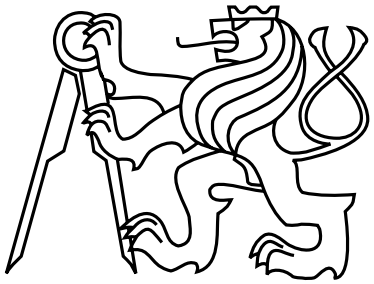
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



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

17. 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 a jeho implementace . . . 14
4.4.1 Řízení detektorů . . . 14
4.4.1.1 Komunikační protokol . . . 14
4.4.1.2 Popis příkazů komunikačního protokolu . . . 15
4.4.1.3 Synchronní a asynchronní příkazy komunikačního protokolu . . . 19
4.4.1.4 Implementace modulu pro řízení detektorů na straně serveru 21
4.4.1.5 Emulátor detektoru . . . 23
4.4.2 REST API server . . . 25
4.4.2.1 Konfigurace a spuštění serveru . . . 25
4.4.2.2 Metody poskytované serverem . . . 26
4.4.2.3 Výkonost . . . 27

4.4.3 Zpracování a ukládání dat 28
4.4.3.1 Data server 28

5 Závěr **29**

A Konfigurační soubor Atlas TPX serveru **31**

B Metody REST API serveru **35**
B.1 35

C Obsah přiloženého CD **37**

Seznam obrázků

4.1 Atlas TPX detektor - vrstvy a rozmístění konvertorů 7
4.2 Atlas TPX - přehledem rozmístění detektorů 8
4.3 Snímek z Atlas MPX detektoru s výřezem zachycených částic (převzato z [?]) 9
4.4 Fotografie znázorňující Medipix2 detektor s neutronovými konvertory (převzato z [?]) 9
4.5 Atlas MPX - řídící aplikace (převzato z [?]) 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 [?]) 14
4.10 Příklad použití komunikačního protokolu 20
4.11 Diagram tříd modulu pro ovládání detektorů 22
4.12 Emulátor detektoru - sekvenční diagram připojení klienta a pořízení snímku . 24

C.1 Seznam přiloženého CD — příklad 37

Seznam tabulek

4.1 Komunikační protokol - struktura paketů z pohledu serveru 15
4.2 Komunikační protokol - přehled příkazů 15

Seznam zdrojových kódů

A.1 Konfigurační soubor Atlas TPX serveru 33

B.1 Základní struktura výstupních dat 35

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 řízné 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 technických 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

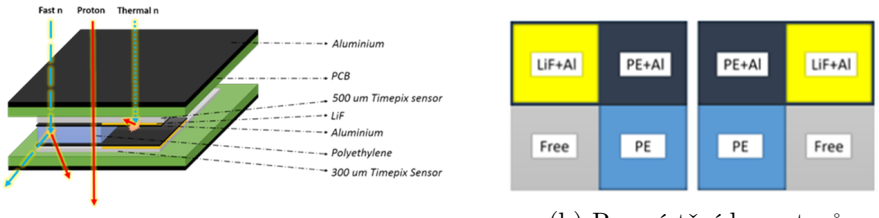
Energetická kalibrace

Kapitola 4

Atlas TPX

Atlas TPX, síť 16[1] hybridních částicových pixelových detektorů typu Timepix 2.4.4, nainstalovaných na různé pozice experimentu Atlas na LHC[2] v CERN během LS2[3] (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 TOA[4] a TOT[5].

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.



(a) Vrstvy detektoru

(b) Rozmístění konvetorů

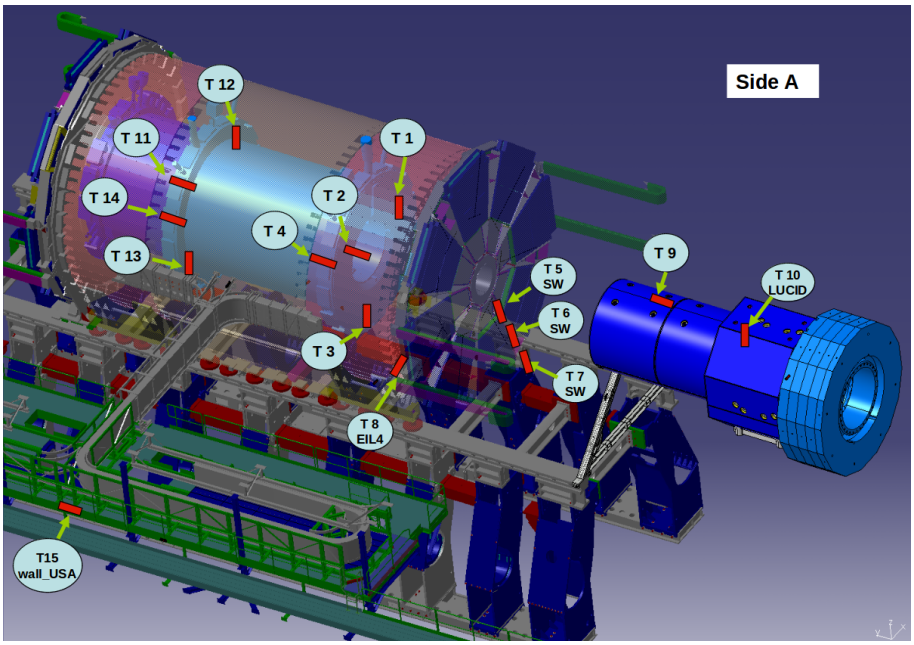
Obrázek 4.1: Atlas TPX detektor - vrstvy a rozmístění konvertorů

[1] V průběhu LS3[3] (plánováno 2017 - 2018) je plánováno rozšíření teto sítě o nové detektory
[2] z angl. Large Hadron Collider
[3] z angl. long shutdown - dlouhodobá technologická přestávka LHC
[4] z angl. Time of Arrival - čas příletu částice v hodinových cyklech detektoru od začátku akvizice
[5] z angl. Time Over Treshold - 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 experimentu je online monitorování spektrálních charakteristik velice různorodého radiačního prostředí Atlas experimentu, založené na prostorovém uspořádání sítě a (vzhledem k aktuálním módu detektoru) i na informaci o deponované energii zainteragovaných částic, či na času jejich interakce.

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. Podle [?] 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).



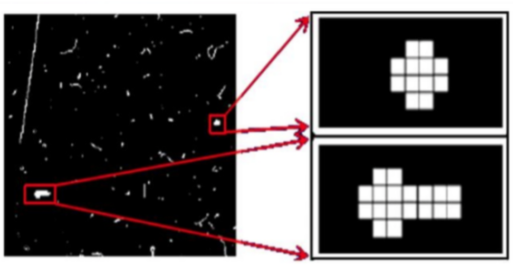
Obrázek 4.2: Atlas TPX - přehledem rozmístění detektorů

4.1 Atlas MPX

Atlas MPX[?][?] je předchůdcem detektorové sítě Atlas TPX, který je v současné době plně nahrazen. Detektorová síť Atlas MPX se skládala z 16 Medipix2 detektorů, které byly instalovány na různé pozice Atlas detektoru. Hlavním cílem této sítě bylo měření vlastností radiačního pole uvnitř experimentu Atlas, jeho složení, spektroskopických charakteristik a částečně také přispěla k měření neutronů.

