

1 Popularnonaukowe streszczenie projektu

Wielki Zderzacz Hadronów nieustannie nuci swoją melodię. Nadprzewodzące magnesy szumią i gwizdzą gdy w 27-kilometrowym tunelu gdzieś na granicy Szwajcarii i Francji ciskają cząstkami rozpędzonymi niemal do szybkości światła¹. Do czasu. Już w Grudniu tego roku, największy na świecie akcelerator cząstek zamilknie. Pauza ta spowodowana jest długo planowaną przebudową eksperymentu do nowej wersji o wysokiej przepustowości. Dzięki ogromnym postępom w sprzęcie elektronicznym, zarejestrujemy jeszcze więcej danych – w niektórych eksperymentach nawet o 3 rzędy wielkości. Z tego powodu fizycy z ogromnym entuzjazmem i podekscytowaniem oczekują na wyniki zaplanowanej przebudowy i rozpoczęcie tzw. "Run 3". Z drugiej strony, nowe możliwości niosą ze sobą również nowe wyzwania, takie jak nagła potrzeba posiadania szybszych metod rekonstrukcji zachodzących zderzeń.

Te stosowane obecnie we wszystkich czterech najważniejszych eksperymentach przy Wielkim Zderzaczu Hadronów, opierają się na statystycznych symulacjach. Podejście to, jakkolwiek bardzo dokładne, jest równocześnie niezwykle wolne. Symulacje w oparciu o metody Monte Carlo wymagają ogromnej mocy obliczeniowej, w związku z czym już teraz okupują około 50-70% całkowitej mocy obliczeniowej dostępnej w CERNie. Jest więc oczywiste, że żadne centrum obliczeniowe, nawet tak potężne jak GRID, nie podoła zwiększonym zapotrzebowaniom wynikającym z przebudowy eksperymentu. Oczywiście odpowiedzią na ten problem jest zwiększenie liczby dostępnych procesorów – tak zwane horyzontalne skalowanie. Jak bardzo możemy jednak rozszerzać system, który już teraz jest największą obliczeniową siatką komputerową korzystającą z ponad 500 000 procesorów w 170 centrach obliczeniowych w 42 krajach?

Być może w zamian warto skupić się na przyspieszeniu obecnie stosowanych metod symulacji? W związku z naturalnymi obostrzeniami występującymi w metodach bazujących na technikach Monte Carlo, proponujemy przyspieszenie symulacji z wykorzystaniem zupełnie innych metod opartych o uczenie maszynowe. Obecna moda na rozwiązania oparte o sztuczną inteligencję zaowocowała wieloma nowymi algorytmami generacyjnymi takimi jak sieci neuronowe typu GAN czy wariacyjne kodery automatyczne (VAE). Techniki te znalazły już zastosowanie w wielu aplikacjach: począwszy od generowania zdjęć nieistniejących celebrytów aż do zastosowań przy poszukiwaniu nowych leków. Praktyczny problem fizycznych symulacji dla eksperymentów w CERN jest więc perfekcyjnym środowiskiem do rozwijania tych metod.

W związku z tym, w ramach projektu planujemy implementację nowych algorytmów opartych o GAN i VAE, które w sposób automatyczny "nauczą" się praw fizycznych zachodzących wewnątrz detektorów, wprost z zebranych danych treningowych. Za realizację tego założenia odpowiadać będzie sztuczna sieć neuronowa będąca trzonem proponowanego rozwiązania. Techniki te są aktualnie szeroko stosowane ze względu na ich możliwości wykrywania skomplikowanych wzorców w danych. Takie wzorce mogą zostać wykorzystane do przewidywania poprawnych odpowiedzi z zadanych wartości atrybutów. W tym przypadku, sieć będzie musiała znaleźć różne prawa fizyczne które umożliwią obliczenie poprawnego wyniku. Przypuszczamy, że dzięki 24 PB danych treningowych, dobrze wyuczona sieć neuronowa będzie w stanie poprawnie symulować trajektorie cząstek. Nasze wstępne wyniki badań przeprowadzonych nad najważniejszym detektorem śledzącym – TPC – są obiecujące. Testy wykazały, że możemy oczekiwać wzrostu wydajności o nawet cztery rzędy wielkości w porównaniu z tradycyjnymi metodami symulacji. Mimo wszystko, dalsze badania konieczne są do osiągnięcia jakości porównywalnej z oryginalnymi metodami. Aby dorównać tym narzędziom, planujemy wykorzystać najnowsze osiągnięcia w dziedzinie uczenia maszynowego nie tylko z domeny modeli generatywnych. W związku z sekwencyjną naturą analizowanych danych, w naszych badaniach planujemy wykorzystać również metody popularne w dziedzinie przetwarzania języka naturalnego, takie jak mechanizm zachowania uwagi, który zaowocował powstaniem nowego modelu self-attention GAN. Z drugiej strony, by osiągnąć pełną wierność symulacji planujemy zaimplementować nowe modele z dodatkowymi ograniczeniami opartymi na prawach fizycznych.

Wielki Zderzacz Hadronów, rozpocznie swoją pieśń na nowo za dwa lata. Tym razem, nie będzie to jednak zwykły szum i gwizdy. Dzięki zwiększonej mocy, usłyszymy z wnętrza ziemi prawdziwą symfonię dźwięków. Technologie używane do symulacji nie powinny zostać w tyle, a ich szybkie odpowiedniki oparte o metody uczenia maszynowego mogłyby odegrać rolę perfekcyjnego *preludium* w tym dziele sztuki.

¹<https://www.datacenterdynamics.com/analysis/probing-universe/>