

# POČÍTAČE VE SVĚTĚ FYZIKÁLNÍCH EXPERIMENTŮ

Antonín Král, Tomáš Liška, Miroslav Virius za spolupráci COMPASS

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Trojanova 13, Praha 2  
virius@km1.fjfi.cvut.cz

## Abstrakt

Experimenty v oblasti fyziky elementárních částic patří mezi nejnáročnější oblasti současné vědy, a to i po stránce počítačového zabezpečení. Příprava experimentu trvá několik let a vlastní běh experimentu, tedy sběr dat, také. Tento příspěvek na příkladu experimentu COMPASS, který v současné době běží v CERN (Evropská organizace pro jaderný výzkum, Ženeva, Švýcarsko), ukazuje způsob nasazení počítačů ve fyzice elementárních částic a problémy, s nimiž se přitom musí programátoři vyrovnat.

## 1. ÚVOD

Experiment COMPASS byl navržen v roce 1996, schválen v CERN v roce 1997. Technicky byl spuštěn v roce 2000, v roce 2002 začal fyzikální běh, tedy i sběr dat (data acquisition, DAQ). Předpokládá se, že první etapa tohoto experimentu skončí v r. 2010.

COMPASS je zkratka slov Common Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy (společné zařízení pro mionovou spektroskopii a strukturu protonů). Na experimentu se podílí řada univerzit a výzkumných ústavů z mnoha států, mezi jinými i skupina z českých pracovišť.

Abychom získali představu, s jakými problémy je třeba se při návrhu a realizaci softwarového vybavení pro sběr a správu dat v experimentu vyrovnat, musíme se nejprve seznámit se základními fakty o uspořádání experimentu.

### 1.1 Příprava experimentu

Fyzikální experiment, který má být v CERN uskutečněn, je třeba nejprve navrhnout. Navrhovatel, skupina fyziků, vypracuje dokument, který specifikuje fyzikální cíle, předpokládané experimentální zařízení, odhad celkových nákladů, časový harmonogram experimentu a požadavky na CERN. Návrh může, ale nemusí být schválen. Například experiment COMPASS vznikl spojením a přepracováním dvou různých, předtím zamítnutých návrhů.

Po schválení začne příprava. Celé zařízení je třeba postavit a prakticky všechny části jsou unikátní. Není nijak výjimečné, že přitom vzniknou nové technologie, které se později uplatní v nejrůznějších oblastech.

Nedílnou součástí přípravy je i vypracování počítačového modelu celého zařízení. Při něm se jednak optimalizují podrobnosti uspořádání experimentu, jednak se získávají zkušební data, která se použijí pro ladění softwaru, který bude zpracovávat skutečná data z experimentu.

Tento model je samozřejmě založen na metodě Monte Carlo, tedy na simulaci průletu jednotlivých částic aparaturou. Protože jde o úkol, který se řeší velice často, je v CERN k dispozici speciální knihovna GEANT pro simulaci detektorů elementárních částic.