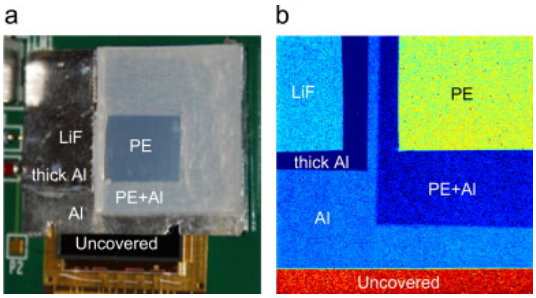
Všechny detektory operovaly v tzv. `Medipix módu`, který se vyznačuje tím, že v rámci jedné akvizice počítá počet částic, které interagovaly pixelovou maticí detektoru a jejichž deponovaná energie byla vyšší, než prahová. Na obrázku 4.3 je znázorněn snímek z jednoho

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 4.3.



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

Každý z těchto detektorů byl osazen 300 μm tlustým křemíkovým senzorem, který byl pokryt konvertory pro lepší detekční účinnost neutronů (obr. 4.4).

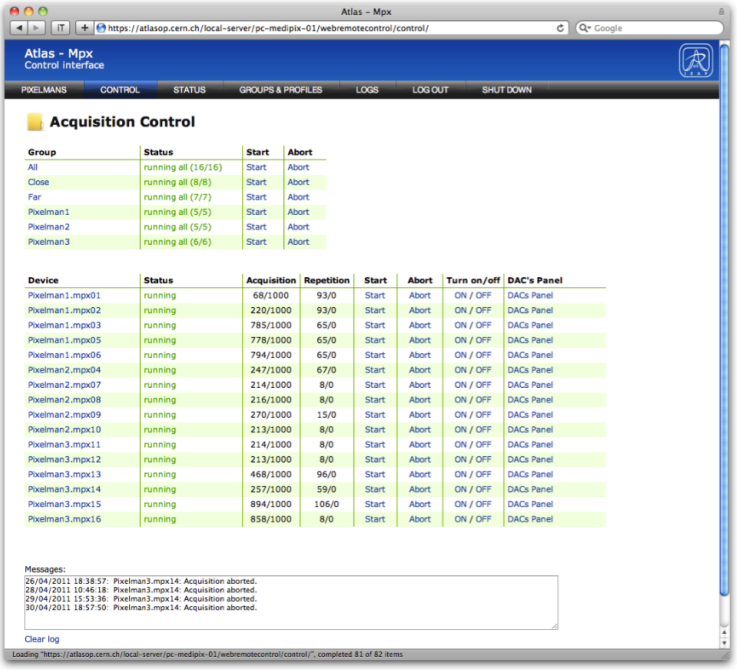


Obrázek 4.4: Fotografie znázorňující Medipix2 detektor s neutronovými konvertory (převzato z [**?**])

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 obládání 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 řídící aplikace [**?**], pomocí které bylo možné řídit 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 odkudkoliv z internetu.



Obrázek 4.5: Atlas MPX - řídící aplikace (převzato z [**?**])

4.2 Hardwarová architektura

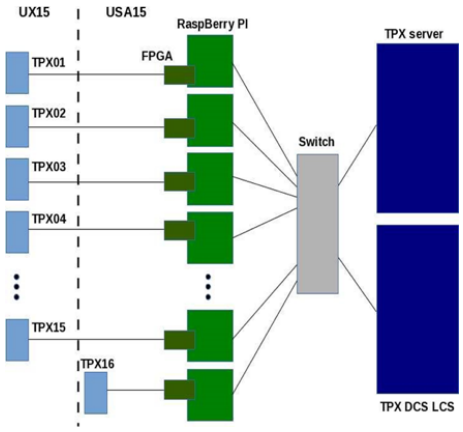
Při návrhu hardwarové architekty sítě Atlas TPX musela být zohledněna zvýšená intenzita radiačního a elektromagnetického pole v prostorách Atlas detektoru. Snahou proto bylo, co nejvíce hardwarových komponent umístit z dosahu tohoto pole. Z pohledu hardwarové instalace této detektorové sítě se prostory 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 detektory (na obr. 4.6 `TPX01` až `TPX15`) a zbytek sítě byl 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 `Timepix`, 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 `FPGA`[6], minipočítač `Raspberry Pi` a další podpůrnou elektroniku.

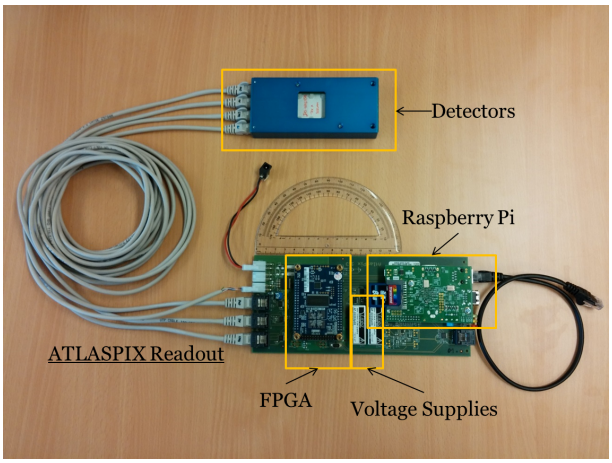
`FPGA` se stará o komunikaci s `Timepix` detektory, v rámci které dochází k nastavování řídících registrů `Timepix` čipů, ovládání akvizice, vyčítání dat, řízení triggeru[7] apod.

Dalším článkem tohoto řetězce je minipočítač `Raspberry Pi`, který plní dvě úlohy. Tou první je komunikace s `FPGA` pomocí `SPI`[8] rozhraní a deserializace (získání dat ze struktury

[6] z angl. Field Programmable Gate Array (programovatelné hradlové pole)
[7] řídící 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

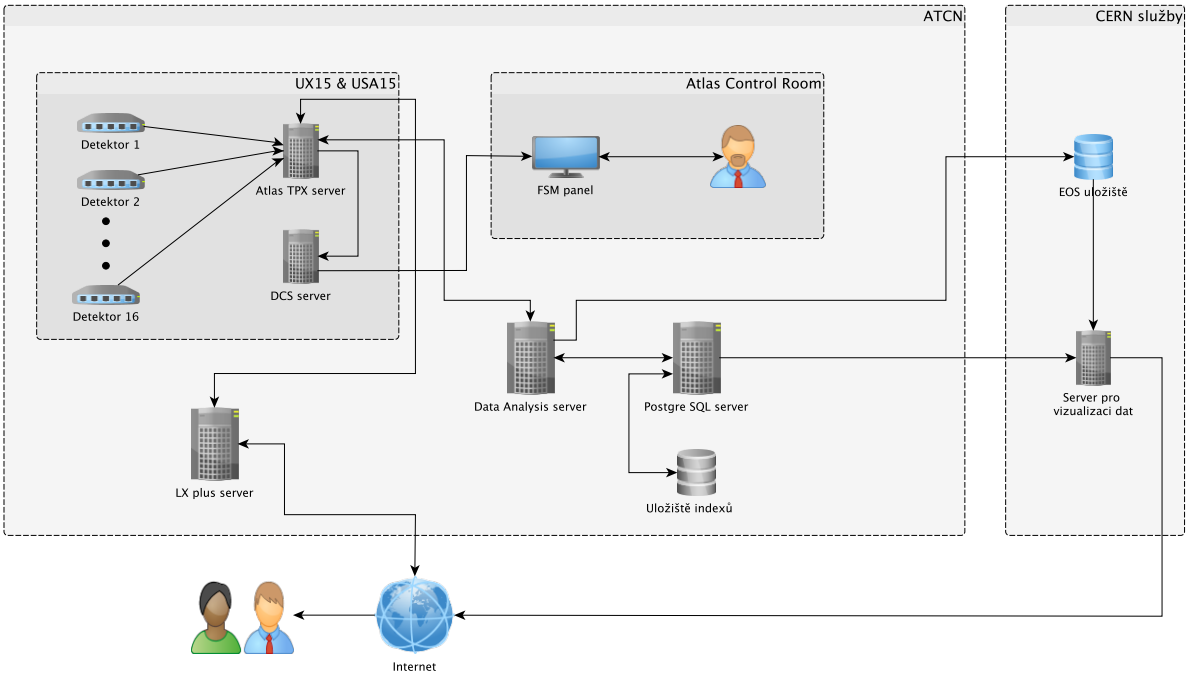
komunikačního protokolu) a derandomizace (není zaručena časová posloupnost) surových dat z `FPGA`. Druhou úlohou tohoto zařízení je poskytování API[9] vyšším řídícím vrstvám této sítě pomocí specifikovaného komunikačního protokolu a klasického ethernetového rozhraní.

