro detekci termálních a rychlých neutronů. Rozmístění těchto konvertorů je na obrázku 4.1b.

Hlavním úkolem Atlas TPX je online monitorování spektrální charakteristiky velice různorodého radiačního prostředí Atlas experimentu, založený na prostorovém uspořádání sítě a (vzhledem k aktuálnímu módu detektoru) i informaci o deponované energii zainteragovaných částic a časovou informaci.

Detektory, instalované blízko interakčnímu bodu, jsou rovněž použity jako monitory integrované luminozity, což je veličina, která udává počet realizovaných srážek, resp. s intenzitou svazku urychlovače. Ve [5] se uvádí, že je to veličina, která v případě srážení dvou proti sobě letících svazků ukazuje, jaký je součin počtů částic v jednotlivých svazcích prolétajících jednotkovou plochou v srážkové oblasti, vynásobený počtem obletů svazků za jednotku času (nejčastěji se vyjadřuje v jednotkách na centimetr čtvereční a sekundu).

4.1 Atlas MPX

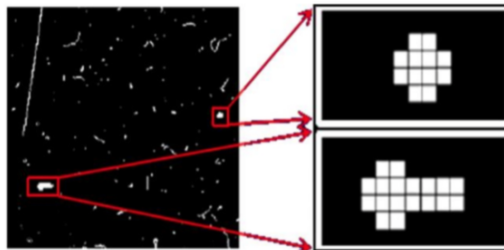
Atlas MPX[6][1] je předchůdcem detektorové sítě Atlas TPX, která v současné době je plně nahrazena. Skládala se z 16 Medipix2 detektorů, které byly instalovány na různé pozice Atlas detektoru - viz obr. 4.2. Hlavním cílem této sítě bylo měření vlastností radiačního pole uvnitř experimentu Atlas, jeho složení, spektroskopických charakteristik a částečně také přispěla k měření neutronů.



Obrázek 4.2: Atlas MPX s přehledem rozmístění detektorů

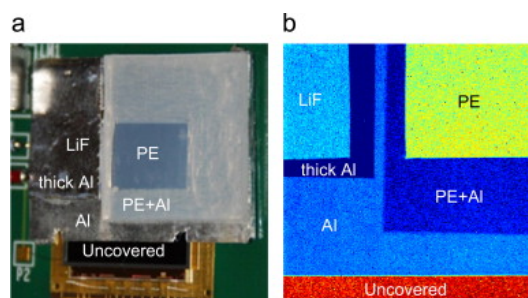
Všechny detektory operovaly v tzv. Medipix módu, který se vyznačuje tím, že v rámci jedné akvizice počítá počet částic, které interagovaly pixelovou maticí detektoru a jejichž deponovaná energie byla vyšší, než prahová. Na obrázku 4.3 je znázorněn snímek z jednoho detektoru s detailem zachycených částic. Na obrázku vpravo nahoře je částice typu heavy

blob (těžce nabitá částice, jejíž trajektorie byla kolmá s povrchem detektoru), vpravo dole je pak zachycena částice typu **heavy track** (také těžce nabitá částice, která ale přiletěla pod větším a proto zanechala větší stopu) - více klasifikaci částic se dočtete v podkapitole 2.4.5.



Obrázek 4.3: Snímek z Atlas MPX detektoru s výřezem zachycených částic (převzato z [1])

Každý z těchto detektorů byl osazen $300\ \mu\text{m}$ tlustým křemíkovým senzorem, který byl pokryt konvertory pro lepší detekční účinnost neutronů (obr. 4.4).



Obrázek 4.4: Fotografie znázorňující Medipix2 detektor s neutronovými konvertory (převzato z [6])

4.1.1 Hardwarová a softwarová architektura sítě Atlas MPX

Tato síť se skládala z 16 Medipix2 2.4.3 detektorů, které byly pomocí USB vyčítacího rozhraní FITPix 2.4.6 připojeny ke třem počítačům (z důvodu distribuce toku dat a výkonu). Na každém počítači se o komunikaci s detektory staral software Pixelman 2.4.7, který řídil akvizici dat, nastavování parametrů detektorů apod.

Pro vzdálené ovládání každého byl vyvinut plugin pro Pixelman, který umožňoval jeho rozšíření o TCP/IP ovládací vrstvu. Pomocí jednoduchého textového protokolu bylo tedy možné řídit každý ze třech uzlů. Pro tyto účely byla vyvinuta centrální řídicí aplikace [3], pomocí které bylo možné řídit akvizici všech detektorů a nastavovat jejich parametry. Tato aplikace poskytovala webové rozhraní (obr. 4.5), které díky tou dobou méně striktní CERNské politice síťové bezpečnosti bylo možné tento experiment ovládat z internetu.

