

dr hab. inż. Leszek Borzemski, prof. nadzw.

Instytut Informatyki

Politechnika Wroclawska

Wrocław, 07.02.2014 r.



RAU	Biuro Dziekana
	Wpłynęło dnia 13.02.2014
	Nr 312 / zał. ....

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Simona

pt. „*Fault Tolerant Data Acquisition through Dynamic Load Scheduling*”

### 1. Obszar problemowy rozprawy.

Recenzowana rozprawa dotyczy problematyki szeregowania zadań obliczeniowych w dedykowanym systemie akwizycji danych w eksperymencie prowadzonym w *Wielkim Zderzaczu Hadronów* (ang. Large Hadron Collider – LHC) w ośrodku badawczym CERN w Genewie. Badany w rozprawie problem szeregowania został zdefiniowany dla potrzeb *niezawodnej* i *efektywnej* akwizycji danych rejestrowanych przez detektor Compact Muon Solenoid (CMS) w akceleratorze LHC. Proponowany algorytm dynamicznego szeregowania obciążenia w systemie obliczeniowym stanowiącym element CMS, jest kontrpropozycją do stosowanego statycznego algorytmu szeregowania, który nie zapewnia akwizycji danych odpornej na błędy i niesprawności systemu obliczeniowego. W badaniach z zakresu fizyki cząstek elementarnych w CERN, w tym w pracach w ramach LHC, od wielu lat bierze aktywny udział wielu badaczy z Polski. Niniejsza rozprawa jest także wkładem w te prace.

Problematyka szeregowania zadań obliczeniowych, alokacji zadań obliczeniowych czy też równoważenia obciążenia ma bardzo bogatą literaturę przedmiotu, a powstałe rozwiązania, są podstawą działania współczesnych systemów komputerowych. Rozpatrują one potrzebę efektywnego i niezawodnego przetwarzania zadań obliczeniowych ze względu na różne kryteria operacyjne systemu obliczeniowego oraz użytkowników tych systemów. Są to rozwiązania o naturze generalnej, jak i problemowo ukierunkowane. Proponowane w rozprawie rozwiązanie należy do drugiego nurtu bowiem jest bezpośrednio i ściśle związane z systemem i eksperymencie CMS, w którym badane są kolizje dwóch przeciwnie przesłanych wiązek hadronów zachodzące w akceleratorze LHC. Ponieważ wystąpienie zjawisk, którymi interesują się badacze zderzeń hadronów jest bardzo niskie, częstotliwość kolizji musi być wysoka (kilkadziesiąt milionów na sekundę). Powoduje to, że ilość pozyskiwanych danych może być ogromna. Zbierane dane, ze względu na brak wystarczającej ilości pamięci trwałej do ich zapamiętania, muszą być filtrowane na bieżąco, celem selekcji tylko tych kolizji, w których występują zjawiska znajdujące się w obszarze zainteresowań badaczy. Dzięki filtracji otrzymujemy znaczne zmniejszenie ilości danych przechowywanych. NB:

Bez tej filtracji system zbierałby ok. 38 TB surowych danych na sekundę. Dane w CMS są filtrowane wielopoziomowo przez różne składowe systemu, w tym w farmach komputerów filtrujących. Podstawą efektywnego przetwarzania zadań filtracji, jest algorytm alokacji tzw. fragmentów kolizji (tj. zadań obliczeniowych) do komputerów przetwarzających w farmach. Stosowany statyczny algorytm rozdzielający obciążenie do farm wykorzystuje założenie, że przepustowość farm komputerowych jest z góry znana przed rozpoczęciem procesu akwizycji danych i nie ulega zmianie w trakcie tego procesu. Z tego powodu algorytm statyczny nie ma możliwości przededefiniowania udziałów obciążenia farm w trakcie procesu akwizycji. Stąd też w przypadku wystąpienia awarii sprzętu redukującej przepustowość którejś z farm, następuje spowolnienie pozostałych farm (na podobieństwo zasady naczyń połączonych), a w konsekwencji spadek sumarycznej przepustowości farm filtrujących. Spadek ten może nastąpić poniżej pewnego poziomu niezbędnego do przetworzenia napływających danych. Tym samym może to doprowadzić do zaburzeń lub wręcz zatrzymania procesu akwizycji danych ze szkodą dla całego eksperymentu, pomimo, że dostępne zasoby są wystarczające. Nie mogą być one jednak wykorzystane w pełni ze względu na statykę decyzji alokujących obciążenie do farm.