Všechny tyto zařízení jsou pomocí ethernetového switche propojeny s `TPX serverem`, centrálním bodem této sítě, který jí pomocí řídícího softwaru 4.4 a komunikačního protokolu 4.4.1 ovládá. Zároveň je k síti připojen i `TPX DCS`[10] `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.

[9] z angl. Application Programming Interface (aplikační programovací rozhraním)
[10] z 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 - ATCN[11] (technická síť Atlas experimentu, která je oddělena od zbytku Atlas sítě a obsahuje systémy pro vyčítání dat a pro řízení, včetně TDAQ[12] a DSC [**?**]) 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

[11] z angl. ATLAS Technical Control Network
[12] z angl. Trigger and Data Aquisition (trigger a akvizice dat)

(předávání dat luminozitě, stavu svazku urychlovače, radiační pozadí apod.). Tato 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 dvěma[13] 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 následném zpracováním Data analysis serverem a dostupnosti jeho vizualizace pomocí web serveru a zároveň přináší úsporu objemu přenesených dat.

Hlavní úlohou Data analysis serveru je 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 vetšinou 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)

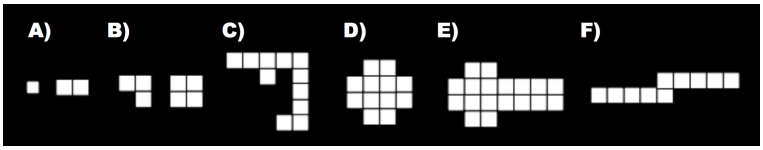
(e) je tzv. HEAVY TRACK, způsobený těžce nabitými částicemi (na př. protony)

(f) je tzv. STAIGHT TRACK, způsobený těžce nabitými částicemi (muony apod.)

Po dokončení analýzy dat, jsou data uložena do ROOT[14] souborů (do souborové struktury po detektorech a hodinách). ROOT je framework, který je vyvíjen v CERN a je určený pro

[13] V 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 [**?**])

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 a jeho implementace

Tato kapitola je věnována návrhu a implementaci řídícího software sítě Atlas TPX, který je nasazen na Atlas TPX serveru (viz obr. 4.8). Úkolem tohoto software se zajištění komunikace s detektory, zejména pak řízení akvizice, nastavování parametrů a vyčítání dat - tato komunikace bude popsána v kapitole 4.4.1. Další úlohou tohoto software je poskytování rozhraní pro řízení své činnosti a pro předávání stavových informací o Atlas TPX síti. Toto rozhraní je implementováno pomocí `JSON REST API` a detailně bude popsáno v kapitole 4.4.2.
TODO

4.4.1 Řízení detektorů

Jak již bylo zmíně výše, detektor se skládá ze dvou `Timepix` detekčních čipů, `FPGA` a minipočítače `Raspberry Pi`, který implementuje komunikační protokol, díky kterému umožňuje řídícímu software ovládání činnosti detektoru. V podkapitole 4.4.1.1 naleznete popis tohoto komunikačního protokolu.

4.4.1.1 Komunikační protokol

Tabulka 4.1 znázorňuje strukturu komunikačního rámce (tzv. paketu) tohoto protokolu pomocí posloupnosti bytů z pohledu Atlas TPX serveru, resp. z pohledu řídícího software. V horní části se nachází struktura odchozího paketu, kde:

0x55 [15] je tzv. `START BYTE`, který značí začátek paketu,

CMD je typ příkazu (tzv. `COMMAND TYPE`) - viz tabulka přehledu příkazů 4.2,

[15] značení v hexadecimální soustavě

SIZE 1..4 je pole vždy o velikosti čtyřech bytů značících velikost (resp. počet bytů) položky `DATA`, zakódovaných v `BIG ENDIAN`,

DATA 1 .. DATA n je pole vlastních přenesených dat o velikosti n,

0xAA `STOP BYTE`, který značí konec paketu.

Struktura odchozího paketu je velice podobná, až na byte `ERR`, který oproti příchozího paketu obsahuje. Tento byte může nabývat hodnoty 0x00 (když zpracování požadavku serveru detektorem proběhlo bet chyby), nebo 0x01 (jinak).

0x55	CMD	SIZE 1	SIZE 2	SIZE 3	SIZE 4	DATA 1 .. DATA n	0xAA	} odchozí paket
0x55	CMD	ERR	SIZE 1	SIZE 2	SIZE 3	SIZE 4	DATA 1 .. DATA n	0xAA	} příchozí paket

Tabulka 4.1: Komunikační protokol - struktura paketů z pohledu serveru

Hodnota příkazu	**Název příkazu**
0x01	Ping
0x02	Get status of the detector
0x03	Reset of the device
0x04	Set Bias and Timepix Clock
0x05	Get Bias and Timepix Clock
0x06	Set Pixel Configuration
0x07	Get Pixel Configuration
0x08	Set DAC
0x09	Get DAC
0x0A	Perform Digital Test
0x0B	Perform Acquisition
0x0C	Readout Measured Data
0x0D	Direct FITPix Command
0x0E	Stop acquisition
0xFD	Asynchronous Event from device
0xFE	Reboot device
0xFF	Shut down

Tabulka 4.2: Komunikační protokol - přehled příkazů

4.4.1.2 Popis příkazů komunikačního protokolu

Následuje struční popis příkazů komunikačního protokolu z pohledu obsahu vlastních přenesených dat odchozího a příchozího paketu (viz tabulka 4.1)

0x01 - Ping : Příkaz pro ověření spojení s detekorem. Na základě rozdílu času odeslání a přijetí paketu je vypočtena prodleva spojení v *ns* (tzv. ping)

Odchozí data: nic

Příchozí data: nic

0x02 - Get status of the detector : Příkaz pro zjištění stavu detektoru.

Odchozí data: nic

Příchozí data (2 *B*): GST MST

- GST - General Status (obecný status)
  - 0x00 - Ok
  - 0x01 - Chyba detekčního čipu
  - 0x02 - Obecná chyba
- MST - Measurement Status (měřící status)
  - 0x00 - Nečinný
  - 0x01 - Probíhá akvizice
  - 0x02 - Čekání na trigger
  - 0x03 - Data připravena k vyčtení
  - 0x04 - Chyba akvizice

0x03 - Reset of the device : Tento příkaz slouží pro vyresetování `FPGA` a dalších řídících struktur detektoru.