## 2. FYZIKÁLNÍ SOUVISLOSTI

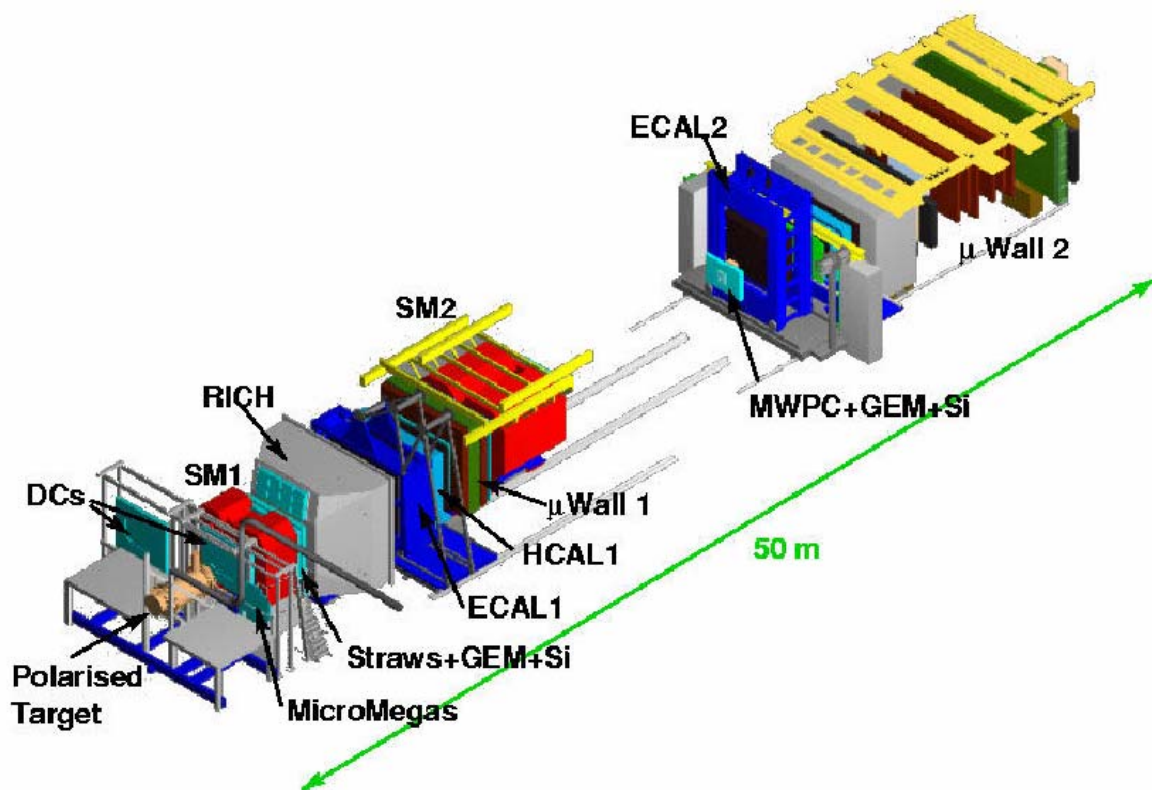
V první etapě experimentu COMPASS, věnované studiu struktury nukleonů, se využívá svazek polarizovaných mionů poskytovaný urychlovačem SPS s energiemi až do 250 GeV. Tento svazek ozařuje polarizovaný terč složený z  ${}^6\text{LiD}$ , ochlazený na cca 50 mK a vložený do silného magnetického pole. Svazek nepředstavuje kontinuální tok částic, ale skládá se z peri-

odicky se opakujících úseků (označovaných spill) dlouhých cca 6 s; délka periody svazku je 16,8 s. Uvnitř tohoto úseku jsou částice rozděleny víceméně rovnoměrně.

## 1.2 Uspořádání experimentu

COMPASS je experiment s pevným terčem, ve kterém je svazek urychlených částic veden od urychlovače k polarizovanému terči. V terči dochází k interakcím mezi dopadajícími částicemi a částicemi tvořícími polarizovaný terč. Vyletující částice jsou sledovány řadou detektorů, z nichž se získávají hrubá data (data, která je třeba dále zpracovat). Základní schéma uspořádání tohoto experimentu ukazuje obr. 1.

Na tomto obrázku zleva ve směru šipky vstupuje svazek částic z urychlovače. Ještě před polarizovaným terčem jsou tzv. vetovací detektory, které umožňují vyloučit ze sledování některé nežádoucí částice. Za terčem následuje řada detektorů různých konstrukcí. Obrázek 1 obsahuje jejich názvy; zpravidla se jedná o zkratky vyjadřující jejich princip nebo účel. Tyto detektory umožňují sledovat částice vycházející z polarizovaného terče po dráze dlouhé cca 50 m.



Obr. 1 Schéma experimentu COMPASS. Převzato z [2]

## 3. SBĚR DAT

Než se pustíme do výkladu o architektuře sběru dat v experimentu COMPASS, musíme si ujasnit alespoň základní požadavky, které jsou na toto programové vybavení kladeny.

