

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Warszawa, 14 marca 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 4 kwietnia 2017 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Macieja Lipińskiego

temat: “Methods to increase reliability and ensure determinism in a White Rabbit network”

promotor – prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk z Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

dr hab. inż. Przemysław Krehlik, prof. Akademii Górniczo-Hutniczej

dr hab. inż. Janusz Marzec, prof. Politechniki Warszawskiej

Obrona odbędzie się w dniu 4 kwietnia 2017 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 11.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Tytuł polski: Metody zwiększenia niezawodności i zapewnienia determinizmu w sieci White Rabbit

Tytuł angielski: Methods to Increase Reliability and Ensure Determinism in a White Rabbit Network

Autor: Maciej Lipiński

Promotor: Prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Streszczenie:

Europejska Organizacja Badań Jądrowych (CERN) stosuje od dziesięcioleci w swoich akceleratorach ten sam system sterowania i synchronizowania urządzeń, którego granice możliwości konstrukcyjnych zostały obecnie osiągnięte. Dlatego rozpoczęte zostały prace nad systemem nowej generacji nazwanym *White Rabbit*. Aby zapewnić elastyczność, uniwersalność i wieloletnie wsparcie systemu White Rabbit przez firmy komercyjne postanowiono, że system ten oparty będzie na powszechnie znanych i stosowanych technologiach sieciowych pomimo, iż żadna z nich nie spełnia wymagań stawianych przyszłej sieci sterowania i synchronizowania akceleratorów.

W ramach niniejszej pracy doktorskiej opracowane i zaimplementowane zostały dwie specjalne usługi, które rozszerzają standardy sieciowe pozwalając spełnić bezprecedensowe wymagania stawiane systemowi White Rabbit. Pierwsza zapewnia dostarczenie w ściśle określonym czasie krytycznych informacji, które koordynują działania akceleratorów – zapewnia determinizm sieci. Druga zwiększa prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania sieci przez co najmniej rok – zwiększa niezawodność sieci. W ramach doktoratu opracowano również wytyczne projektowania sieci, która te usługi wykorzystuje. Wyniki osiągnięte przez opracowane w ramach doktoratu specjalne usługi przewyższają te osiągnięte przez oryginalne standardy, na których bazie usługi te powstały, tj. Virtual Local Area Network, Shortest Path Bridging oraz Precision Time Protocol. Jeśli chodzi o niezawodność to zarówno jakość synchronizacji jak i ilość utraconych danych podczas przełączania między alternatywnymi ścieżkami zostały poprawione 1000-krotnie w porównaniu do najlepszych implementacji oryginalnych standardów. Jeśli chodzi o determinizm to, w najgorszym wypadku, czas dostarczenia krytycznych informacji przez sieć White Rabbit jest czterokrotnie lepszy od innych rozwiązań. Korzystając z opisanych w doktoracie rozwiązań można stworzyć sieć White Rabbit, która pozwala na sterowanie i synchronizowanie wszystkich akceleratorów w CERN.

Fakt, iż urządzenia White Rabbit współdziałają z urządzeniami implementującymi popularne standardy bazowe sprawia, że White Rabbit staje się coraz powszechniej używanym systemem do sterowania, zbierania danych i synchronizowania urządzeń w instalacjach naukowych. White Rabbit ma wiele zastosowań, m.in w CERN do diagnostyki Wielkiego Zderzacza Hadronów, a poza CERN w Obserwatorium Promieniowania Kosmicznego na Dużej Wysokości w Tybecie. Lista zastosowań jest długa i ciągle się powiększa. W wielu z tych zastosowań usługi opracowane w ramach tego doktoratu będą miały niemałe znaczenie.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Macieja Lipińskiego

zatytułowanej:

Methods to Increase Reliability and Ensure Determinism in a White Rabbit Network

I. Informacje ogólne

Celem naukowym rozprawy było opracowanie i przebadanie metod zwiększenia niezawodności i determinizmu transmisji krytycznych informacji sterujących pracą rozproszonej aparatury w ośrodku Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN, oraz utrzymania ciągłości precyzyjnej synchronizacji tejże aparatury w przypadku zaburzeń w pracy sieci sterującej. Tematyka rozprawy wpisuje się w szerszy kontekst projektu White Rabbit (WR), w ramach którego od roku 2008 opracowywana jest sieć synchronizacji i transmisji danych, która obsługiwała będzie cały ośrodek CERN.