Odchozí data: nic

Příchozí data: nic

0x04 - Set Bias and Timepix clock : Příkaz nastavující napětí (Bias) na obou Timepix čipech a jejich meřící frekvenci (Timepix clock)

Odchozí data (24 *B*): BIAS1(8 *B*) BIAS2(8 *B*) CLK(8 *B*)

- BIAS1, BIAS2 - hodnota napětí pro Timepix čipy (zakódovaná jako 64-bitové double-precision číslo dle standartu `IEEE 754`)
- CLK - Měřící frekvence obou Timepix čipů (zakódovaná jako 64-bitové double-precision číslo dle standartu `IEEE 754`)

Příchozí data: nic

0x05 - Get Bias and Timepix clock : Příkaz pro vyčtení úrovně napětí z obou Timepix čipů a jejich meřící frekvenci

Odchozí data: nic

Příchozí data (24 *B*): BIAS1(8 *B*) BIAS2(8 *B*) CLK(8 *B*)

- BIAS1, BIAS2 - hodnota napětí pro Timepix čipy (zakódovaná jako 64-bitové double-precision číslo dle standartu `IEEE 754`)
- CLK - Měřící frekvence obou Timepix čipů (zakódovaná jako 64-bitové double-precision číslo dle standartu `IEEE 754`)

0x06 - Set Pixel Configuration : Příkaz pro nastavení konfigurace pro každý pixel detektoru

Odchozí data ($(1 + (65536\ nebo\ 2 * 65536))\ B$)**:** TYPE(1 B) PIXCFG((65536 *nebo* 2∗ 65536) B)

- TYPE - Výběr čipu, pro který je konfigurace určena
  - 0x00 - Konfigurace určena oboum čipům (délka PIXCFG je $2 * 65536\ B$)
  - 0x01 - Konfigurace určena prvnímu čipu (délka PIXCFG je 65536 B)
  - 0x02 - Konfigurace určena druhému čipu (délka PIXCFG je 65536 B)
- PIXCFG - Pole konfiguračních bytů (každý byte je pro jeden pixel) pro jednotlivé pixely. Délka tohoto pole je závyslá na parametru TYPE. Struktura bytu pro konfiguraci pixelu je následovná:
  MASK_BITE(1 b) TEST_BITE(1 b) THL(4 b) MODE(2 b)
  - MASK_BITE - Pixel je aktivní při hodnotě 1, zamaskovaný při 0.
  - TEXT_BITE - **TODO**
  - THL - Tyto čtyři bity udávají číslo od 0 do 15, které je použito pro posun globální hodnoty THL
  - MODE - Mód pixelu (0 - Medipix, 1 - Time-Over-Treshold, 2 One-Hit, 3 - Time-of-Arrival)

Příchozí data: nic

0x07 - Get Pixel Configuration : Příkaz pro vyčtení konfigurace pixelů detektoru.

Odchozí data (1 B)**:** TYPE - Výběr čipu, pro který je konfigurace určena (viz předchozí příkaz)

Příchozí data ($(65536\ nebo\ 2 * 65536)\ B$)**:** PIXCFG (viz předchozí příkaz)

0x08 - Set DAC : Příkaz pro nastavení hodnot DAC převodníků detektoru.

Odchozí data (3 B)**:** DAC_IDX DAC_VAL DAC_VAL

- DAC_IDX - DAC index
- DAC_VAL - DAC hodnota

Příchozí data: nic

0x09 - Get DAC : Příkaz pro vyčtení hodnoty DAC převodníků detektoru.

Odchozí data (1 B)**:** DAC_IDX

- DAC_IDX - DAC index

Příchozí data (2 B)**:** DAC_VAL DAC_VAL

- DAC_VAL - DAC hodnota

0x0A - Perform Digital Test : Příkaz pro vykonání testu digitálních částí detektoru.

Odchozí data: nic

Příchozí data (3 B)**:** BPC BPC BPC

- BPC - Počet chybných pixelů detektoru

0x0B - Perform Acquisition : Příkaz pro zahájení akvizice snímku/snímků.

Odchozí data (13 B**):** ACQTM(8 B) ACQCNT(4 B) TGRMOD

- ACQTIM - Akviziční čas v sekundách (zakódovaný jako 64-bitové double-precision číslo dle standartu `IEEE 754`).
- ACQCNT - Počet snímku (pokud je 0, detektor bude opakovat akvizici s těmito parametry až do její zastavení)
- TRIGMOD - Mód triggeru
  - 0x00 - bez triggeru
  - 0x01 - akvizice zahájena na signál triggeru
  - 0x02 - akvizice ukončena na signál triggeru

Příchozí data: nic

0x0C - Read Measured Data : Tento příkaz slouží pro vyčtení naměřených dat z detektoru.

Odchozí data (6 B**):** DET TYPE FRAME_ID FRAME_ID FRAME_ID FRAME_ID

- DET - selektor Timepix čipu
  - 0x00 - oba čipy
  - 0x01 - jen první čip
  - 0x02 - jen druhý čip
- TYPE - typ vyčítaných dat
  - 0x00 - deserializovaný a derandomizovaný snímek
  - 0x01 - surová data z FPGA
  - 0x02_ID - metadata k danému snímku (akviziční čas, napětí apod.)
- FRAME_ID - ID naměřeného snímku

Příchozí data: Velikost a typ příchozích dat se liší dle použitých parametrů DET a TYPE

- Pro TYPE 0x00 přijde pole bytů hodnot čítačů jednotlivých pixelů (hodnota každého pixelu je reprezentována pomocí dvou bytů)
- Pro TYPE 0x01 přijdou blíže nespecifikovaná surová data z FPGA
- Pro TYPE 0x02 přijdou metadata, vázající se k danému snímku s následující strukturou:
  - UNIX časové razítko začátku akvizice $[ms]$ (5 B)
  - Bias1 - měřící napětí prvního čipu $[V]$ (8 B, double-precision dle `IEEE 757`)
  - Bias2 - měřící napětí druhého čipu $[V]$ (8 B, double-precision dle `IEEE 757`)
  - Měřící frekvence $[Hz]$ (8 B, double-precision dle `IEEE 757`)
  - Doba akvizice $[s]$ (8 B, double-precision dle `IEEE 757`)

0x0D - Direct FPGA Command : Příkaz pro přímé poslání dat do FPGA a získání odpovědi.

Odchozí data: Dle použitého příkazu

Příchozí data: Dle použitého příkazu

0x0E - Stop acquisition : Příkaz pro zastavení aktuálně probíhající akvizice.

Odchozí data (1 *B*): TYPE

- TYPE: Typ zastavení
  - 0x00 - Zastavení akvizice po dokončení aktuálně pořizovaného snímku
  - 0x01 - Bezprostřední zastavení akvizice

Příchozí data: nic

0xFD - Asynchronous Event From Device : Tento typ příkazu je asynchronní a detektor ho posílá samovolně dle nastalé události - na příklad dokončení akvizice.

Příchozí data (5 *B*): EVID VAL VAL VAL VAL

- EVID - Typ nastalé události (na př. 0x00 pro událost dokončení akvizice)
- VAL - Doplňující data (na př. ID snímku pro událost dokončení akvizice)

0xFE - Reboot of the Device : Příkaz pro restartování detektoru.

Odchozí data: nic

Příchozí data: nic

0xFF - Shutdown of the Device : Příkaz pro vypnutí detektoru.