W celu przezwyciężenia wspomnianych problemów CMS, którym nie może zapobiec dotychczasowy statyczny algorytm szeregowania, doktorant proponuje własny heurystyczny algorytm *dynamicznego szeregowania obciążenia*.

W rozpatrywanym przypadku mamy do czynienia z konkretnym problemem przetwarzania danych klasy *BIG DATA*, który jest aktualnie jednym z najistotniejszych wyzwań współczesnej informatyki. Termin ten odnosimy do przetwarzania dużych (wielkich) zbiorów danych (co najmniej dziesiątek terabajtów), których przetwarzanie wymaga zastosowania specjalistycznych algorytmów i aparatury. W naszym przypadku aparaturą jest system CMS z farmami komputerów filtrujących, a specjalistyczne algorytmy to algorytmy szeregowania obciążeń w systemie CMS, które są przedmiotem tej rozprawy oraz algorytmy obliczeń aplikacyjnych, które nie są przedmiotem zainteresowania w tej rozprawie.

W tym świetle uważam, że sformułowana na stronie 22 tezy rozprawy, że (tłumaczenie własne):

- *dynamiczne szeregowanie obciążenia zwiększa całkowitą odporność na błędy rozproszonego systemu akwizycji danych,*

- *asynchroniczne, rozproszone szeregowanie może być przeprowadzone na fragmentach obciążenia produkowanego przez wiele źródeł danych, pod warunkiem, że każdy ze źródeł obciążenia dostarcza fragmenty obciążenia w tej samej kolejności,*

są postawione poprawnie.

Uwzględniając stan badań oraz wymagania i ograniczenia systemu CMS doktorant proponuje własny heurystyczny algorytm dynamicznego szeregowania alokacją obciążenia. Weryfikacja przedstawionej propozycji, budowana jest w oparciu o ocenę eksperymentalną działania przykładowej implementacji proponowanych koncepcji. Doktorant proponuje własną metodykę oceny opracowanego rozwiązania, która pozwoliła przeprowadzić szereg testów systemu umożliwiających między innymi potwierdzenie poprawności współdziałania pomiędzy elementami systemu oraz praktyczną weryfikację ewaluacji proponowanego algorytmu. Wykorzystanie rzeczywistego systemu w zaplanowanych badaniach ewaluacyjnych uważam za dobrą metodę oceny, chociaż należy pamiętać, że taka metoda oceny daje zarówno określone korzyści, jak i wprowadza różnego rodzaju ograniczenia. Niemniej, ponieważ algorytm jest przecież przeznaczony właśnie dla tej instalacji CMS, więc metoda oceny jest jak najbardziej poprawna.

Postawione cele oraz szczegółowy zakres tematyczny rozprawy odpowiadają współczesnym tendencjom badań naukowych i pracom rozwojowym prowadzonym nad poprawą funkcjonowania współczesnych systemów rozproszonych. Problem szeregowania zadań w systemach rozproszonych klasy BIG DATA jest interesujący, aktualny i bardzo ważny, szczególnie z punktu widzenia praktycznego i rozwojowego w zakresie nurtu prac projektowych i eksperymentalnych. Wkład rozprawy w dyscyplinę informatyki jest oczywisty, przy czym należy także pamiętać o jego istotności dla prowadzonych badań nad fizyką cząstek elementarnych. Potwierdzają to publikacje autora, dotyczące różnych aspektów problemu rozwiązanego w rozprawie, które zostały umieszczone w wydawnictwach i na konferencjach „czysto” informatycznych, jak i dotyczących problematyki obliczeń i systemów obliczeniowych dla współczesnej fizyki eksperymentalnej, przygotowanych z udziałem doktoranta przez zespoły autorskie zarówno informatyków, jak i zespoły mieszane, z fizykami prowadzącymi wspomniane eksperymenty badawcze w ramach wielkiego projektu LHC.