Tak sformułowany cel badań jest ciekawy i niezmiernie aktualny. Technologia White Rabbit, mimo że jest ciągle rozwijana i jeszcze nie znalazła pierwotnego zastosowania w CERN, wzbudziła szerokie zainteresowanie w środowiskach podejmujących rozproszone przestrzennie eksperymenty fizyczne i astronomiczne (np. radioastronomiczna interferometria długobazowa VLBI, instalacje do rejestracji promieniowania Czerenkowa CTA), a także w środowiskach metrologii czasu i generacji atomowych skal czasu.

Prace Autora wpisują się dobrze w ogólną filozofię projektu WR, który świadomie rezygnuje z budowy całkowicie nowego rozwiązania, lecz dąży do zwiększenia funkcjonalności istniejących standardów sieciowych poprzez dodanie nowych usług oraz opracowanie urządzeń sieciowych wspierających nowe wymagania. Prezentowane badania mają zarówno aspekt teoretyczny (opracowanie i analiza matematyczna nowych funkcjonalności), jak też implementacyjny, głównie w postaci modułów programowych oraz implementacji opracowanych rozwiązań na poziomie języków opisu sprzętu. Występują też wątki ściśle eksperymentalne, co dopełnia szeroki wachlarz metod i narzędzi badawczych.

II. Struktura rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa, napisana w języku angielskim, liczy 219 stron i składa się z czterech zasadniczych rozdziałów przedstawiających autorskie dokonania Doktoranta (rozdziały 4 - 7), poprzedzonych wprowadzeniem (rozdział 1), określeniem celu i zakresu pracy (rozdział 2), oraz przedstawieniem sytuacji wyjściowej, tj. mechanizmów związanych z niezawodnością i determinizmem dostarczania danych w standardowej sieci Ethernet (rozdział 3). Pracę zamyka podsumowanie, po którym autor zamieścił dziesięć dodatków, zawierających cenne informacje szczegółowe. Zamieszczony spis cytowanej literatury zawiera 112 pozycji, i zdominowany jest odwołaniami do standardów i rekomendacji sieciowych, oraz materiałami internetowymi, ze stosunkowo niewielką ilością

publikacji o charakterze ściśle naukowym. W siedmiu przypadkach Doktorant jest współautorem cytowanych prac.

Cykl kluczowych sekcji pracy rozpoczyna rozdział 4, w którym Autor przedstawia i analizuje zaproponowane rozwiązania umożliwiające osiągnięcie ciągłości pracy sieci i wymaganych parametrów, w tym również w przypadku awarii połączeń światłowodowych lub przełączników sieciowych (*switch*). Wymagania funkcjonalne sformułowane przez CERN zostały przełożone na parametry sieciowe, dokonano ilościowej analizy możliwych zaburzeń pracy sieci. W szczególności w wyniku tych badań zaproponowano nadmiarową topologię *mesh* z ograniczoną ilością połączonych kaskadowo przełączników oraz kodowanie FEC, określono wymagania odnośnie maksymalnego czasu rekonfiguracji przełączników oraz koniecznych redundantnych ścieżek synchronizacji.

W rozdziale 5 rozważane są zagadnienia ciągłości i stabilności synchronizacji węzłów końcowych w przypadku rekonfiguracji sieci, będącej następstwem możliwej awarii sprzętu i połączeń światłowodowych. Autor zaproponował i opracował implementację wielokanałowej pętli PLL, która synchronizując zegar przełącznika sygnałem z portu aktywnego, jednocześnie „jest przygotowana” na płynne przełączenie się na port zapasowy w przypadku zaistnienia awarii. Ponadto zaproponowano i opracowano stosowne modyfikacje obsługi protokołu PTP. Rozdział kończą praktyczne testy i pomiary zaimplementowanych rozwiązań.

Rozdział 6 prezentuje opracowane mechanizmy umożliwiające efektywne wykorzystanie nadmiarowej topologii sieci do zapewnienia ciągłej i deterministycznej transmisji krytycznych informacji sterujących, również w przypadku zadziałania mechanizmów rekonfiguracji sieci związanej z możliwymi awariami. Zaproponowane rozwiązania zostały zweryfikowane poprzez pomiary opóźnień propagacji krytycznych czasowo ramek, oraz wpływu procesu rekonfiguracji sieci na ich transport.