Group	Status	Start	Abort
All	running all (16/16)	Start	Abort
Close	running all (8/8)	Start	Abort
Far	running all (7/7)	Start	Abort
Pixelman1	running all (5/5)	Start	Abort
Pixelman2	running all (5/5)	Start	Abort
Pixelman3	running all (6/6)	Start	Abort

Device	Status	Acquisition	Repetition	Start	Abort	Turn on/off	DAC's Panel
Pixelman1.mpx01	running	68/1000	93/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman1.mpx02	running	220/1000	93/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman1.mpx03	running	785/1000	65/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman1.mpx05	running	778/1000	65/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman1.mpx06	running	794/1000	65/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman2.mpx04	running	247/1000	67/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman2.mpx07	running	214/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman2.mpx08	running	216/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman2.mpx09	running	270/1000	15/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman2.mpx10	running	213/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx11	running	214/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx12	running	213/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx13	running	468/1000	96/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx14	running	257/1000	59/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx15	running	894/1000	106/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel
Pixelman3.mpx16	running	858/1000	8/0	Start	Abort	ON / OFF	DAC's Panel

Messages:
 26/04/2011 18:38:57: Pixelman3.mpx14: Acquisition aborted.
 28/04/2011 10:46:18: Pixelman3.mpx14: Acquisition aborted.
 29/04/2011 15:53:36: Pixelman3.mpx14: Acquisition aborted.
 30/04/2011 18:57:50: Pixelman3.mpx14: Acquisition aborted.

Obrázek 4.5: Atlas MPX - řídicí aplikace (převzato z [4])

4.2 Hardwarová architektura

Při návrhu hardwarové architektury sítě Atlas TPX musela být zohledněna zvýšená intenzita radiálního a elektromagnetického pole v okolí Atlas detektoru. Snahou proto bylo, co nejvíce hardwarových komponent umístit z dosahu tohoto pole. Z pohledu hardwarové instalace této detektorové sítě se prostory Atlas experimentu dělí na dvě části - UX15 a USA15 (viz obr. 4.6). V UX15 se nachází vlastní experiment. V tomto prostoru byly umístěny jen vlastní detektory (na obr. 4.6 TPX01 až TPX15) a zbytek sítě je instalován v USA15, kterou od zbytku experimentu dělí cca 60 m tlustá železobetonová stěna. Tady se nachází vyčítací elektronika a další nezbytný hardware.

Na obrázku 4.7 je fotografie těchto komponent. Jak již bylo zmíněno výše, detektor (z obr. 4.7, na obr. 4.6 jako TPX01 až TPX15) se skládá z dvojice detekčních čipů Timepix2, které jsou pomocí LVDS zesilovačů a cca 100 m dlouhých ethernetových kabelů propojeny se zařízením AtlasPix (obr. 4.7 dole), které vzniklo modifikací vyčítacího rozhraní FITPix 2.4.6. Toto zařízení obsahuje FPGA⁶, minipočítač Raspberry Pi a další podpůrnou elektroniku.

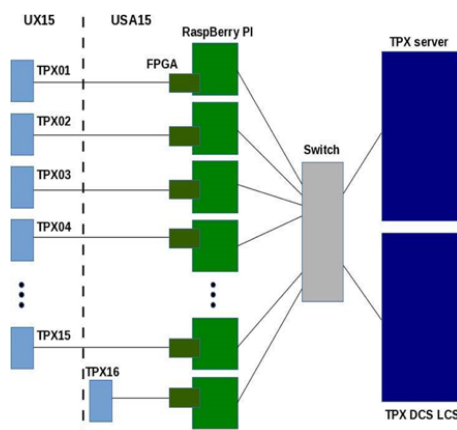
FPGA se stará o komunikaci s Timepix2 detektory, v rámci které dochází k nastavování řídicích registrů Timepix2 čipů, ovládání akvizice, vyčítání dat, řízení triggeru⁷ apod.