## **2. Koncepcja i realizacja rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska, o ogólnej objętości 141 stron, jest napisana w języku angielskim i składa się z sześciu rozdziałów, bibliografii oraz spisów rysunków i tabel. Dołączony został wykaz skrótów oraz 6 listingów oprogramowania. Bibliografia zawiera 76 źródeł literaturowych.

Z merytorycznego punktu widzenia przyjęty układ pracy jest właściwy. W pierwszym rozdziale przedstawiono genezę, tezę, cel i zawartość pracy, jej strukturę oraz uwagi wprowadzające. Sformułowano jawnie tezy rozprawy. Rozdział 2 prezentuje ogólne informacje o szeregowaniu zadań w systemach rozproszonych. W szczególności przedstawiono tam trzy przykłady systemów akwizycji danych gromadzących wielkie zbiory danych eksperymentalnych. Doktorant w rozdziale 3 prezentuje system CMS i jego funkcjonowanie. Rozdział 4 przedstawia analizę wymagań prowadzenia

eksperymentów CMS w sposób zapewniający niezawodne zbieranie danych oraz wykorzystujący efektywnie dostępne zasoby komputerowe. Bazując na tej dyskusji w rozdziale 5 zaprezentowano proponowaną dynamiczną metodę szeregowania obciążeniem a w rozdziale 6 rezultaty badań eksperymentalnych pomysłu doktoranta. W ostatnim rozdziale przedstawiono także podsumowanie pracy zawierające syntetyczne omówienie rezultatów pracy oraz możliwości rozwoju systemu.

Należy zauważyć, że Autor wykazał się posiadaniem odpowiedniego zasobu wiedzy w zakresie systemów rozproszonych oraz umiejętnościami formułowania problemów naukowo-technicznych na podstawie studiowania literatury i własnych badań wstępnych, a także ich właściwego rozwiązywania z użyciem stosownych metod badawczych.

### 3. Oryginalne osiągnięcia

Do najważniejszych rezultatów uzyskanych przez mgr inż. Michała Simona zaliczam:

1. Opracowanie nowej koncepcji algorytmu dynamicznego szeregowania obciążeń dla potrzeb systemu prowadzenia eksperymentów pomiarowych w Wielkim Zderzaczu Hadronów LHC w CERN w Genewie. Zaproponowana koncepcja bazuje na dotychczasowych doświadczeniach oraz aktualnych osiągnięciach współczesnych technologii informatycznych związanych z problematyką rozwoju tego rodzaju systemów.
2. Wdrożenie zaproponowanej funkcjonalności systemowej w ramach systemu komputerowego CMS realizującego wspomniany eksperyment w akceleratorze LHC oraz przeprowadzenie z wykorzystaniem obszernych i wyczerpujących ewaluacyjnych badań eksperymentalnych.

Chciałbym stwierdzić, że Autor dobrze opracował problem zaprojektowania, zrealizowania i przebadania proponowanego rozwiązania. Opracowaną przez Autora koncepcję systemu uważam za udaną. Na podkreślenie zasługuje duży wkład pracy Autora w praktyczne zaimplementowanie proponowanej koncepcji. Opracowany i przebadany został prototyp proponowanego systemu.

Znaczenie uzyskanych wyników widzę w dwóch obszarach dyscyplin naukowych. Pierwszym jest informatyka, a drugim fizyka (eksperymentalna). Z punktu widzenia Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym dyscypliną dysertacyjną jest w sposób oczywisty informatyka.

