

Akcelerowana rekonstrukcja śladów cząstek naładowanych dla eksperymentu ATLAS na High Luminosity LHC

Do 2030 roku Wielki Zderzacz Hadronów o wysokiej świetności (HL-LHC) zostanie zmodernizowany tak aby w eksperymencie ATLAS (i innych na LHC) dochodziło do 5-krotnie większej liczby zderzeń niż w obecnych warunkach. Większa liczba zderzeń przekłada się bezpośrednio na zwiększenie potencjału obserwacji rzadkich procesów i zwiększenie precyzji pozwalającej na statystycznie istotne testy odchylenia od dobrze znanego Modelu Standardowego cząstek elementarnych. Wśród wielu interesujących badań znajdują się szczególnie interesujące pomiary samosprzęgania się bozonu Higgsa lub poszukiwanie nieznanymi jeszcze cząstek przewidywanych przez nowe teorie.

W celu poszukiwania bardzo rzadkich typów zderzeń wytwarza się ich dużą liczbę. Liczba ta, przeliczona na wolumen danych, jest zbyt duża, aby mogły obsłużyć ją nowoczesne technologie informatyczne. Na szczęście większość ze zderzeń zawiera dobrze poznaną fizykę i można je odrzucić bez wpływu na potencjał naukowy eksperymentu. Proces filtrowania odbywa się online i jest bardzo delikatny. W przypadku ATLAS-a zachowuje się około 0,0025% danych. W obrębie tej małej części danych interesujące zderzenia muszą być zachowane z dużą wydajnością i a znakomita większość nieinteresujących odrzucona. W tym celu wykorzystywane są złożone systemy sprzętowe i programowe. Nazywa się je wyzwalaczami, a proces filtrowania wyzwalaniem.

Zderzenia w LHC zachodzą w odstępach 25 nanosekund, gdy wiązki protonów lub jonów przecinają się w środku detektora. Dane dotyczące przecięcia się wiązek są postrzegane przez detektor jako całość jako tzw. zdarzenie. Więcej kolizji LHC zapewnianych przez LHC w przyszłości oznacza dla detektorów nie tylko bogactwo danych, ale także wiele wyzwań. Po pierwsze, interesujące zdarzenia będą się zdarzać częściej, a zatem konieczne będzie zarejestrowanie większej ilości danych. Po drugie, dane te będą bardziej złożone. Dzieje się tak dlatego, że wraz z interesującymi zderzeniami dochodzić będzie do ok. 200 zderzeń "pasożytniczych". Aby się do tego przygotować, ATLAS buduje nowy detektor wewnętrzny do śledzenia cząstek naładowanych o wysokiej rozdzielczości (ITk). Ślady cząstek naładowanych zarejestrowane przez ten detektor będą niezbędne do zrozumienia tych złożonych zderzeń. Będą one również niezbędne online do celów wyzwalania. Informacje te ułatwią selekcję wielu specyficznych procesów w zderzeniach p-p jak również dla ciężkich jonów.

Proces odtwarzania trajektorii cząstek z sygnałów detektora jest niestety bardzo złożony. Duże ilości danych z ITk muszą być najpierw przetłumaczone na pozycje, a następnie skojarzone w trajektorie cząstek naładowanych. Dotychczas stosowane algorytmy nie są wystarczająco szybkie, aby można je było wykorzystać w procesie wyzwalania. Ich czas działania, kluczowy parametr w systemach wyzwalania online, skaluje się bardzo nieliniowo wraz z ilością danych. Dlatego współpraca ATLAS podjęła decyzję o budowie pomocniczego systemu dedykowanego wyłącznie do rekonstrukcji torów cząstek naładowanych w czasie rzeczywistym. Niezbędną moc obliczeniową zapewnią tak zwane akceleratory obliczeniowe, takie jak Field Programmable Gate Arrays czy Graphical Processing Units. Jednak algorytmy używane do śledzenia cząstek naładowanych muszą zostać przeprojektowane lub muszą zostać wynalezione nowe, aby efektywnie wykorzystywać tego typu sprzęt. Projekt badawczo-rozwojowy prowadzony w ramach współpracy ATLAS zakłada niezbędne prace rozwojowe skutkujące wyborem optymalnego rozwiązania. Jest to efekt współpracy około 20 uczelni i laboratoriów badawczych już działających w ramach ATLAS.

Grupa AGH we współpracy z innymi polskimi instytucjami zrzeszonymi we współpracy ATLAS jest zaangażowana w ten projekt od początku jego istnienia w 2021 roku. Obecnie odpowiadamy za organizację środowiska programistycznego do prowadzenia prac badawczo rozwojowych. Jednak głównym obszarem działalności grupy jest opracowywanie nowych algorytmów i ich implementacja na specjalistycznym sprzęcie. Wnosimy do projektu know-how w zakresie wykorzystania pojawiających się technologii. To pozwala nam stosować techniki programowania stosunkowo wysokiego poziomu, znacznie ułatwiające korzystanie z niestandardowych urządzeń. Rozwiązania opracowane w ramach tego projektu zostaną najpierw zintegrowane z ACTS, między-eksperymentalnym otwartym pakietem oprogramowania służącym do rekonstrukcji trajektorii cząstek którego użycie jest planowane także przez inne eksperymenty działające obecnie i w przyszłości.