Dalším článkem tohoto řetězce je minipočítač Raspberry Pi, který plní dvě úlohy. Tou první je komunikace s FPGA pomocí SPI⁸ rozhraní, deserializace (získání dat ze struktury

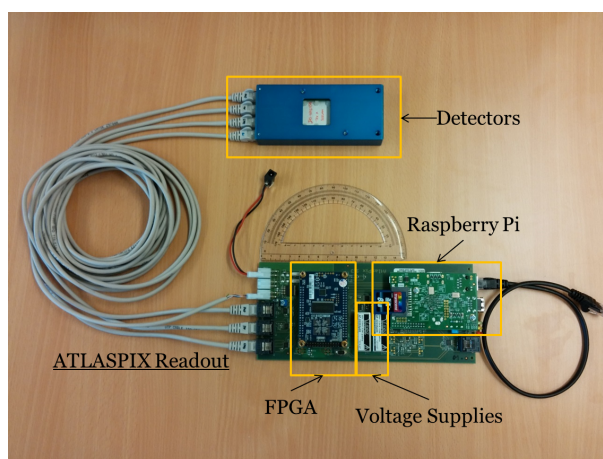
⁶ z angl. Field Programmable Gate Array (programovatelné hradlové pole)

⁷ řídicí signál, který spouští resp. zastavuje (dle konfigurace) akvizici detektoru

⁸ z angl. Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní)



Obrázek 4.6: Atlas TPX - diagram hw komponent



Obrázek 4.7: Atlas TPX - fotografie hw komponent

komunikačního protokolu) a derandomizace (není zaručena časová posloupnost) surových dat z FPGA. Druhou úlohou tohoto zařízení je poskytování API⁹ vyšším řídicím vrstvám této sítě pomocí specifikovaného komunikačního protokolu a klasického ethernetového rozhraní.

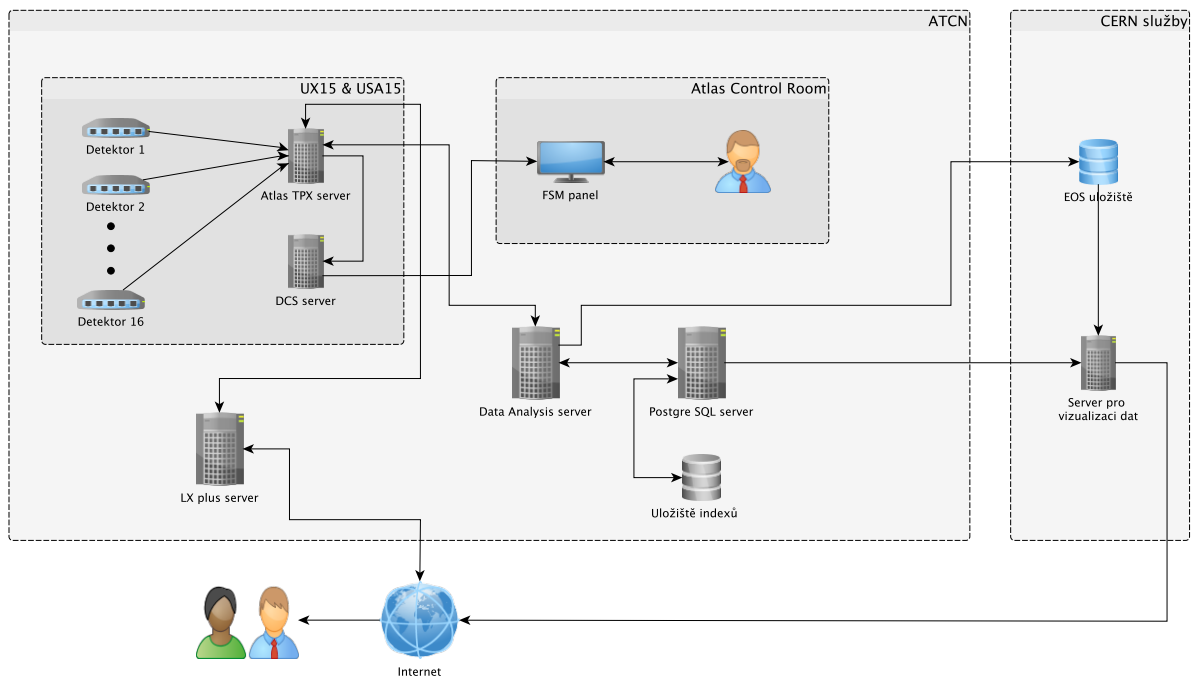
Všechny tyto zařízení jsou pomocí ethernetového switchu propojeny s TPX serverem, který je centrálním bodem této sítě, který jí pomocí řídicího softwaru 4.4 a komunikačního protokolu 4.4.1 ovládá. Zároveň je k síti připojen i TPX DCS¹⁰ server, pomocí kterého jsou různé stavové informace Atlas TPX sítě předávány CERNu, resp. Atlas experimentu. Tyto stavové informace jsou převážně hardwarového charakteru (na př. napětí, časování apod.), ale také jsou předávána data o počtu pořízených snímků, jejich okupanci apod.