### 3.1 Požadavky

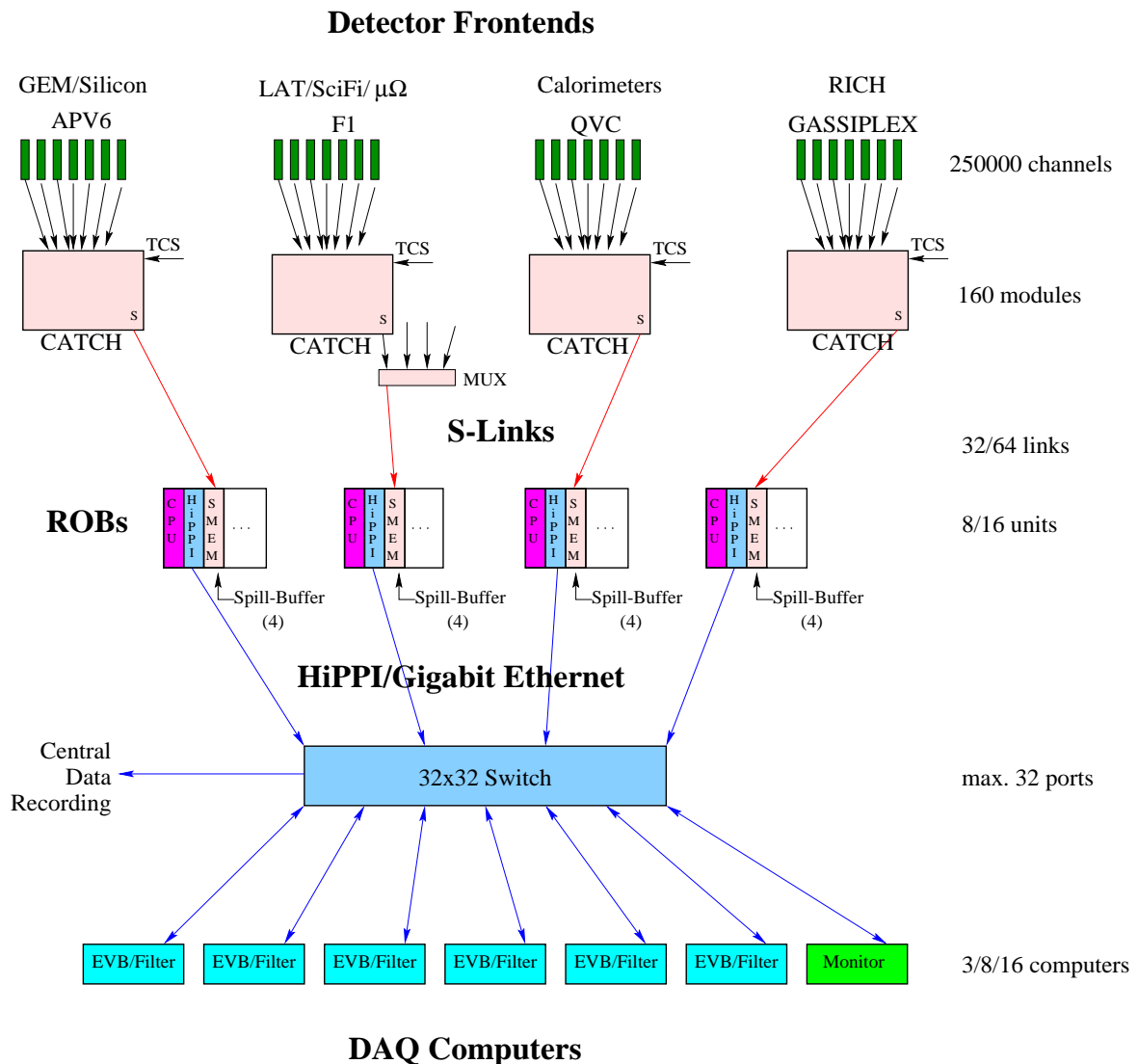
V průběhu jednoho úseku svazku projde experimentálním zařízením náhodný, přibližně rovnoměrně rozdělený tok cca  $2 \cdot 10^8$  částic. Data získaná sledováním částic přicházejí od detektorů v současné době ve 190 280 kanálech (zařízení ještě není zcela dobudováno). Celkový objem dat na jednu událost, tedy na průlet jedné sledované částice experimentálním zařízením, je přibližně 40–50 KB – přesná hodnota se může lišit v závislosti na šumu zařízení a na přesném nastavení některých triggerů.