Odchozí data: nic

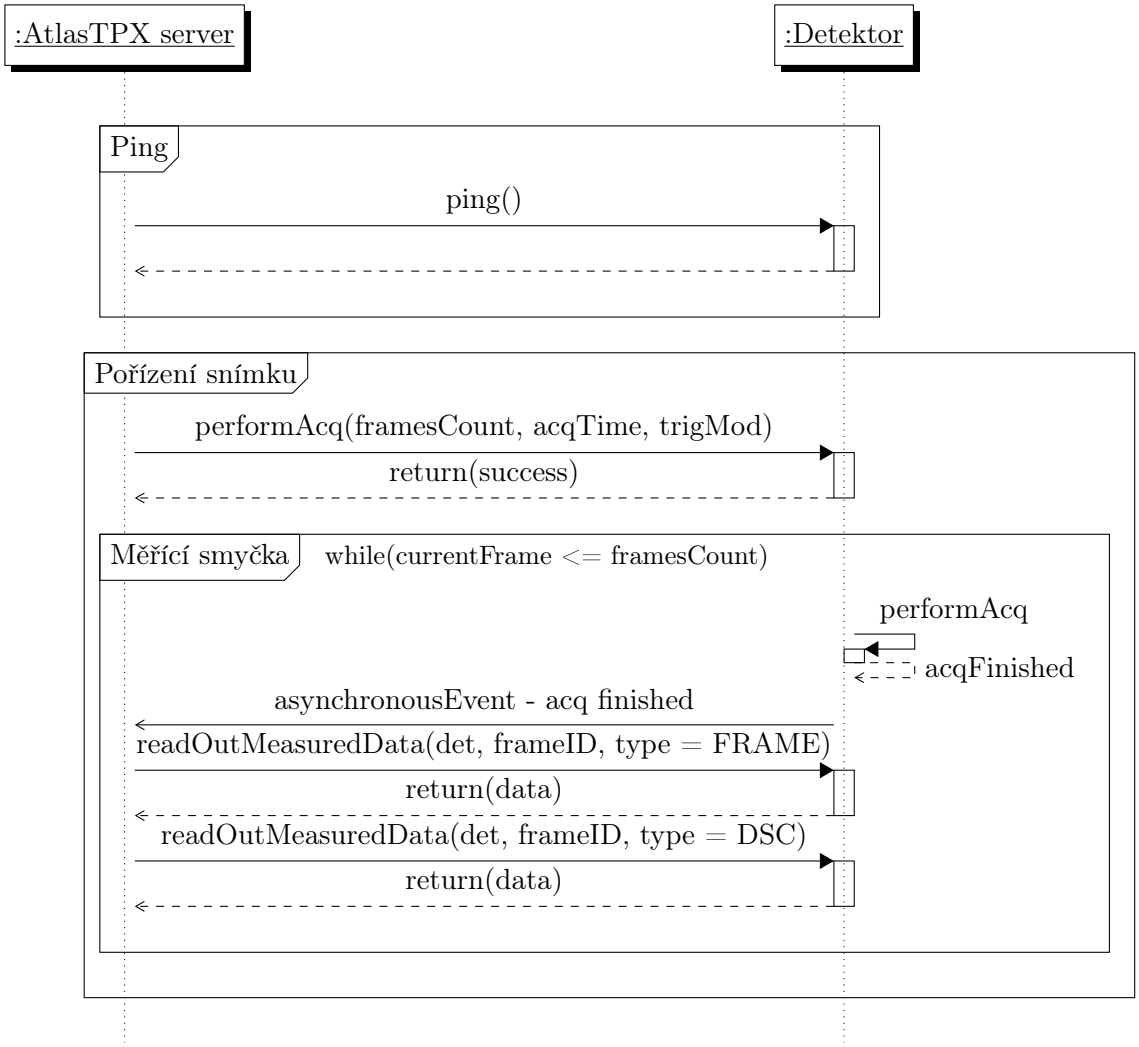
Příchozí data: nic

4.4.1.3 Synchronní a asynchronní příkazy komunikačního protokolu

Téměř všechny příkazy komunikačního protokolu jsou synchronní, tzn. server vyšle odchozí paket (s typem příkazu a jeho daty), který detektor zpracuje a bezprostředně vygeneruje a pošle odchozí paket (s příslušnými daty, typem příkazu a informací, zda-li při jeho zpracování došlo k chybě). Příkladem této synchronní komunikace je příkaz ping na obrázku 4.10 nahoře.

Vedle synchronních příkazů existuje i jeden asynchronní - `0xFD - Asynchronous Event From Device`. V současné verzi komunikačního protokolu je tento příkaz využit jen pro oznámení serveru, že detektor dokončil akvizici a má data připravena k vyčtení.

Na obrázku 4.10 je znázorněn příklad kombinace synchronní a asynchronní komunikace pro pořízení snímku. Nejprve server vyšle synchronní příkaz s žádostí o provedení akvizice (s parametry: doba akvizice, počet snímků a mód triggeru) na který hned dostane odpověď. Následuje vyčítací smyčka - detektor udělá akvizici snímku (pokud již všechny neudělal) a



Obrázek 4.10: Příklad použití komunikačního protokolu

vyšle serveru asynchronní příkaz s kódem právě dokončené akvizice a s ID[16] snímku. Tuto asynchronní zprávu server zachytí a provede vyčítací sekvenci (pomocí příkazu `0x0C - Read Measured Data`), jejíž kroky se mohou lišit dle konfigurace. Ve výchozím nastavení tato sekvence vypadá následovně:

1. Vyčtení vlastního snímku (hodnot jednotlivých pixelů).

2. Vyčtení metadat (tzv. `DSC`). Tato data obsahují dodatečné informace ke snímku, jako na příklad přesnou dobu akvizice, čas začátku akvizice a měřící napětí a frekvenci Timepix čipů.

[16] unikátní číslo snímku od spuštění detektoru

4.4.1.4 Implementace modulu pro řízení detektorů na straně serveru

V této podkapitole bude popsána implementace řízení detektorů v řídícím softwaru sítě Atlas TPX. Celý software byl implementován v jazyce `JAVA` za pomoci build nástroje `Maven`[17] a knihoven `Dropwizard`[18], `Retrofit`[19] a `RxJava`[20].

Jak již bylo zmíněno výše, detektory jsou připojeny k Atlas TPX serveru přes ethernetové rozhraní a pomocí TPC/IP protokolu je vlastní komunikace realizována pomocí výše popsaného komunikačního protokolu. Z pohledu navazování spojení byla použita architektura klient-server tak, že detektor plní roli serveru a Atlas TPX server zase klienta. Tato architektura bylo použita s ohledem na robustnost a stabilitu této sítě a aby úloha navazování spojení zůstala v kompetenci Atlas TPX serveru. Když by na příklad došlo k přerušení napájení nebo jiné chybě jednoho z detektorů, Atlas TPX server by nebyl schopen se pokusit o znovu navázání spojení.

Na obrázku 4.11 můžete vidět diagram tříd modulu pro práci s detektory řídícího softwaru. Tento diagram není úplný a obsahuje jen několik nejdůležitějších tříd, zbytek je k nalezení na přiloženém CD.

Při návrhu tohoto modulu bylo vycházeno z návrhového vzoru Model-View-Controller [**?**], resp. z jeho modifikace Model-Controller, protože tento modul žádnou prezentační vrstvu nemá.

