

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Patan,
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych
Uniwersytet Zielonogórski

Zielona Góra, 10 maja 2021

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEE

Wpłynęło dnia 17.05.21
Zarejestrowano pod nr
Podpis *dmr*

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tian Cong

Statistical reasoning of fault occurrences in industrial applications

1 Podstawa prawna

Recenzja została przygotowana na wniosek Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika z dnia 4 lutego 2021 r. Przewód doktorski został wszczęty 25 stycznia 2018 r. w dyscyplinie automatyka i robotyka. Zgodnie z klasyfikacją określoną w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2018 poz. 1818) odpowiada to dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

2 Obszar problemowy rozprawy

Obecnie jesteśmy świadkami niezwykle dynamicznego rozwoju instalacji przemysłowych, zakładów produkcyjnych i linii technologicznych. Tak skomplikowane instalacje przemysłowe powinny być projektowane w taki sposób, aby spełnić wysokie wymagania niezawodnościowe i bezpieczeństwa pracy. Niestety, wraz ze stopniem skomplikowania rzeczywistych instalacji przemysłowych ich podatność na uszkodzenia, nieprawidłowe działanie czy nieprzewidziane tryby pracy również wzrasta. Z tego względu diagnostyka uszkodzeń odgrywa niezwykle ważną rolę. Wczesne wykrycie uszkodzenia umożliwia podjęcie odpowiednich działań prewencyjnych, dzięki którym można uniknąć poważnego uszkodzenia instalacji, zagrożenia życia załogi oraz wysokich kosztów naprawy instalacji.

Rozprawa jest poświęcona zastosowaniu statystycznych metod diagnostycznych do monitorowania pracy procesów przemysłowych (*ang.* process condition monitoring, PCM). Doktorantka postawiła sobie cel naukowy w postaci opracowania uniwersalnych metod monitorowania procesów przemysłowych o różnym stopniu złożoności. Głównym zadaniem opracowanych metod jest polepszenie jakości detekcji uszkodzeń, w tym skrócenie czasu wykrycia uszkodzenia jak również zmniejszenie wskaźnika fałszywych alarmów. Do zrealizowania tak postawionego celu doktoranta przeanalizowała: (i) klasyfikator binarny (*ang.* Binary Classifier for Fault Detection, BaFFle) do monitorowania procesu jednomodowego, (ii) procesy Dirichleta i modele gausowskie (*ang.* Dirichlet Process-Gaussian Mixture Models, DP-GMMs) do

automatycznej klasteryzacji danych w przypadku braku wiedzy o liczbie klastrów, (iii) zmodyfikowany filtr Kalmana (*ang.* Field Kalman Filter, FKF) do rozwiązania problemu pracy procesu przemysłowego w różnych trybach pracy.

Tak zarysowaną problematykę rozprawy uważam za istotną i aktualną. Każda metoda powodująca skrócenie czasu wykrycia uszkodzenia przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby fałszywych i przeoczonych alarmów jest warta przebadania, ponieważ umożliwia zbudowanie systemu diagnostycznego o większej czułości, a co za tym idzie zwiększenie poziomu niezadowności i bezpieczeństwa pracy procesu przemysłowego. Fakt ten decyduje o pozytywnej ocenie wybranego tematu jako przedmiotu opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Problem naukowy rozważany w rozprawie doktorskiej jest ściśle związany z dyscypliną naukową **automatyka, elektronika i elektrotechnika** i obszarem **automatyka i robotyka**.

3 Układ rozprawy

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim oraz zawiera streszczenie w języku polskim. Zawiera 113 stron i składa się na nią 7 rozdziałów głównych, wykaz literatury obejmujący 238 pozycji oraz 2 dodatki.

We wstępie Doktorantka bardzo krótko przedstawia problem monitorowania pracy procesów przemysłowych oraz podaje wykaz nowych metod monitorowania, które są rozważane w doktoracie. Wstęp zawiera także strukturę pracy doktorskiej.

Rozdział 2 to wprowadzenie do tematyki monitorowania stanu procesu przemysłowego wraz ze zdefiniowaniem głównych zadań oraz właściwości tego typu systemów. W rozdziale zawarto przegląd metod modelowania procesów wskazując na ich wady oraz zalety. Następnie, Doktorantka wprowadza w tematykę procesów "wielomodowych" oraz definiuje główne problemy wynikające z analizy danych reprezentujących taką klasę systemów. Następnie w rozdziale omawiany jest problem wykrywania stanu/trybu pracy procesu wielomodowego.

Rozdział 3 został poświęcony heurystycznemu algorytmowi o nazwie binarny klasyfikator detekcji uszkodzeń (BaFFle). Metoda BaFFle została opracowana na potrzeby zastosowań do przemysłowych procesów jednomodowych. Opisywana metoda jest ściśle zależna od postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa opisującej dane pomiarowe. Stąd w rozdziale analizowane są również metody estymacji funkcji gęstości.

Następny rozdział opisuje problem klasteryzacji danych pomiarowych. W szczególności rozpatruje się przypadek kiedy wymagania produkcyjne jak również warunki obciążenia systemu zmieniają się wraz z upływem czasu. W rezultacie można zaobserwować różne tryby pracy procesu. W celu prawidłowego podziału danych reprezentujących odpowiednie tryby pracy, Doktorantka zaproponowała zastosowanie kombinacji procesów Dirichleta i zestawu modeli gausowskich (GP-GMM). Zaprezentowano również zastosowanie podejścia GP-GMM do klasteryzacji danych zarejestrowanych w procesie wielomodowym.