W rozdziale 7 Autor przedstawia kompletny projekt sieci WR spełniający wymagania nowej sieci kontrolno-synchronizującej dla ośrodka CERN, mającej w założeniu obsługiwać ponad 2000 węzłów końcowych. W projekcie tym uwzględnione zostały opracowane przez Autora rozwiązania zwiększające niezawodność i determinizm sieci. W odróżnieniu od szczegółowych analiz przedstawionych w rozdziałach poprzednich, w rozdziale tym zaprezentowano całościowe, kompletne rozwiązanie docelowej struktury sieci i zaimplementowanych mechanizmów.

Oceniając strukturę przedłożonej rozprawy, należy stwierdzić, że jest ona poprawna i klarowna. Bardzo wartościowe są dodatki, w których autor zawarł szereg istotnych informacji, zarówno dotyczących bezpośrednio swoich badań, jak też szerszego kontekstu projektu WR. Od strony językowej i edytorskiej praca przygotowana jest starannie. Jej zasięg oddziaływania niewątpliwie istotnie przekroczy obszar wyznaczony procedurą przewodu doktorskiego.

III. Ocena wartości merytorycznej rozprawy

Zdefiniowany przez autora cel pracy - opracowanie i implementacja mechanizmów (usług) zapewnienia determinizmu transferu krytycznych danych sterujących i zwiększenia niezawodności rozległej sieci WR zgodnie z wygórowanymi wymaganiami CERN - to zamierzenie ambitne i rozległe tematycznie. Jego realizacja wymagała zarówno dużej wiedzy teoretycznej, jak też umiejętności o charakterze projektowym. Warto podkreślić, że praca porusza się w rozległym obszarze trzech dyscyplin: elektroniki, telekomunikacji i informatyki.

W szczególności do wymiernych osiągnięć doktoranta należy zaliczyć:

- opracowanie ogólnej strategii zwiększenia niezawodności i determinizmu sieci WR, zorientowanej na spełnienie wymagań przyszłej sieci kontrolno-synchronizacyjnej

CERN, określenie wymagań dla przełączników sieciowych w zakresie szybkości rekonfiguracji ścieżek transmisji danych i utrzymania ciągłości synchronizacji;

- zaproponowanie rozwiązań zapewniających ciągłość precyzyjnej synchronizacji węzłów WR, w szczególności wielokanałowej pętli PLL zapewniającej ciągłość synchronizacji przy przełączaniu na zapasowe porty synchronizujące;
- praktyczna implementacja i badania opracowanego systemu synchronizacji przy różnych wariantach redundancji sieci;
- opracowanie algorytmów i rozwiązań sieciowych zwiększających niezawodność i determinizm transportu danych w zaproponowanej wcześniej topologii sieci, oraz praktyczne badania skuteczności wdrożonych metod;
- przedstawienie całościowego projektu referencyjnego przyszłej sieci kontrolno-synchronizacyjnej zgodnej z zasadniczymi wymaganiami CERN.

Rezultatem podjętej przez doktoranta pracy jest opracowanie całościowego i wewnętrznie spójnego zestawu rozwiązań zapewniających spełnienie bardzo wygórowanych wymagań niezawodnościowych CERN. W stosunku do istniejących rozwiązań, zarówno w dziedzinie protokołów jak i urządzeń sieciowych, uzyskano poprawę konkretnych wskaźników od kilku do tysiąca razy. Mimo pewnych zastrzeżeń i wątpliwości przedstawionych poniżej **uwagam, że cel pracy został w pełni osiągnięty.**

O wysokiej wartości podjętych badań, poza oceną przedłożonej rozprawy, świadczy też pośrednio fakt, iż Autor realizował je w ramach międzynarodowego projektu WR, skupionego wokół realnych potrzeb Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN. Dzięki tym badaniom Maciej Lipiński jest postacią rozpoznawalną w szerokich środowiskach osób stykających się z projektem WR.