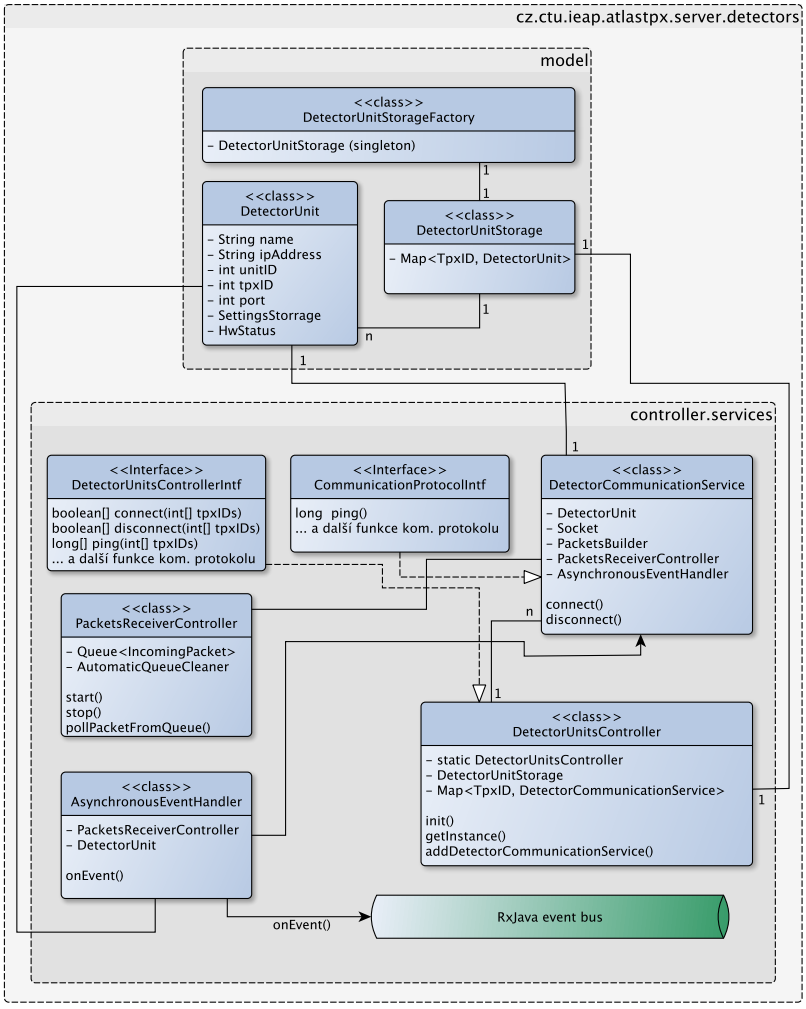
Začněme popisem balíčku `model`. Jeho nejdůležitější třídou je třída `DetectorUnit`, která uchovává všechny informace o jednom detektoru, jako na příklad název, tpxID, unitID, ip adresu, port, `SettingsStorage` (úložiště nastavení detektoru, jako na příklad bias, clock, parametry akvizice, DAC hodnoty atd.) a `HwStatus` (tento objekt nese informace o posledních naměřeních údajích získaných z detektoru, jako třeba aktuální hodnoty bias, ping, obecný a měřící status apod.).

Pro uchovávání všech instancí třídy `DetectorUnit` slouží singleton [**?**] třída `DetectorUnit Storage`, která tyto instance uchovává v kolekci HashMap, jejímž klíčem je TpxID (Integer). Instanci tohoto singletonu je možné získat pomocí třídy `DetectorUnitStorageFactory`, resp. pomocí její statické metody `getStorage()`. Před prvním použití je třeba nejprve toto úložiště inicializovat pomocí statické metody `DetectorUnitStorageFactory.initStorage(String initFilePath)`, které se coby parametr předá cesta v souborovém systému k "*.csv"souboru s tabulkou s detektory. Každý řádek tohoto souboru reprezentuje jeden detektor a je v následujícím formátu:

název_detektoru;ip_adresa;unit_id;tpx_id;port

V balíčku `controller.services` se nachází vlastní logika tohoto modulu. Třída `Detector CommunicationService` se stará o vlastní komunikaci s detektorem (jedna instance = jeden detektor). Tato třída obsahuje instanci třídy `DetectorUnit` (předané v konstruktoru), která mimo jiné obsahuje IP adresu a port příslušného detektoru. Tyto parametry se používají v metodě `connect()`, ve které se vytvoří spojení s detektorem (socket, BufferedOutputStream, BufferedInputStream apod.). Pro odpojení detektoru zase slouží metoda `dicconnect()`.

[17] <https://maven.apache.org/>
[18] <http://www.dropwizard.io>
[19] <http://square.github.io/retrofit/>
[20] <https://github.com/ReactiveX/RxJava>



Obrázek 4.11: Diagram tříd modulu pro ovládání detektorů

Krom metod pro síťovou komunikaci obsahuje i všechny metody implementované z interface `CommunicationProtocolIntf` - všechny synchronní metody komunikačního protokolu.

Pro příjem příchozích paketů z detektoru vznikl `PacketsReceiverController`. Ten ve vlastním vlákně vyčítá proud bytů, přicházejících z detektoru a následně provádí jejich parsování, jehož výsledkem je instance objektu `IncomingPacket`, které obsahuje typ příkazu, příznak chyby a vlastní data. Takto vzniklý paket je zařazen do fronty příchozích paketů detektoru (implementované jako `ConcurrentLinkedQueue<IncomingPacket>`). Nad touto frontou pracují jednak všechny metody se synchronními příkazy komunikačního protokolu (které sledují, zda-li se v ní v daném časovém intervalu objeví odpověď), ale také instance objetu `AsynchronousEventHandlerController`. Ten ve vlastním vlákně tuto frontu sleduje a objeví-li se paket s typem příkazu `0xFD (Asynchronous Event From Device)`, tak ho z fronty odebere, jeho vlastní data rozparsuje a dále zpracuje. Pokud se na příklad jedná o událost dokončené akvizice, tak `ReadOutService` snímek z detektoru vyčte a pomocí `RxJava event`

bus vyšle asynchronní zprávu napříč celou aplikací s vyčteným snímkem. Zde byl použit návrhový vzor Producer - Consumer, kde AsynchronousEventHandlerController představuje Producer a na kterémkoliv jiném místě aplikace se Consumer (možno i více Consumerů) muže zaregistrovat ke sledování událostí v event bus. Příkladem takového Comsumera může být FrameSaverController, který se postará o uložení získaného snímku (viz kapitola 4.4.3).

Aby bylo možné pohodlně ovládat více detektorů současně, vznikl DetectorUnitsController. Ten implementuje interface DetectorUnitsControllerIntf, jehož metody pokrývají veškerou funkcionalitu detektoru, jako třeba metody k navázání a ukončení spojení, ale také všechny metody komunikačního protokolu. Všechny tyto metody mají jeden společní parametr - int[] tpxIDs (pole TpxID detektorů). Tento parametr určuje, nad kterými detektory se má daná metoda hromadně vykonat. Jejich výstupem je zase pole, jehož typ se liší dle příkazu (na příklad pro metodu connect je to pole boolean proměnných - značící úspěch připojení, pro ping zase double čísel, udávajících odezvu spojení v *ns*). Tento objekt je zase typu singleton a jeho instanci lze získat pomocí metody getInstance(). Po spuštění aplikace je však třeba tento singleton nainicializovat pomocí metody init(), která pomocí DetectorUnitStorageFactory vytvoří datovou strukturu s DetectorCommunicationService jednotlivých detektorů.

4.4.1.5 Emulátor detektoru

Pro účely vývoje a testování řídícího software pro Atlas TPX server byl vyvinut emulátor detektoru, který plně emuluje jeho činnost. Emulátor byl rovněž napsán v jazyce JAVA a jeho zdrojové kódy a spustitelný jar soubor naleznete na přiloženém CD.