⁹z angl. Application Programming Interface (aplikační programovací rozhraní)

¹⁰z angl. Data Control System

4.3 Softwarová architektura

Na obrázku 4.8 je znázorněn diagram návrhu softwarové architektury sítě Atlas TPX z pohledu jejího řízení, vizualizace dat a předávání stavových informací CERNu. Diagram je členěn do dvou základních částí - ATCN¹¹ (technická síť Atlas experimentu, která je oddělena od zbytku Atlas sítě a obsahuje systémy pro vyčítání dat a pro řízení, včetně TDAQ¹² a DSC [2]) a CERN služby, které poskytují perzistentní úložiště dat a web server pro jejich vizualizaci.



Obrázek 4.8: Atlas TPX - diagram softwarových komponent

Popis architektury z pohledu řízení: Na obrázku 4.8 se nachází Atlas TPX server, který je umístěn v serverové místnosti (USA15) Atlas experimentu, umístěné cca 100 m pod zemským povrchem. Tento server pomocí komunikačního protokolu (specifikovaném v 4.4.1) řídí činnost detektorů (nastavování parametrů, ovládání akvizice apod.). Zároveň pomocí JSON REST API poskytuje rozhraní pro své řízení a předávání stavových informací (více v 4.4.2). Díky tomuto rozhraní je možné činnost serveru řídit z ATCN sítě. Pro potřeby vzdáleného ovládání mimo síť ATCN slouží LX plus server, který zajistí spojení vytvořením SSH tunelu.

Předávání stavových informací zajišťuje DCS server, který je od Atlas TPX serveru získává pomocí jeho API. Hlavním úkolem DCS je zajištění získávání stavových informací ze všech experimentů a detektorů homogenním způsobem a interakce s LHC

¹¹z angl. ATLAS Technical Control Network

¹²z angl. Trigger and Data Aquisition (trigger a akvizice dat)

(předávání dat luminozité, stavu svazku urychlovače, radiační pozadí apod.). Tyto data jsou dále předávána do Atlas Control Room, která se nachází na povrchu. Tam jsou tato data operátorů prezentována pomocí FSM panelu, což je aplikace, která vizualizuje stromovou strukturu všech systému a detektorů Atlas experimentu. Každý list této stromové struktury (detektor, senzor atd.) má několik proměnných, z nichž každá má předem definované intervaly s příslušnými stavy (OK, WARNING, ERROR, FATAL atd.). Výhodou této struktury je, že pokud kterýkoliv list změní svůj stav, tak se tato informace propaguje přes všechny nadřazené uzly, tudíž odhalení případné chyby je pro operátory mnohem snazší.

Popis architektury z pohledu analýzy a vizualizace dat: Když kterýkoliv detektor dokončí akvizici snímku, tak vygeneruje a pošle asynchronní událost Atlas TPX serveru s informací, že data jsou připravena k vyčtení. Následně server vyčte snímek z detektoru (i s jeho metadaty), zpracuje a připojí k němu informace o nastavení detektoru. Poté je třeba data přenést do Data analysis serveru, což v principu je možné dvěma¹³ způsoby:

1. Atlas TPX server uloží získaná data v textové podobě do lokálního (či síťového) datového úložiště, odkud jsou přenesena do Data analysis serveru pomocí automatického kopírovacího skriptu.
2. Druhou možností je přenesení dat pomocí JSON REST API protokolu, který je Data analysis serverem implementován. Tento druhý způsob je výhodnější, neb minimalizuje prodlevu mezi dobou pořízení snímku a následným zpracováním Data analysis serverem a dostupnosti jeho vizualizace pomocí web serveru a zároveň přináší úsporu přenesených dat.

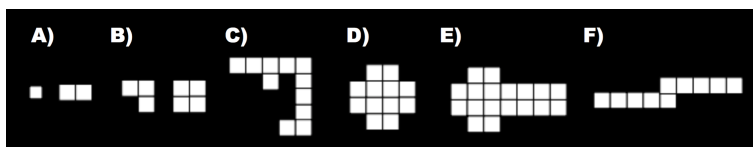
Hlavní úlohou Data analysis serveru provedení tzv. Cluter analýzy. Jde o proces, při kterém jsou z každého snímku získány shluky sousedních pixelů (tzv. clusterů), které mají nenulovou hodnotu. Z těchto clusterů, resp. z jejich tvaru a celkové deponované energie částice (pokud zasažení pixely operovaly v TOT módu) je možné zjistit typ částice, která danou událost způsobila. Na obrázku 4.9 můžete vidět 6 základních dělení clusterů, kde

- (a) je tzv. DOT, způsobený fotony, či elektrony o energii do 10 keV
- (b) je tzv. SMALL BLOB, způsobený fotony, či elektrony s energií většinou nad 10 keV
- (c) je tzv. CURLY TRACK, způsobený elektrony do 10 MeV
- (d) je tzv. HEAVY BLOBS, způsobený těžce nabitými částicemi (na př. alfa)
- (e) je tzv. HEAVY TRACK, způsobený těžce nabitými částicemi (na př. protony)
- (f) je tzv. STAIGHT TRACK, způsobený těžce nabitými částicemi (muony apod.)