IV. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Wątpliwości budzi przyjęta metoda obliczania prawdopodobieństwa bezawaryjnej pracy sieci. Jako parametry tych obliczeń przyjęto prawdopodobieństwo uszkodzenia przełącznika sieciowego oraz światłowodu, wyrażone parametrem MTBF (podrozdział 4.2). Jak można się domyślać, Autor założył *implicite* losową niezależność awarii poszczególnych elementów, co wydaje się mało realistyczne. Przykładowo awaria włókna światłowodowego prawie zawsze faktycznie oznacza awarię całego wielożyłowego kabla, lub kilku kabli ułożonych we wspólnej kanalizacji technicznej. Podobnie można sobie wyobrazić jako niepomijalne ryzyko awarii kilku przełączników, związanej z awarią systemu zasilania obsługującego pewien segment sieci.
2. Nie jest zrozumiałe, dlaczego wolny dryft fazy pomiędzy aktywną i (kilkoma) zapasowymi ścieżkami synchronizacji nie jest traktowany jako symptom awarii ścieżki aktywnej, podobnie jak w przypadku dryftu szybkiego (podrozdział 5.2.4). Dlaczego dowolnie dużą wartość takiego dryftu uważa się za prawdopodobną w sytuacji poprawnej pracy ścieżki aktywnej i zapasowych?
3. Eksperyment dotyczący stabilności oscylatora w trybie *holdover* (podrozdział 5.2.7) nie jest dostatecznie opisany. Nie jest jasne, czy Autor wykonał pomiary dla jednego oscylatora, czy dla większej grupy, co byłoby bardziej miarodajne. Przedstawiona na rys. 5.11 rodzina krzywych odnosi się do różnych zaawansowanych metod sterowania oscylatora w czasie *holdover*, co ani nie jest wystarczająco wyjaśnione, ani nie jest wykorzystane w dalszej części pracy. Na marginesie: Autor pracy, oraz wiele innych osób zaangażowanych w projekt WR deklaruje od kilku lat, iż parametry synchronizacyjne tej technologii byłyby wyraźnie lepsze, gdyby zastosować stabilniejszy oscylator (podrozdział 5.2.7, dodatek J). Trudno zatem zrozumieć, dlaczego do tej pory nie przeprowadzono elementarnych testów w tym zakresie.

4. W rozdz. 5.6.5 Autor stwierdza, że największy możliwy (*worst case*) skok fazy przy przełączaniu na ścieżkę zapasową wynosi 800 ps. Nie jest jasne, czy jest to wynik jakiejś analizy, czy uogólnienie nielicznych testów przeprowadzonych w różnych konfiguracjach (po trzy testy dla każdego wariantu).

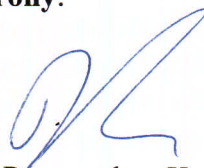
5. Niezbyt przekonujące jest stanowisko Autora wobec zaproponowanego sposobu kodowania nadmiarowego FEC, które w przyjętej formie charakteryzuje się bardzo dużym kosztem w postaci kilkukrotnego zwiększenia generowanego ruchu danych. Jeżeli przyjęte kodowanie ma służyć redukcji efektywnej stopy błędów (korekcja błędów), tak ogromna nadmiarowość nie jest konieczna. Jeżeli ma likwidować skutki relatywnie długich przerw w transmisji, spowodowanych przełączaniem uszkodzonych ścieżek (rzędu kilku mikrosekund), co najmniej równie racjonalna wydaje się prostsza metoda dzielenia długich bloków danych na małe ramki, i powtarzanie ich z odpowiednim przeplotem, tak by kompletny „zestaw” ramek pojawił się częściowo przed, a częściowo po przerwie w transmisji. Autor wydaje się dochodzić do podobnego wniosku na str. 149, jednakże już na str. 150 znów uważa, że metoda generacji bloków kontroli parzystości „dramatycznie” zwiększa niezawodność transmisji.

6. Uwagi szczegółowe mniejszej wagi:

- Autor używa bardzo często sformułowania „bardziej optymalny”, które uważa się raczej za niepoprawne.
- Autor często używa sformułowań „*tests (lub: experiments) showed (lub: proved)*”, nie opisując w żaden sposób tychże eksperymentów, co utrudnia ocenę zasadności wyciąganych wniosków. Przykładowo stwierdzenia takie występują na str. 66, 68, 71.
- Autor podaje wyniki liczbowe eksperymentów i symulacji z dokładnością pięciu miejsc znaczących w sytuacjach, gdy mają one w gruncie rzeczy charakter przykładowy i orientacyjny, i pochodzą często z arbitralnie przyjętych danych wejściowych lub nielicznej statystycznie próby eksperymentalnej.

V. Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca, mimo drobnych uchybień, jest bardzo ciekawa i wartościowa naukowo, oraz że autor wykazał dobre przygotowanie teoretyczne i umiejętność prowadzenia kreatywnej pracy naukowej oraz projektowej, swoją pracą wnosząc istotny wkład do dużego międzynarodowego projektu badawczego. **Uważam, że przedłożona rozprawa z nadmiarem spełnia wymagania określone przez Ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz wnoszą o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**



dr hab. inż. Przemysław Krehlik

**KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: Methods to Increase Reliability and Ensure Determinism in a White Rabbit Network

Autor rozprawy: mgr inż. Maciej Lipiński

Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Celem Autora było opracowanie rozszerzenia standardu White Rabbit tak, aby sieć komputerowa tego standardu mogła być wykorzystana do sterowania kompleksem akceleratorów Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN.

White Rabbit to rozszerzenie standardu sieci Ethernet (z zachowaniem wstecznej kompatybilności) implementowane w urządzeniach przełączających (switchach) w którym zegary tych urządzeń są synchronizowane z wykorzystaniem mechanizmu pętli fazowej na podstawie informacji czasowej zawartej w ramach danych, korygowanej przy pomocy rozszerzonego protokołu PTP. Dzięki tym rozwiązaniom, sieć komputerowa White Rabbit może być wykorzystana do synchronizacji wielu urządzeń rozrzuconych na obszarze pokrywany przez sieć Ethernet, a więc na dystansie do 10 km, z dokładnością lepszą niż 1 ns i precyzją lepszą niż 50 ps.

Prace nad White Rabbit są prowadzone w CERN od 2008 roku, z fundamentalnym wkładem polskiej grupy z ISE PW, z myślą o wykorzystaniu tej sieci do sterowania kompleksem akceleratorowego. Choć pierwotny zamysł nie został jeszcze zrealizowany, to popularność White Rabbit rośnie – są już dostępne na rynku komercyjne switche tego standardu, sieć White Rabbit ma być wykorzystywana w kilku planowanych eksperymentach fizycznych zmagających się z problemem precyzyjnej synchronizacji czasu na średnich dystansach, np. w podmorskich eksperymentach neutrinowych czy eksperymentach astrofizycznych.

Sterowanie kompleksem akceleratorów stwarza nowe wymagania, których jak dotąd sieć White Rabbit nie spełnia. W odróżnieniu od eksperymentów fizycznych gdzie gromadzimy dane z wielu detektorów i można zaakceptować utratę niektórych danych w sytuacji awaryjnej, tutaj chcemy sterować około 2 tysiącami komputerów wykonawczych sterujących elementami infrastruktury akceleratorów. Każde polecenie musi dotrzeć do adresata z niewielkim akceptowalnym opóźnieniem także w sytuacji awarii elementu infrastruktury sieci, co więcej sytuacja awaryjna nie może, nawet chwilowo pogorszyć precyzji synchronizacji czasu.

W rozprawie Autor prezentuje zestaw rozwiązań mających zapewnić możliwość wykorzystania technologii White Rabbit do sterowania akceleratorami w CERN. Są to zarówno propozycje redundancji w sieci (sprzętowej i przesyłanych danych) jak i modyfikacji oprogramowania realizującego koncepcję pętli fazowej i protokołu PTP. Modyfikacje opro-

gramowania switchy, na poziomie układów FPGA, zostały zaimplementowane sprzętowo i przeszły pomyślnie testy.

Praca ma charakter bardzo zaawansowanego projektu technicznego, z pewnym udziałem rozważań teoretycznych, w szczególności dotyczących niezawodności. Występują w niej wątki eksperymentalne - testowanie zaimplementowanych rozwiązań sprzętowych i pomiary jakości synchronizacji w wielowarstwowej sieci White Rabbit.

Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Proponowane przez Autora i prezentowane w pracy rozwiązania zapewniające wysoką niezawodność sieci White Rabbit są całkowicie oryginalne. Po pierwsze, Autor zaproponował, zrealizował i przetestował oryginalny mechanizm redundantnej pętli fazowej zapewniający płynne, tzn. z pogorszeniem jakości synchronizacji w akceptowalnych granicach, przełączenie źródła sygnałów synchronizujących w przypadku awarii sieci. Po drugie, opracował, zrealizował i przetestował jednostkę rozpoznającą topologię sieci współpracującą ze zmodyfikowanym oprogramowaniem switcha umożliwiającą szybkie przełączenie ścieżki transmisji danych bez ich utraty. Oba te oryginalne rozwiązania pozwalają po raz pierwszy na realizację celu jaki leżał u podstaw powstania koncepcji sieci White Rabbit. Jest to niewątpliwie bardzo duże i ważne osiągnięcie Autora (na skalę światową).

Wartościowe są także bardziej ogólne rozważania autora prowadzące do „przetłumaczenia” ogólnych wymagań dotyczących sieci kontrolnej akceleratorów CERN na szczegółowe wymagania odnośnie przełączników sieciowych w zakresie szybkości przełączania ścieżek transmisji danych i zapewnienia przy tym wymaganej jakości synchronizacji. Swoją wartość ma także, prezentowana w zakończeniu pracy, całościowa koncepcja struktury sieci kontrolnej kompleksu akceleratorowego CERN.

Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Praca zredagowana bardzo dobrze. Dobrze wyważone proporcje między poszczególnymi częściami pracy. Wywód klarowny, praca napisana zrozumiałym językiem. Pewne wątpliwości może budzić objętość pracy i pojawiające się niekiedy powtórzenia. Biorąc jednak pod uwagę materię pracy, a w szczególności wiele odwołań do standardów i protokołów sieciowych, co powoduje, że nie jest to lektura łatwa, próbę dostarczenia czytelnikowi maksymalnej liczby informacji pomocniczych, w licznych dodatkach, należy pochwalić. Duża liczba celnie dobranych ilustracji pomocnych w zrozumieniu pracy. Edycja pracy wzorowa – wszystkie rysunki czytelne. Decyzja autora o napisaniu pracy w języku angielskim była decyzją słuszną. Umożliwi to udostępnienie cennego dorobku autora osobom zainteresowanym zagadnieniami synchronizacji czasu w rozległych systemach. Docierają do mnie sygnały, że już wzbudziła duże zainteresowanie.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Pomimo dużej staranności redakcji, autorowi nie udało się uniknąć kilku pomyłek. Np. na stronie 50 opisując rys. 4.5 formułuje zaskakujący (wbrew rysunkowi) wniosek, że staranna kalibracja obniża dokładność.

Znacznie poważniejszym zarzutem jest podanie na str. 34 błędnej definicji średniego czasu międzyawaryjnego MTBF. Autor definiuje go jako czas po którym połowa urządzeń ulega awarii. Definicja taka mogłaby być prawdziwa tylko w przypadku gdyby zmien-

na losowa jaką jest czas między awariami miała rozkład symetryczny. Zresztą w dalszych rozważaniach, na tej samej stronie, autor zakłada rozkład tego czasu w postaci wykładniczej, który to rozkład wykładniczy symetrycznym z pewnością nie jest.

Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

Recenzowana rozprawa opisuje pewien etap prac autora w ramach projektu White Rabbit, w którym uczestniczy prawie od jego początku, jakim było stworzenie rozwiązań pozwalających zrealizować sieć sterowania akceleratorów CERN. Przyszłość pokaże, czy jego propozycja znajdzie praktyczne zastosowanie. Trzeba pamiętać, że trwają intensywne prace na szczeblu IEEE nad standardem PTP w których to pracach autor uczestniczy (IEEE 1588). Nie można wykluczyć, że przynajmniej niektóre z przedstawionych przez autora propozycji staną się w pewnym momencie częścią oficjalnego standardu międzynarodowego.

Biorąc powyższe pod uwagę i uwzględniając duży nakład pracy jaki był wymagany przy jej realizacji nie waham się uznać rozprawy za **spełniającą wymagania z wyrażonym nadmiarem** i wnioskować o dopuszczenie do jej obrony

podpis