Při uvedených hodnotách se celkový objem dat na jeden úsek svazku (spill) pohybuje podle nastavení triggerů v rozmezí od 900 MB do 18 GB.

Tato data je třeba shromáždit, předzpracovat a uložit; v další fázi jsou zpracovávána (připravována pro fyzikální interpretaci a interpretována) offline.

### 3.1 Architektura sběru dat

Architektura sběru dat se skládá z několika na sebe navazujících vrstev, jak ukazuje obr. 2, a využívá infrastrukturu počítačové sítě v CERN. Jeho základem je počítačový systém vyvinutý skupinou DAQ experimentu ALICE.



Obr. 2 Schéma sběru dat v experimentu COMPASS. Převzato z [4]

Detektory produkují data, jejichž množství, formát a význam se liší podle druhu detektoru. O to se stará elektronické zařízení detektoru, označované jako *frontend* nebo *primární elektronika*. Aby bylo možno sledovat průlet jednotlivých částic, je třeba vzít v úvahu, že částice se pohybují konečnou rychlostí a tedy že signály od jedné částice budou v různých detektorech vznikat v rozdílných časech podle jejich polohy v experimentálním zařízení. Primární elektronika proto zpozdí informace z jednotlivých detektorů tak, aby tyto rozdíly vyrovnala. Jednotlivé události se pak skenují v takto určených časových oknech.

Primární elektronika také převádí analogová data do digitální podoby a formátuje je, tj. převádí je do tvaru očekávaného dalšími vrstvami architektury DAQ.

Data z primární elektroniky přicházejí do počítačů, které jsou na obr. 2 označeny CATCH. Pro detektory GEM a silikonové detektory se používá specializovaná verze označovaná GeSiCA<sup>1</sup>.

Tyto počítače jsou propojeny vysokorychlostní sběrnici VME; kontrolují formální správnost dat, která dostanou, a předávají je dále. Sériové optické propojení s další vrstvou je založeno na standardu S-link vyvinutém v CERN. (Tento standard popisuje sériové spojení, které se chová jako fronta – FIFO – a je určeno k propojení primární elektroniky a ROB.)

Následující vrstvu představují počítače ROB (Read-Out Buffer). Představují vyrovnávací paměť pro odečtená data; v ní jsou uložena, dokud je nepřeveze vrstva počítačů označovaných jako event buildery (EVB).

Poslední vrstvou sběru dat jsou EVB, napojené na ROB prostřednictvím gigabitové sítě Ethernet. Tyto počítače fungují jako filtr eliminující nepotřebná data a vytvářející soubory hrubých dat pro další zpracovávání. V nich jsou již data z detektorů složena do událostí.

Na EVB jsou data uložena alespoň po 24 hodin. Poté migrují prostřednictvím sítě do centrálního úložiště.

### 3.2 Migrace do CDR

Centrální úložiště dat (Central Data Recording, CDR) je nástroj pro přenos hrubých fyzikálních dat ze systému DAQ, který pracuje online, do místa permanentního uložení, které již funguje offline. Systém CDR využívá síťovou infrastrukturu, která je v CERN k dispozici. Poskytuje přímé propojení do výpočetního centra a umožňuje přenos dat do systému hromadného uložení dat označovaného CASTOR. Tento systém byl vyvinut v CERN a je spravován jeho oddělením IT. Slouží zároveň všem experimentům v CERN.

Systém CASTOR běží v současné době na 4 vyhrazených diskových linuxových serverech. Každý z těchto serverů obsahuje dvacet 70GB disků. Tyto disky jsou uspořádány do pole RAID s 10 souborovými systémy.

Specializovaný počítač prohlíží každých 30 minut EVB, vybírá data stará alespoň 24 hodin a ukládá je do centrálního úložiště dat (Central Data Recording, CDR). Data jsou zapisována na magnetické pásky a ty jsou automaticky ukládány. Zároveň jsou generována metadata, tj. informace o zapsaných souborech, a ukládána v databázi Oracle.

