

dr hab. Tomasz Jurdziński, prof. UWr
Wydział Matematyki i Informatyki
Instytut Informatyki
Uniwersytet Wrocławski
e-mail: tju@cs.uni.wroc.pl

Wrocław, 15.03.2017

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tadeusza Kobusa

zatułowanej:

Transactional Replication: Algorithms and Properties

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Prodziekana Wydziału Informatyki Politechniki Poznańskiej dr. hab. inż. Mikołaja Morzeego, wyrażoną w piśmie z dnia 20 grudnia 2016 roku.

1. Problem badawczy, wyniki rozprawy

Rozprawa doktorska jest bardzo spójnym tematycznie materiałem poświęconym transakcyjnej replikacji danych. Badane zagadnienie można w uproszczeniu przedstawić jako sposób na utrzymywanie i modyfikację danych w systemie rozproszonym, gdzie jakość rozwiązań oceniana jest z punktu widzenia spójności danych i efektywności działania systemu. Autorzy koncentrują się na tzw. replikacji transakcyjnej, w której każde żądanie zgłoszone przez klienta wykonywane jest jako atomowa transakcja.

W rozprawie wychodzi się od dwóch skrajnych podejść: replikacja maszyny stanowej (SMR od ang. State Machine Replication) i replikacja z opóźnioną aktualizacją (DUR od ang. Deferred Update Replication). W pierwszym podejściu każda operacja jest wykonywana na każdej maszynie wchodzącej w skład systemu, wobec czego każda maszyna przechowuje taki sam stan repozytorium. W rozprawie rozważa się wariant, w którym dystrybucja żądań zmian danych w SMR jest realizowana wg Total Order Broadcast (TOB). Drugie podejście zakłada indywidualne wykonywanie transakcji przez maszyny. To z kolei wymaga zapewnienia synchronizacji replik (kopii danych na poszczególnych maszynach).

Aby możliwe było wnioskowanie na temat własności i jakości różnych sposobów implementacji transakcyjnej replikacji, niezbędne jest precyzyjne zdefiniowanie cech jakich oczekujemy od implementowanych metod synchronizacji danych. Tylko wówczas możliwe jest formalne porównanie systemów, ocena ich przydatności w różnych typach usług i wybór rozwiązań w oparciu o kompromis między efektywnością a gwarancjami odnośnie synchronizacji danych.

Niesamowicie dynamiczny rozwój usług realizowanych przez systemy rozproszone (tzw. obliczenia w chmurze) w ostatnich latach wymagał rozwoju narzędzi nieprzystających do tradycyjnych, ugruntowanych technik i rozwiązań. W efekcie naukowe podstawy nie zawsze nadążają za praktyką, która wykuwa się w nieco chaotyczny sposób, często za zamkniętymi drzwiami wiodących graczy przemysłu informatycznego. Oczywista jest w tej sytuacji potrzeba systematycznych kompleksowych badań prowadzących do lepszego zrozumienia działających systemów jak i tworzenia nowych, bardziej efektywnych i elastycznych rozwiązań. Przedłożona rozprawa wpisuje się w oczywisty sposób w ten nurt badań.

Wyniki rozprawy podzielić można na trzy części.

Po pierwsze, zdefiniowana została nowa rodzina własności spójności replikowanych danych: \diamond -opacity i \diamond -linearizability (rozdział 4). Pojęcia te, wywodzące się od wcześniej znanych opacity i linearizability, pozwalają na kompleksowe wnioskowanie o własnościach systemów pamięci transakcyjnej. Dzięki nim stworzona została możliwość formalnego analizowania i porównywania własności badanych systemów.

W rozprawie zbadano też zależności między różnymi wariantami spójności z rodziny \diamond -opacidy i \diamond -linearizability, a także stworzono formalizm, dzięki któremu udowodniono, że „pierwotna” opacidy implikuje „pierwotną” linearizability.

Drugą kluczową częścią rozprawy jest formalna analiza systemów SMR (i ich wariantów) i DUR, z punktu widzenia własności z klasy \diamond -opacidy i \diamond -linearizability (rozdział 5). Dowody tych faktów są czasem żmudne, ale wnioski ciekawe. Ponadto, oba rozwiązania (SMR i DUR) zostały też porównane symulacyjnie, dla różnorodnych wzorców obciążeń systemu. Analiza ta m.in. ciekawie ilustruje sytuacje, w których przewagę mają poszczególne schematy. W tym fakt, że nie-skalowalność systemów typu SMR nie zawsze eliminuje je jako alternatywę dla DUR (na przykład w sytuacji, gdy wiele wykonywanych operacji operuje na tych samych danych, konieczność sekwencyjnego wykonania jest nieuchronna, próby wykonania współbieżnego w DUR powiększają jedynie ruch w sieci).