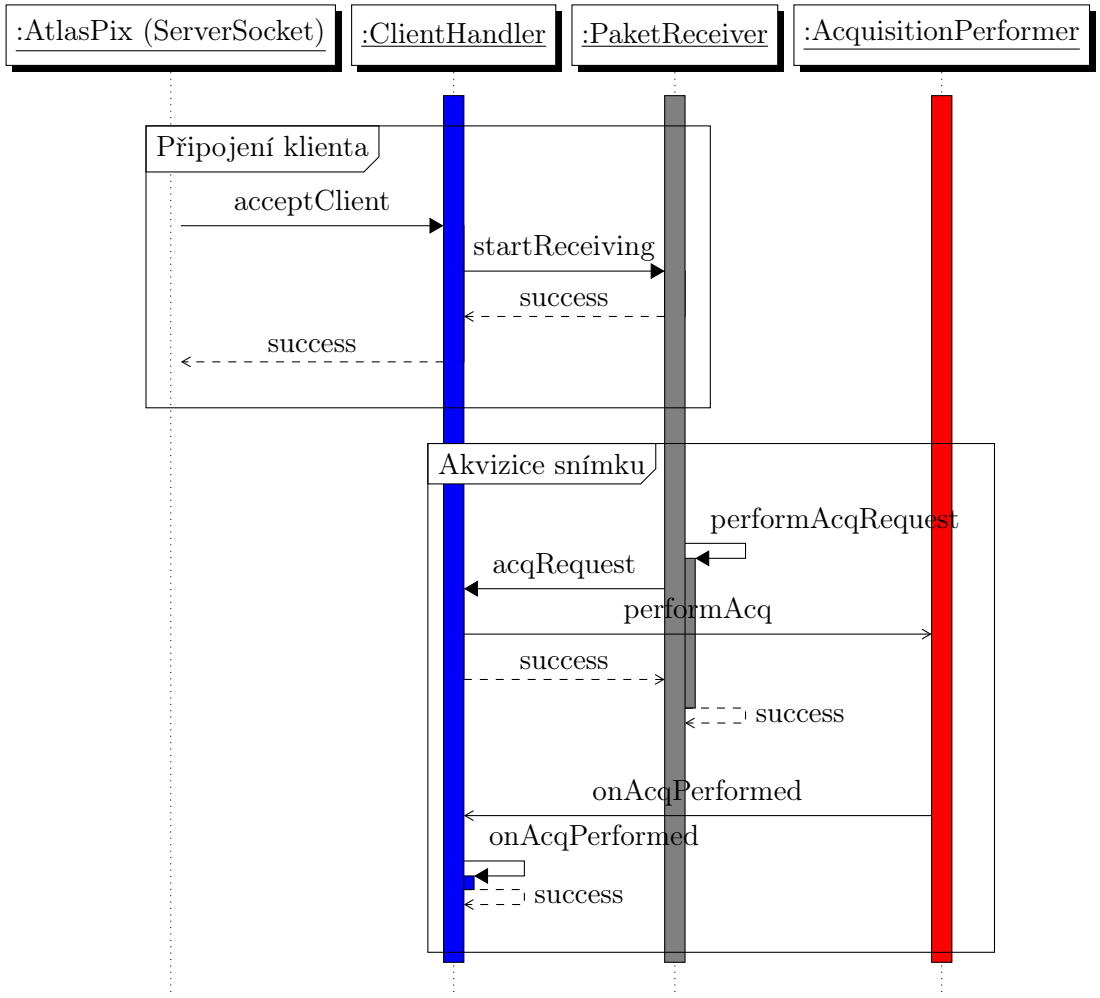
Emulátor se spouští se dvěma povinnými parametry, kde

1. je port, na kterém server emulátoru naslouchá (celé číslo),
2. je pravděpodobnost, s jakou při zpracovávání požadavku bude simulována chyba - 0 znamená bez chyb, 1 samé chyby (desetinné číslo).

Na obrázku 4.12 je zobrazen sekvenční diagram dvou případů užití tohoto emulátoru. První případ užití znázorňuje připojení klienta (na př. Atlas TPX serveru) a druhý pak proces zpracování žádosti o snímek a jeho vygenerování.

Pojďme si nyní popsat první část - připojení klienta. Ve třídě AtlasPix, resp. v její metodě startServer() se nachází nekonečná smyčka, ve které je pomocí instance třídy ServerSocket navázáno spojení s novými klienty. Když spojení s klientem je navázáno, je vytvořen klientský socket, pomocí kterého dojde v vytvoření instance třídy ClientHandler. Ta se v samostatném novém vláknu stará o obsluhu nově připojeného klienta. Zároveň ClientHandler vytvoří instanci třídy PaketReceiver, který čte proud bytů přijatých od klienta a parsuje jej do objektů typu IncomingPacket.

Tím se dostáváme k druhému příkladu případu užití - akvizici snímku. Poté, co PaketReceiver přijme nový paket, tak ho vloží do fronty paketů. Tuto frontu z druhé strany čte a zpracovává ClientHandler. Všechny příchozí pakety od klienta mohou obsahovat jen synchronní příkazy komunikačního protokolu, takže může být okamžitě nasimulován příslušný stav emulátoru a vygenerována odpověď klientovi.



Obrázek 4.12: Emulátor detektoru - sekvenční diagram připojení klienta a pořízení snímku

V našem případe akvizice snímku je situace trochu složitější. `PaketReceiver` odchytí nový paket, obsahující žádost o provedení akvizice, který předá do fronty příchozích paketů. Když se `ClientHandler` dostane k jeho zpracování, tak vytvoří objekt typu `AcquisitionRequest` a předá ho instanci třídy `AcquisitionPerformer`. Ten žádost o akvizici zařadí do příslušní fronty, kde čeká, až samostatné akviziční vlákno se dostane k jejímu zpracování. Při zpracovávání žádosti o akvizici je vygenerováno náhodná matice hodnot pixelů (o velikosti 256×512) a také příslušná metadata, jako na příklad akviziční čas, bias obou čipů (s přičtenou náhodnou veličinou, simulující fluktuaci napětí na křemíkovém povrchu detekčních čipů) apod. Po vygenerování těchto hodnot se akviziční vlákno uspí na dobu akvizice, aby se chování emulátoru co nejvíce přiblížilo skutečnému detektoru.

Následně je připojenému klientovi poslána asynchronní zpráva o dokončené akvizici. Tato zpráva obsahuje příznak, že naměřená data jsou připravena k vyčtení a také ID vygenerovaného snímku.

Poté klient pošle příkaz pro vyčtení naměřených dat (resp. dva příkazy - jeden pro vlastní

snímek a druhý pro metadata), což bylo popsáno v kapitole 4.4.1.3 - viz obr. 4.10.

4.4.2 REST API server

Řídící software se svému ovládání poskytuje rozhraní přes JSON REST[21] API. Pro toto rozhraní byla použita knihovna Dropwizard[**?**], která vznikla složením několika dalších knihoven, zejména pak:

Jetty je open-source software, v současné době vyvíjen Eclipse Foundation. Tato knihovna obsahuje Java HTTP webový server, který na rozdíl od běžných webových serveru (které vetšinou přes HTTP protokol poskytují soubory koncovým uživatelům) byl navržen pro strojově orientovanou komunikaci.

Jersey je open-source knihovna (která dle [**?**] vychází z JAX-RS[22]) a byla použita pro zajištění REST API. Tato knihovna umožňuje elegantně pomocí anotací mapovat HTTP dotazy na jednoduché Java objety.

Jackson je výkonný nástroj pro práci s JSON[23] objekty v jazyce Java. Tato knihovna umožňuje ergonomicky mapovat data v JSON do Java objektů pomocí anotací.

V této podkapitole bude popsána implementace této knihovny do Atlas TPX serveru a její provázanost na modul pro řízení detektorů (4.4.1.4).

4.4.2.1 Konfigurace a spuštění serveru

Server je možné spustit z příkazové řádky pomocí příkazu "java -jar atlasTpxServer.jar server config.yml", kde atlasTpxServer.jar je spustitelný binární soubor serveru, server je povinný parametr (znamenající spuštění programu v módu server) a config.yml, což je také povinný parametr, udávající cestu v souborovém systému ke konfiguračnímu souboru serveru.

V příloze A strukturu tohoto konfiguračního souboru, ve kterém je možné nastavit následující:

Umístění tabulky s detektory (detectorsConfigPath - viz A řádek 8)
Tento parametr udává cestu v souborovém systému ke konfiguračnímu "*.csv"souboru, obsahující tabulku všech detektoru a jejich parametrů, popsanou v 4.4.1.4.

