

Kraków, 14.01.2019

dr hab. inż. Tomasz Bołd
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Oskara Wszyńskiego
pod tytułem: "Evolutionary Algorithm for Particle Trajectories Reconstruction"**

Wstęp

Tematem pracy doktoranta jest badanie użyteczności algorytmu ewolucyjnego w zastosowaniu do estymacji parametrów śladów cząstek naładowanych. W dysertacji przedstawiono wyniki zastosowania algorytmu Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES) w dwóch przykładowych zastosowaniach z dziedziny fizyki jądrowej. Pierwszy problem to zastąpienie algorytmu filtru Kalmana (KF) w estymacji parametrów śladów cząstek naładowanych w eksperymencie NA61/SHINE na SPS w CERN. Znajdowanie śladów cząstek naładowanych jest zadaniem arcytrudnym (ze względu na inherentną kombinatoryczną naturę problemu), w szczególności w eksperymentach, gdzie mamy do czynienia z dużą krotnością cząstek jakim właśnie jest NA61/SHINE. Podobne problemy występują w innych eksperymentach ciężko-jonowych, a przy coraz wyższych świetlnościach, także we podczas zderzeń p-p na LHC. Na złożoność problemu wpływa także jakość systemu detekcyjnego czy też jednorodność pola magnetycznego. W pracy pokazano także zastosowanie algorytmu CMA-ES przy estymacji parametrów modelu identyfikacji ciężkich jonów mierzonych przez eksperyment NIMROD na ISIS w laboratorium Rutherforda w Oxford w Wielkiej Brytanii.

Dysertacja

Przedstawiona do recenzji praca składa się 11 rozdziałów. We wstępie autor sprawnie przedstawia problem. W rozdziale 2 przedstawiono skrótowo budowę eksperymentu NA61/SHINE. Zwięźle opisano zasadę działania detektorów projekcji czasu przejścia Time Projection Chamber (TPC) i ich implementację w eksperymencie. Autor wspomina o ważnym aspekcie jakim jest istnienie sygnałów szumów. W tym miejscu przydatna była by pogłębiona dyskusja sposobu eliminacji sygnałów szumowych. Ta pojawia się jednak dopiero w rozdziale 8. W opinii recenzenta dużym brakiem tego opisu jest całkowite zaniedbanie, choćby pobieżnego, opisu celu eksperymentu NA61/SHINE.

Rozdziały 3,4 i 5 stanowią niejako dodatek opisujący w skrócie systemy odczytu i wyzwalania używane w eksperymencie NA61/SHINE. Spis, i krótki zarys historii standardów urządzeń modułowej elektroniki jest krańcowo przydatny w lekturze pracy. Większą wartość merytoryczną wnosi rozdział dotyczący systemu akwizycji danych i systemu wyzwalania. Czytelnik, dowiaduje się z niego w jaki sposób sygnały detektorowe w eksperymencie NA61/SHINE są obrabiane w układach front-end, następnie przetwarzane na sygnał cyfrowy i przy pozytywnej decyzji systemu wyzwalania zapisywane. Tu, czytelnik przy bardzo uważnej lekturze, może jedynie domyślić się jakiego typu przypadki są w zakresie zainteresowania eksperymentu. Czyżby chodziło o ochronę tej informacji? Rozdział 6 traktuje o oprogramowaniu eksperymentu, a w szczególności o procesie adaptacji oprogramowania eksperymentu NA49, który był poprzednikiem NA61/SHINE. W szczególności omówione zostały wyniki potwierdzające poprawną integrację z systemem oprogramowania eksperymentu. Z opisu można wnioskować znaczący wkład autora w ten aspekt działalności eksperymentu.

W rozdziale 7 przedstawiony jest w ogólny sposób algorytm CMA-ES wraz z analizą złożoności obliczeniowej. W rozdziale 8 opisany został proces rekonstrukcji trajektorii cząstki naładowanej w polu magnetycznym rozpoczynając od przetworzenia sygnałów z detektora, ich weryfikacji pod kątem szumów, znajdowanie wzorców i wreszcie użycie algorytmu CMA-ES do estymacji parametrów. Opis jest bardzo ogólny, a użyta notacja nie należy do najczytelniejszych. Niestety nie zostały pokazane żadne wyniki pośrednie związane z działaniem samego algorytmem będącego przedmiotem studiów.

W rozdziale 9 pokazano wynik działania algorytmu CMA-ES. Są to częstości/prawdopodobieństwa znalezienia fałszywych śladów, wydajności a także jakość dopasowania śladów. Brak jest porównania z obecnie działającym algorytmem KF a czytelnik pozostawiony jest domysłem, że te parametry są podobne. Nota eksperymentu (prawdopodobnie wewnętrzna) w cytowaniu [123] jest niedostępna.

Rozdział 10 dotyczy innej aplikacji algorytmu CMA-ES. Algorytm został użyty do znalezienia optymalnych parametrów dopasowania modelu strat radiacyjnych używanego do identyfikacji cząstek w eksperymencie NIMROD. Nie jest jasne dlaczego użyto danych z eksperymentu, którego autor nie jest członkiem, gdy podobne zadanie identyfikacji stoi przed eksperymentatorami NA61/SHINE (sygnały z detektorów TOF). Należy się domyślać, że wybrany został bardziej złożony problem niż identyfikacja przy masach mniejszych niż masa jądra deuteru. Niemniej osiągnięte wyniki są bardzo dobre. Prawdopodobieństwa niepoprawnej identyfikacji są znikome, a algorytm jest nieczuły na braki danych z najbliższych i najcięższych izotopów. Nie jest jednak oczywiste czy model szumów jest realistyczny.