Kluczowym dopełnieniem rozprawy jest nowy schemat replikacji nazwany hybrydową replikacją danych (HTR, od ang. Hybrid Transactional Replication). Pozwala ona na wykonywanie poszczególnych transakcji zarówno współbieżnie (w „trybie” DUR) jak i sekwencyjnie (w „trybie” SMR). A tryb wykonania może być dobierany dynamicznie, w oparciu o wiedzę zgromadzoną w trakcie działania systemu. Takie hybrydowe podejście jest naturalnym rozwiązaniem w praktyce. Stworzenie narzędzi do formalnej analizy tego typu systemów stanowi oczywisty kierunek badawczy uzupełniający praktykę IT. Pan Kobus opisuje ideę takiego rozwiązania, następnie prezentuje je w bardziej konkretnej postaci i oferuje konkretną implementację. W rozprawie przeanalizowano formalne własności zaprezentowanego rozwiązania, w kategoriach opacidy i linearizability. Kluczem do efektywności systemu HTR jest dostosowywanie systemu do charakterystyki pojawiających się żądań/transakcji. W rozprawie zaproponowano szereg takich „polityk”. W szczególności zaimplementowana została metoda, w której do wyboru trybu wykonania transakcji zastosowano techniki uczenia maszynowego. Następnie przeprowadzono kompleksowe testy ewaluacyjne porównujące zaprojektowany HTR z systemami SMR i DUR. Co ważne, testy potwierdziły wydajność zaproponowanego systemu – jego wydajność jest nie gorsza od sztywnych rozwiązań SMR i DUR, dla niektórych typów obciążeń jest do 50% lepsza.

Nie mam najmniejszej wątpliwości, że opisane powyżej problemy i badania mają ściśle naukowy charakter, będąc jednocześnie dobrze umotywowane praktyką współczesnego przemysłu IT. Rozprawa tworzy spójną koncepcyjnie całość, w której elementy analizy formalnej (nowa własności spójności), modelowania systemów (w tym wprowadzenie HTR), implementacji i symulacji wzajemnie się uzupełniają i tworzą rozwiązanie postawionego problemu – stworzenie narzędzi do formalnej analizy i budowy elastycznych systemów schematów replikacji danych w systemach rozproszonych.

2. Wkład autora, wartość uzyskanych wyników

Wprowadzone rodziny pojęć \diamond -opacidy i \diamond -linearizability stwarzają możliwość formalnego wnioskowania o rozproszonych systemach transakcyjnych. Potwierdziły to w szczególności wyniki rozprawy. Sądzę, że narzędzia te będą szeroko stosowane w badaniach rozproszonych systemów z replikacją. Wysoko oceniam również samą formalną analizę systemów DUR i SMR, niezależnie od tego, że same dowody są czasem rutynowe (doktorant miał tego świadomość, zamieszczając część dowodów w Appendix). Być może najważniejszym elementem rozprawy jest zaproponowany system HTR. Na uznanie zasługuje zarówno precyzyjny projekt, jak analiza formalnych własności, implementacja i ewaluacja na różnych wzorach obciążeń i porównanie na różnych wzorcach obciążeń. Dzięki implementacji i testom ewaluacyjnym potwierdzić można było nie tylko jego własności formalne, ale i potencjalną przydatność w praktyce.

Elementem, który pozostawia wg mnie drobny niedosyt jest mało przekonujące uzasadnienie dla zastosowania metod uczenia maszynowego w procesie wyboru trybu wykonania transakcji w systemie HTR. Sądzę, że warto rozważyć bardziej „algorytmiczne” metody, być może wprowadzić adekwatne miary „rozproszenia” dla obciążeń systemu. Być może takie narzędzie pozwoliłyby też lepiej scharakteryzować wzorce obciążeń, w których uzasadnione jest stosowanie DUR czy SMR. Usprawiedliwieniem dla doktoranta jest oczywiście fakt, że rozprawa w obecnej wersji już stanowi bardzo obszerny materiał i trudno oczekiwać zawarcia w niej wszystkich aspektów tak szerokiego zagadnienia jakim jest sposób realizacji rozproszonej replikacji danych.

Rezultaty rozprawy zostały zaprezentowane w dwóch publikacjach czasopismowych (IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Journal on Parallel and Distributed Computing) oraz trzech sprawozdaniach recenzowanych konferencji. Na podkreślenie zasługują miejsca publikacji wyników. Oprócz dobrych wskaźników Impact Factor, oba czasopisma, w których prezentowane są wyniki należą wg CORE¹ do 7% najlepszych czasopism informatycznych. Dwie spośród publikacji w sprawozdaniach konferencyjnych zostały przyjęte na konferencje zaliczane wg CORE do 14% najlepszych konferencji informatycznych (SRDS i ICDCS). O uznaniu dla uzyskanych wyników świadczy również zaproszenie do ich prezentacji w wydanym przez Springer przeglądzie najnowszych osiągnięć ekspertów zajmujących się pamięcią transakcyjną: *Transactional Memory Foundations, Algorithms, Tools, and Applications*.