Po dokončení analýzy dat, jsou data uložena do ROOT¹⁴ souborů (do souborové struktury po detektorech a hodinách). Jedná se o framework, který je vyvíjený v CERN a je

¹³V současné době je možný pouze první způsob, protože díky politice CERNské síťové bezpečnosti a dlouhými schvalovacími termíny je Data analysis server a všechny s ním související systémy (web server, databáze s indexem a vlastní úložiště dat) prozatím umístěn v ÚTEF ČVUT v Praze.

¹⁴<<https://root.cern.ch/>>



Obrázek 4.9: Cluster analýza - 6 základních typů clusterů (převzato z [4])

určený pro ukládání dat a jejich analýzu. Vygenerované soubory jsou ukládány do EOS úložiště, což je služba pro perzistentní ukládání ROOT souborů provozovaná CERN. Jelikož každý ROOT soubor má velikost řádově v jednotkách GB , jakékoliv operace nad nimi (na příklad vyhledávání) jsou velice časově náročné. Z tohoto důvodu vznikla PostgreSQL databáze s indexem na jednotlivé clustery, obsažené v ROOT souborech. Pro vizualizaci dat slouží web server, který pomocí databáze s indexem a ROOT souborů poskytuje online výsledky cluster analýzy a další informace.

4.4 Řídící software

4.4.1 Řízení detektorů

4.4.2 REST API server

4.4.3 Zpracování a ukládání dat

Kapitola 5

Závěr

Literatura

- [1] BOUCHAMI, J. et al. Estimate of the neutron fields in ATLAS based on ATLAS-MPX detectors data. *Journal of Instrumentation*. 2011, 6, 01, s. C01042. Dostupné z: <<http://stacks.iop.org/1748-0221/6/i=01/a=C01042>>.
- [2] S. Ballestrero, A. Bogdanchikov , F. Brasolin, A. C. Contescu, S. Dubrov, M. Hafeez, A. Korol , C. J.Lee, D. A. Scannicchio, M. Twomey, A. Voronkov, A. Zaytsev. *ATLAS TDAQ application gateway upgrade during LS1* [online]. 2014. [cit. 7. 5. 2016]. Dostupné z: <<https://cds.cern.ch/record/1664275/files/ATL-DAQ-SLIDE-2014-054.pdf>>.
- [3] TURECEK, D. et al. Remote control of ATLAS-MPX Network and Data Visualization. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2011, 633, Supplement 1, s. S45 – S47. ISSN 0168-9002. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2010.06.117>. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900210013070>>. 11th International Workshop on Radiation Imaging Detectors (IWORID).
- [4] TURECEK, D. Software for Radiation Detectors Medipix. Master's thesis, Czech Technical University in Prague, Czech Republic, 2011.
- [5] Vladimír Wagner. *Článek: Jak se daří urychlovači LHC* [online]. 2009. [cit. 4. 5. 2016]. Dostupné z: <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/lhc/lhc_rok2010.htm>.
- [6] VYKYDAL, Z. et al. The Medipix2-based network for measurement of spectral characteristics and composition of radiation in {ATLAS} detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2009, 607, 1, s. 35 – 37. ISSN 0168-9002. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2009.03.104>. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900209005956>>. Radiation Imaging Detectors 2008 Proceedings of the 10th International Workshop on Radiation Imaging Detectors.

Příloha A

Obsah přiloženého CD

Tato příloha je povinná pro každou práci. Každá práce musí totiž obsahovat přiložené CD. Viz dále.

Může vypadat například takto. Váš seznam samozřejmě bude odpovídat typu vaší práce...
[4] fasfassaafsaf



Obrázek A.1: Seznam přiloženého CD — příklad

Na GNU/Linuxu si strukturu přiloženého CD můžete snadno vyrobit příkazem:

```
$ tree . >tree.txt
```

Ve vzniklém souboru pak stačí pouze doplnit komentáře.

Z **README.TXT** (případně index.html apod.) musí být rovněž zřejmé, jak programy instalovat, spouštět a jaké požadavky mají tyto programy na hardware.

Adresář **text** musí obsahovat soubor s vlastním textem práce v PDF nebo PS formátu, který bude později použit pro prezentaci diplomové práce na WWW.