## 4. COOOL

Nezávisle na DAQ běží systém COOOL (COMPASS Object Oriented On-Line). To je systém programů, který vybírá data z datového úložiště systému CASTOR nebo přebírá data online při jejich získávání za běhu experimentu a předzpracovává je – vyhledává data popisující trajektorie jednotlivých částic, kruhy indikující určité částice v datech z detektorů RICH apod. Systém COOOL poskytuje také nástroje pro grafické znázorňování dat.

Předzpracovaná data se pak ukládají zpět do systému CASTOR nebo do online databázi experimentu COMPASS či jsou zobrazována pro účely průběžné kontroly.

Systém COOOL je postaven na systému ROOT (objektové vývojové a programátorské prostředí pro analýzu dat), využívá možnosti tohoto systému pro grafické znázorňování dat a pro tvorbu uživatelského rozhraní. COOOL využívá také další softwarové nástroje jako DATE (pro dekódování dat), libXML (analýza konfiguračních souborů) či libMySQL (přímý přístup do databáze experimentu COMPASS).

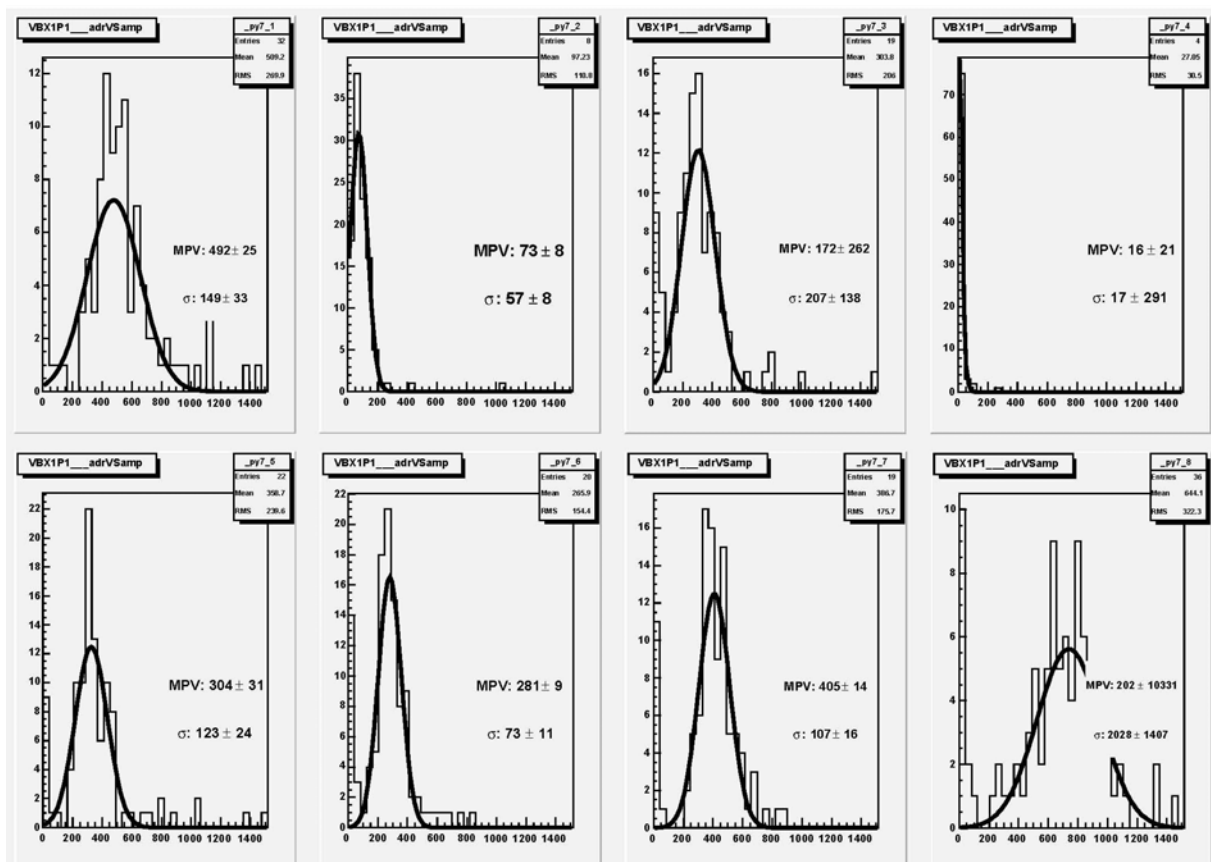
---

<sup>1</sup> Poznamenejme, že převážná většina zařízení, která se v rámci experimentů v CERN využívají, je vyvíjena univerzitními pracovníky speciálně pro tyto experimenty. Např. počítače CATCH byly vyvinuty univerzitou ve Freiburgu, počítače GeSiCA vyvinula Technická univerzita v Mnichově.