Publikacje Pana Kobusa (w tym wchodzące w skład rozprawy) zyskały duże zainteresowanie środowiska naukowego, o czym dobitnie świadczą liczne już cytowania niektórych prac. W szczególności, wg Google Scholar, praca wprowadzająca HTR ma już 37 cytowań, a wśród cytujących są badacze z różnorodnych ośrodków naukowych.

Zwróciły też moją uwagę dwa wnioski patentowe doktoranta (wraz z promotorem i M. Kokocińskim). Nie potrafię jednak na podstawie treści rozprawy ocenić ich bezpośredniego związku z uzyskanymi w rozprawie wynikami.

3. Poprawność

Poprawność formalnej analizy własności poszczególnych schematów replikacji nie budzi moich wątpliwości. Na szczególne uznanie zasługuje fakt, że analizowane schematy replikacji zostały zaimplementowane i kompleksowo przeanalizowane na różnorodnych benchmarkach. W ten sposób możliwe było eksperymentalne potwierdzenie jakości proponowanych rozwiązań. Wysoko też oceniam zastosowane kryteria oceny i sposób zilustrowania wyników.

4. Wiedza kandydata

Rozdział 2 rozprawy stanowi kompleksowy przegląd badań w tematyce pamięci transakcyjnej, schematów replikacji i związanych z nimi zagadnień. W moim przekonaniu jest to obszerny materiał świadczący o bardzo dobrej znajomości dziedziny, kontekstu prowadzonych badań. Co więcej, rozdział ten stanowi ciekawe wprowadzenie dla czytelnika nie zajmującego się na co dzień replikacją transakcyjną. O wiedzy i umiejętnościach kandydata świadczą też dobitnie uzyskane wyniki. Wymagały one wiedzy i sprawności w formalnej analizie i modelowaniu systemów współbieżnych i rozproszonych. Ponadto, doktorant wykonał implementacje i przeprowadził eksperymenty z użyciem systemów Paxos

¹ CORE to rankingi sporządzone przez The Computing Research and Education Association of Australasia, dość powszechnie uważane za bardziej adekwatne dla informatyki od Impact Factors i stosowane w wielu innych krajach. Co ważne, CORE obejmuje również konferencje informatyczne, których znaczenie w publikowaniu wyników z obszaru informatyki jest nie mniejsze od publikacji w czasopiśmie.

i JPaxos, dobierając w wyrafinowany sposób dane testowe i przeprowadzając kompleksową analizę. Zaproponowany został również nowy schemat HTR, wraz z implementacją oraz kategoryzacją zapytań w oparciu o techniki uczenia maszynowego.

Powyższe wyraźnie wskazuje, że powstanie wyników rozprawy wymagało zarówno rozległej wiedzy informatycznej jak i umiejętności z warsztatu zaawansowanego inżyniera oprogramowania.

5. Inne uwagi

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że dorobek naukowy Pana Kobusa wykracza poza materiał rozprawy doktorskiej – jest współautorem czterech innych publikacji, przyjętych do sprawozdań uznanych międzynarodowych recenzowanych konferencji.

Na osobną uwagę zasługuje bardzo staranny, wręcz perfekcyjny sposób zredagowania pracy. Dotyczy to zarówno warstwy językowej jak i formalnej/technicznej. Pracę dobrze się czyta, jest skonstruowana w przemyślany sposób. Dojrzałość w tym aspekcie robi duże wrażenie.

Wydaje mi się, że warto popularyzować praktykę, iż oprogramowanie wytworzone w ramach pracy badawczej i umożliwiające potwierdzenie uzyskanych wyników jest udostępniane publicznie. Zalecałbym takie rozwiązanie w przypadku wyników rozprawy.

6. Podsumowanie

Zgodnie z prośbą skierowaną z Wydziału Informatyki Politechniki Poznańskiej, przedstawiam poniżej „ankietową” ocenę rozprawy pod względem trzech kryteriów:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka lub Automatyka i Robotyka?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

C. Czy kandydat umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

Podsumowując, rozprawa przedstawia wartościowe wyniki bardzo spójnego programu badawczego o dużej wartości dla praktyki współczesnego przemysłu IT. Uzyskane wyniki są na wysokim międzynarodowym poziomie. Dotyczy to zarówno narzędzi do formalnej analizy rozproszonych systemów z replikacją danych jak i projektu, implementacji i ewaluacji systemu HTR, porównania go ze schematami SMR i DUR. Potwierdzają to m.in. miejsca publikacji wyników i cytowania przez innych uczonych.

Uważam, że rozprawa w pełni spełnia wymogi ustawy o stopniach i tytule naukowym i wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę jakość uzyskanych rezultatów uważam, że uzasadnione jest wyróżnienie rozprawy.



Pis