Uwagi dotyczące dysertacji

Praca Pana Wyszyńskiego napisana jest w języku angielskim. Tekst jest zrozumiały aczkolwiek ewidentne jest, że znacznie by zyskał na jakości po uważnej korekcie. Drobne niedociągnięcia językowe nie wpływają na jego zrozumienie. Jednak w wielu miejscach brak jest balansu między uogólnionym opisem, a opisem a dyskusją szczegółowej implementacji. Dla przykładu, w podrozdziale 8.3 zastosowanie algorytmu CMA-ES jest potraktowane bardzo ogólnie. W pracy implementacyjnej na miejscu było by szczegółowe opisanie całej procedury wraz z cząstkowymi wynikami. Podobnie na rysunkach 9.6 i 9.7 pokazane są bardzo ciekawe rezultaty lecz ich opis to dwa skromne paragrafy na stronie 137. We wstępie rozdziału 1.3.2 wspomniano wymiarowość problemu identyfikacji cząstek i znajdowania śladów nie precyzując o jakie zmienne chodzi w pierwszym przypadku, a także nie sprecyzowano o jakie współrzędne chodzi autorowi w przypadku toru; jest ich z pewnością więcej niż trzy. Termin "labeled test (real) data" nie został wyjaśniony. Z opisu w rozdziale 1.4 nie wynika jaka jest kontrybucja autora do głównego tematu pracy. Zakładam, że pominięto ten aspekt ponieważ autor jest jedynym, bądź głównym autorem, studiów stosowalności algorytmu CMA-ES.

Uwagi merytoryczne

We wstępie autor wspomina o podziale na etapy w algorytmach do znajdowania śladów. Konkluduje, że w dużych eksperymentach HEP podział ten jest zarzucony w końcowej rekonstrukcji offline. Jednak w "szybkich algorytmach" np. w eksperymentach ATLAS i CMS wyszukiwanie śladów muonów wykonywane jest z użyciem wcześniej wyuczonych modeli śladów. Podobnie w przypadku systemu ATLAS FTK modelowanie wzorców i ich aplikacja są oddzielone i poddane niezależnej optymalizacji.

Ciekawym aspektem poruszonym na samym wstępie jest koszt finansowy i ludzki implementacji i optymalizacji algorytmów. Recenzent w pełni zgadza się z konkluzjami doktoranta.

W podrozdziale 1.3.1 punkt 9 wspomniana jest procedura otrzymywania modelu szumów detektora. Przy wysokiej dostępności danych zawierających szum wydaje się że prostszym i precyzyjniejszym podejściem byłoby mieszanie przypadków szumu z symulacją. Podobna uwaga dotyczy listy ze strony 35. Po wnikliwej analizie opisu z rozdziału 9 nie jestem pewien czy taka procedura nie jest właściwie stosowana. Cytując str. 131 "...real detector noise clusters were superimposed on simulated raw data...". Jeśli tak to czy zastosowanie jednorodnego generatora i zmieszanie z szumem detektorowym powstałym w rzeczywistych zderzeniach jest uzasadnione? W jaki sposób wzięta została pod uwagę zmienna krotność? Niedostatkami w opisie całej procedury jest brak porównania modelu MC z danymi.

W podrozdziale 6.4 strona 96 wspomniano szereg problemów ze starszą wersją oprogramowania. Nie jest jasne czy porównanie na rysunku 6.4 wykonane jest przed czy po naprawie wspomnianych defektów. Ciekawe było by pokazanie trzeciego zestawu danych przed wykonaniem napraw i komentarz czy błędy te mogły wpłynąć na (opublikowane) wyniki eksperymentu?

W rozdziale 7.5 dyskutowana jest złożoność obliczeniowa algorytmu CMA-ES. Czy ta dyskusja jest zasadna jeśli algorytm stosowany jest w zasadzie do bardzo mało wymiarowego problemu? Badanie złożoności jest zwykle analizą asymptotyczną. Pomiary rzeczywistych czasów wykonania poszczególnych kroków algorytmu byłyby z pewnością bardziej miarodajne w tak nisko-wymiarowym problemie.

W rozdziale 9 pokazano rezultaty badania sprawności algorytmu pod kątem znajdowania fałszywych śladów. Czy ta sprawność nie zależy od pędu i kąta polarnego śladu, podobnie do efektywności? Jak wygląda zdolność rozdzielcza pędów? Czy porównywalne wyniki z MC i danych, na przykład rozkłady residuów pozycji klastrów są podobne dla danych i symulacji? Brak jest porównania z istniejącym algorytmem KF (np. jak na rysunkach w rozdziale 6).

W rozdziale 10 użyto danych z eksperymentu NIMROD. Czy model szumów został skonfrontowany z rzeczywistością?

Podsumowanie

Eksperymentalna fizyka jądrowa przy wysokich energiach stoi przed unikalnymi wyzwaniami obliczeniowymi. Jednym z najtrudniejszych zagadnień jest rekonstrukcja śladów cząstek naładowanych. Praca doktorska będąca przedmiotem niniejszej recenzji jest właśnie temu tematowi poświęcona. Nowatorskie podejście, poprzez zastosowanie algorytmu ewolucyjnego, pozwala na otrzymanie lepszych wyników bez żmudnej optymalizacji, co jest szczególnie cenną zaletą w przypadku małych eksperymentów bądź eksperymentów prowadzonych w bardzo zmiennych warunkach. Reasumując, praca jest przyczynkiem posuwającym dziedzinę badań elementarnych do przodu.

W ocenie recenzenta przedstawiona rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Proszę o dopuszczenie mgr Oskara Wyszyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Tomasz Bołd