Celý experiment obsahuje přes 200 detektorů a všechny tyto detektory COOL sleduje. Je napsán v C++ a každý typ detektoru (příp. skupina detektorů) je popsán odpovídajícím objektovým typem. Parametry jednotlivých skupin detektorů jsou popsány v konfiguračních souborech napsaných v jazyce XML, které jsou jedním ze vstupů tohoto programu. Dalšími vstupy jsou naměřená „hrubá“ data z experimentu. Posledním typem vstupu, který ovlivňuje nastavení, jsou kalibrační soubory, ve kterých jsou uloženy hodnoty kalibrací pro jednotlivé detektory.

S naměřenými daty souvisí soubory s popisy mapování, které definují parametry kanálů jednotlivých detektorů, jejich počty, typy, propojení fyzického a elektronického kanálu apod.

COOL slouží především k online sledování získávaných dat za běhu experimentu. Může však být použit i pro offline zpracování dat. Data jsou dekódována a zpracována, poté jsou zobrazena typicky ve formě histogramů nebo grafů. Výsledky mohou být uloženy pro pozdější použití systémem ROOT do souboru typu TTree.



Obr. 3 Příklad výstupu systému COOL

Popisem podoby a typů jednotlivých výstupů systému COOL sdělíme, jaké výstupy a v jaké formě požadujeme. Nejčastěji použitým typem výstupu systému COOL jsou histogramy, které je generovány přímo při běhu experimentu a dávají tak možnost získat důležité informace pro posouzení aktuálního stavu experimentu. Histogramy jsou na základě dat získaných z experimentu generovány téměř bez zpoždění. Histogram typicky obsahuje křivky aktuálně měřených dat a normalizované hodnoty. Porovnáním křivek lze včas rozpoznat nestandardní chování detektorů, chybu či jiný problém.

Příklad výstupu systému COOL ukazuje obr. 3.

## 5. ZÁVĚR

DAQ a COOL jsou jen jednou z částí zpracování dat v rámci experimentu COMPASS. Vedle toho běží kontrolní systémy, označované jako slow control, které sledují stav jednotlivých součástí experimentálního zařízení, o vybraných údajích průběžně informují obsluhu a v případě havárie informují zodpovědné pracovníky zasláním SMS. Některá z těchto dat jsou přístupná i prostřednictvím sítě WWW.

Další součástí programového zabezpečení tohoto experimentu jsou programy, které přímo řídí některá experimentální zařízení. Jedná se např. o program, který umožňuje změnou orientace magnetického pole obklopujícího polarizovaný terč změnit jeho polarizaci, tj. orientaci spinu jader v materiálu terče, a mnohé další.

Pro následné fyzikální vyhodnocení získaných dat slouží programy CORAL (COmpass Re-construction and AnaLysis), PHAST (PHysics Analysis Software Tools) a jiné.

### Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci práce na fyzikálním experimentu COMPASS v CERN podporované z grantu MŠMT Kontakt ME492.

### ODKAZY

[1] F. Bradamante: *The Common Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy. Proposal*. CERN/SLPC 96-14, SPSC/P297, March 1996

[2] F. Bradamante: *Spin Physics @ COMPASS*. X Workshop on High Energy Spin Physics, Dubna, 16.–20. 9. 2003

[3] L. Schmidt et al.: *The DAQ of the COMPASS Experiment*. 13<sup>th</sup> IEEE-NPSS Real Time Conference 2003, Montréal, Canada (18.–23. 5. 2003)

[4] <http://wwwcompass.cern.ch/compass/detector/daq/nav-index.html> a odkazy tam uvedené