Uwzględniając powyższe oryginalne wyniki stwierdzam, że postawiony cel rozprawy został osiągnięty, a Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi do samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów badawczo-rozwojowych. Na podkreślenie zasługuje również duży wkład pracy Autora w przybliżenie problematyki złożonych obliczeń klasy BIG DATA realizowanych w CERN z wykorzystaniem farm systemów obliczeniowych.



## 4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

W ramach uwag ogólnych pewien niedosyt budzi we mnie brak dyskusji na temat innych możliwych rozwiązań oraz kierunków rozwoju rozpatrywanej kategorii systemów. W pracy zwraca uwagę brak prezentacji rozwiązań alternatywnych w stosunku do zaprezentowanych z perspektywą dyskusji nad wybranymi do dalszych rozważań rozwiązaniami, również w kontekście przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych w rzeczywistym systemie CMS. Takie krytyczne odniesienie się w rozprawie do wyników własnych dokonań, jak i wskazanie i przedyskutowanie nowych propozycji badawczych, pozwala lepiej ocenić swój wkład oraz jego wagę. W pracy zawarto głównie uwagi dotyczące możliwych kierunków dalszych prac nad poprawą tego co zostało już opracowane.

Następna uwaga dotyczy tego, że Autor nie przedstawił formalnego modelu problemu, a przez to pozbawił się możliwości uogólnienia samego problemu oraz uzyskanego rozwiązania. Sądzę także, że należałoby rozważyć zastosowanie modelowania symulacyjnego jako alternatywnego aparatu badawczego. Model formalny pozwoliłby na podjęcie się prób nad stworzeniem rozwiązania analitycznego, a co najmniej na algorytmie bazującym na rozwiązaniach analitycznych, co dalej pomogłoby Autorowi przezwyciężyć wiele trudności związanych z eksperymentowaniem z realnymi systemami, wniosłoby nowe doświadczenia, a przede wszystkim, co uważam za najważniejsze, mogłoby pozwolić na pełniejszą ocenę rozwiązania i uogólnienie rezultatów badań m.in. poprzez wskazanie charakterystycznych cech problemu obliczeniowego, dla którego proponowane podejście byłoby równie skuteczne jak dla eksperymentu CMS.

W ramach uwag szczegółowych i redakcyjnych chciałbym zaznaczyć, że rozprawa została napisana i zredagowana starannie. Tzw. „literówki” występują nielicznie. Układ pracy jest logiczny. Język jest poprawny. Brak jest znaczących usterek stylistycznych. Niemniej jednak Autor nie ustrzegł się drobnych błędów redakcyjnych. Niektóre rysunki zawierają zbyt małe opisy i symbole, często pisane nieczytelną czcionką podwójną. Uważam też, że bibliografia nie powinna zawierać pozycji niepublikowanych.

## 5. Konkluzja

Rozprawa dotyczy szczególnego zadania szeregowania obciążeń związanego z obliczeniami w farmach komputerów wykonujących operacje filtrowania w systemie detektora CMS akceleratora LHC w CERN w Genewie. Autor rozprawy sformułował cele rozprawy w sposób jasny i poprawny. Zapropował oryginalny heurystyczny problemowo ukierunkowany algorytm dynamicznego

szeregowania obciążeń skutkujący odporną na błędy akwizycją danych w systemie CMS. Algorytm zweryfikowano w sposób eksperymentalny w sposób wystarczający. Wyniki badań przedstawiono w sposób poprawny. Otrzymane rezultaty potwierdziły poprawność działania algorytmu. Cele badawcze pracy zostały zrealizowane, a tezy wykazano w sposób wystarczający. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki projektowania systemów rozproszonych, sieci komputerowych oraz pokazał, że potrafi samodzielnie i poprawnie rozwiązywać problemy badawcze. Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają mojej ogólnie pozytywnej oceny pracy.

Podsumowując wszystkie powyższe oceny i uwagi – stwierdzam, że przedstawiona przez mgra inż. Michała Simona praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy. W związku z tym wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