Nastavení webového serveru (server - viz A řádek 11)
V rámci tohoto objektu je možné nastavit použitý typ protokolu spojení (HTTP/HTTPS), port, počty vláken a další.

[21] z angl. Representational State Transfer
[22] <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=311>
[23] JSON je v dnešní době standardem pro zápis a výměnu strukturovaných, člověkem i strojem čitelných dat.

Logování (logging - viz A řádek 30)
Pomocí tohoto parametru je možné nastavit úroveň a cíl vytvářených logů. V přiloženém konfiguračním souboru bylo použito dvojího logování a to na standardní výstup a do souboru (oba úrovně `INFO`). Při logování do souboru je možné navíc nastavit automatickou archivaci.

Automatické vyčítání snímků (readOutDataAutomatically - viz A řádek 54)
Tento parametr typu `boolean` udává, když přijde asynchronní událost z detektoru o datech připravených k vyčtení, zda-li budou vyčtena automaticky (při hodnotě parametru `true`), nebo manuálně (při hodnotě `false`).

Výstupní adresář (outputDir - viz A řádek 57)
Parametr udávající cestu v souborovém systému pro ukládání dat z detektorů.

Formát výstupních dat (outputFramesType - viz A řádek 68)
Tento parametr obsahuje pole výstupních formátu dat, ve kterých získaná data z detektorů budou ukládána. V této verzi programu je podporovaný jediný formát - `MULTIFRAME`.

Konfigurace data serveru (v A od řádku 77)
Na tomto místě je možné nastavit parametry (url a port) serveru, sloužícího pro příjem a zpracování naměřených dat a zda-li má být použit. Více o tomto serveru bude zmíněno v 4.4.3.1.

4.4.2.2 Metody poskytované serverem

4.4.2.3 Výkonost

4.4.3 Zpracování a ukládání dat

4.4.3.1 Data server

Kapitola 5

Závěr

Příloha A

Konfigurační soubor Atlas TPX serveru

```
################################################################################
# Basic configuration
################################################################################
# Path to config csv file with detecotrs config
# File structure: 1 detector struct per line
#  - detector_name[String];detector_ip[String];unit_id[int];tpx_id[int]
#     ;port[int]
detectorsConfigPath: data/detectors2.csv

# Controll REST API server configuration
server:
  applicationConnectors:
    - type: http
      port: 9179
      outputBufferSize: 32KiB
      idleTimeout: 30 seconds
      minBufferPoolSize: 64 bytes
      bufferPoolIncrement: 1KiB
      maxBufferPoolSize: 64KiB
      acceptorThreads: 1
      selectorThreads: 2
      acceptQueueSize: 1024
      reuseAddress: true
      soLingerTime: 600s
  adminConnectors:
    - type: http
      port: 9180

# Logging settings
logging:
```

```
  level: INFO
  appenders:
    - type: file
      currentLogFilename: log/atlastpx_server_app.log
      threshold: ALL
      archive: true
      archivedLogFilenamePattern: log/atlastpx_server_app-%d.log.gz
      archivedFileCount: 5
      timeZone: UTC
logging:
  level: INFO
  appenders:
    - type: console
      threshold: ALL
      timeZone: UTC
      target: stdout


################################################################################
# Data readout & saving configuration
################################################################################
# If true asynchronous event handler will takes care abouth automatical data
# (frame + DSC) readout from the detector.
readOutDataAutomatically: true

# Directory for saving output data
outputDir: ../frames

# Local data saving configuration
# Alowed types:
# - MULTIFRAME: Pixelman's multiframe format (3 files per hour).
#               Output files:
#                 1) Frames: Line [X, C], where X is pix. index and
#                         C pix value. Frames are separated by '#'
#                 2) Description file ( DSC)
#                 3) Index file (indexing file 1 and 2)
# Example - outputFramesType: [MULTIFRAME]
outputFramesType: [MULTIFRAME]


################################################################################
# Data server configuration
################################################################################
# If true all data (configs on change, performed frames) will be automatically
# send to the data server
# and also data server status will be awailable by info endpoint.
```

```
77 useDataServer: true
78
79 # URL of dataServer
80 dataServerBaseUrl: atlastpx.utef.cvut.cz
81
82 # port of dataServer
83 dataServerPort: 8042
```

Zdrojový kód A.1: Konfigurační soubor Atlas TPX serveru

Příloha B

Metody REST API serveru

V této příloze naleznete popis všech REST API metod, poskytovaných `Atlas TPX serverem`. Všechny zde popsané metody jsou založeny na HTTP metodě POST a předávaná data jsem ve formátu JSON.

Vstupní data se liší dle metody, avšak základní struktura výstupních dat je pro všechny metody stejná - viz obr. B.1. Objet `data` obsahuje výstupní data danné medoty (při popisování vystupu jednotlivých metod, bude popisován jen obsah tohoto objektu), objekt `error` obsahuje kód chyby a její zprávu a boolean proměnná `success` udává, zda-li se zpracování příkazu zdařilo.

```
{
    "data": {...},
    "error": {
        "errorMessage": "ok",
        "errorCode": 0
    },
    "success": true
}
```

Zdrojový kód B.1: Základní struktura výstupních dat

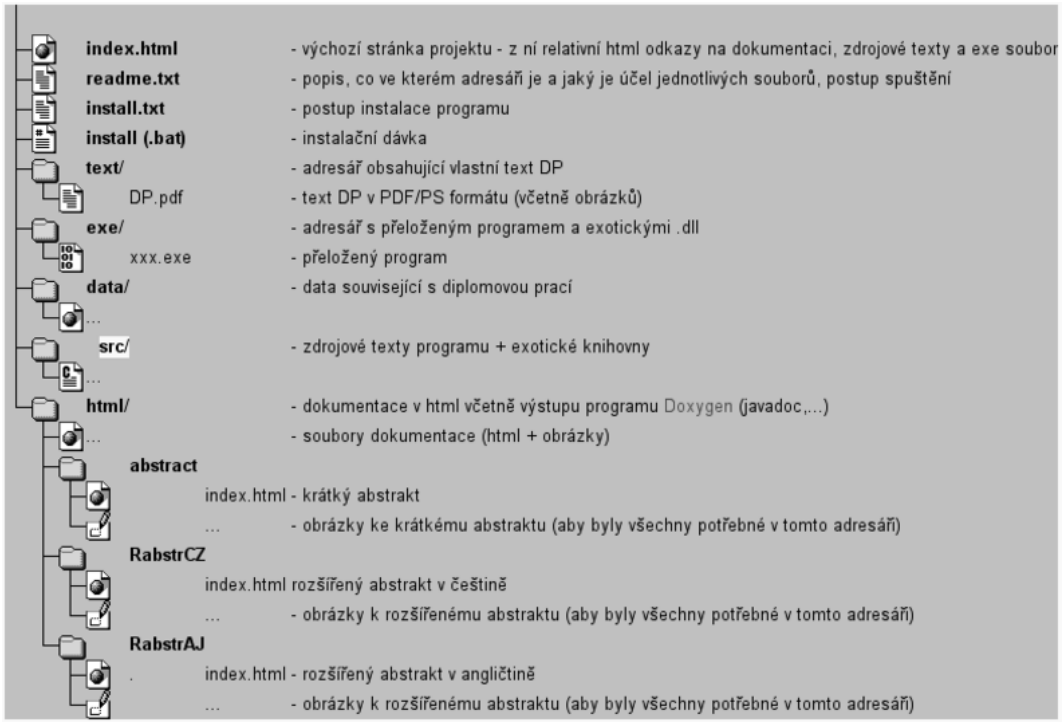
B.1

Příloha C

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...
[**?**] fasfassaafsaf



Obrázek C.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** (případne 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.