Rozdział 5 omawia wersję filtra Kalmana znaną pod nazwą field Kalman filter (FKF) oraz jego zastosowania do monitorowania stanu procesu. Przedstawiono uczenie FKF z wykorzystaniem wielowymiarowych autoregresyjnych modeli w przestrzeni stanów (*ang.* multivariate autoregressive state-space, MARSS). Następnie zilustrowano pracę zaproponowanego rozwiązania na przykładzie procesu wielomodowego.

Kolejny rozdział zawiera wyniki eksperymentów: (i) zastosowanie algorytmu BaFFle do detekcji uszkodzeń, (ii) zastosowanie FKF do identyfikacji trybu pracy procesu i wykrycia anomalii. Wszystkie ekspe-

rymenty zostały wykonane za pomocą symulatora wielofazowego procesu przepływowego PRONTO.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie pracy doktorskiej i przedstawia wkład Doktorantki do dyscypliny naukowej automatyka elektronika i elektrotechnika. Doktorantka wskazuje również możliwe kierunki przyszłych prac badawczych.

Układ rozprawy pod kątem podziału na rozdziały wydaje się być poprawny. Jednakże, w mojej opinii rozdział 1 powinien być bardziej rozbudowany. Praca doktorska powinna zawierać przegląd istniejących rozwiązań stosowanych do monitorowania stanu procesów przemysłowych. Bazując na wnikliwej analizie opracowanych do tej pory rozwiązań Doktorantka powinna zdefiniować tezę pracy, a przynajmniej główny cel pracy. Jest to niezwykle ważne, aby wykazać że teza (główny cel) została wykazana i osiągnięta. Niestety, w doktoracie postawiono tylko cele pomniejsze. Co prawda przegląd rozwiązań został przedstawiony w podrozdziale 2.2, ale tylko w odniesieniu do modelowania procesów. Co więcej podrozdziały zawarte w rozdziale 2 są luźno ze sobą powiązane. Rozdział 6 powinien być bardziej rozbudowany. Brakuje w nim wyników wskazujących na pracę zaproponowanego algorytmu klasteryzacji danych. Brakuje również wskazania procesu adaptacji progów kontrolnych w algorytmie BaFFle jak również procesu projektowania modeli FKF. A przecież są to elementy ilustrujące główne dokonania Doktorantki. Należy również podkreślić słaby poziom językowy streszczenia doktoratu w języku polskim.

4 Oryginalne osiągnięcia

Na podstawie lektury całości rozprawy, główny cel jaki postawiła sobie Doktorantka można określić jako opracowanie algorytmów monitorowania stanu procesów przemysłowych umożliwiających (1) ich zastosowanie do procesów o dowolnym stopniu skomplikowania oraz (2) polepszenie jakości procesu diagnostycznego. Do realizacji tego celu Doktorantka wykorzystwała metody statystyczne. Kluczowy problem rozważany w pracy polegał na opracowaniu metod radzących sobie z obiektami pracującymi nie tylko w jednym, ale i w wielu trybach pracy. Zaproponowane podejścia zostały przetestowane w symulatorze PRONTO. Dane zostały pobrane z czujników rozmieszczonych w wielofazowym procesie przepływowym. Do najważniejszych oryginalnych wyników rozprawy doktorskiej, stanowiących wkład do dyscypliny **automatyka, elektronika i elektrotechnika**, zaliczam:

- opracowanie algorytmu BaFFle z adaptacyjnymi granicami kontrolnymi do monitorowania stanu procesu i detekcji uszkodzeń,
- zastosowanie metody analizy składowych głównych do ekstrakcji nieskorelowanych cech danych wielowymiarowych na potrzeby algorytmu BaFFle,
- wykorzystanie jądrowych estymatorów gęstości do analizy danych niezgodnych z rozkładem normalnym na potrzeby algorytmu BaFFle,
- przeprowadzenie analizy wpływu początkowych wartości hiperparametrów modeli DP-GMM na jakość procesu klasteryzacji danych,
- zaproponowanie metody doboru parametru κ_0 w modelach DP-GMM,
- opracowanie monitorujących modeli FKF dla procesów wielomodowych za pomocą efektywnej metody modelowania MARSS,
- zaproponowanie wskaźnika monitorującego do wykrywania anomalii za pomocą modeli FKF,

- weryfikację eksperymentalną zaproponowanych metod w symulatorze PRONTO.

Bez wątpienia rozprawa zawiera zarówno warstwę teoretyczną (rozwińnięcie istniejących algorytmów i ich analiza) oraz warstwę ilustracyjną (przykłady praktycznych zastosowań). Tian Cong wykazała się zdolnościami formułowania problemów badawczych jak również ich poprawnego rozwiązywania za pomocą dostępnych metod i narzędzi.

Dodatkowo, należy wspomnieć o solidnym dorobku naukowym Doktorantki obejmującym w sumie 6 publikacji, w tym 3 artykuły w czasopismach i 3 prace konferencyjne. Wszystkie publikacje są indeksowane w uznanej bazie Web of Science. Dwa artykuły zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o wysokiej wartości współczynnika wpływu *Journal of Process Control* (IF=3.624, 140 pkt. wg wykazu ministerialnego) i *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (IF=5.312, 140 pkt.). Zadeklarowany wkład Doktorantki w przygotowanie artykułów zawiera się w granicach od 10% do 90%. Średni wkład wynosi 55% co wskazuje na jej duże zaangażowanie w rozwiązywanie problemów naukowych.

5 Uwagi krytyczne

Pomimo sporej liczby wyników zawartych w recenzowanej rozprawie, można sformułować następujące uwagi natury ogólnej:

1. Rozdział 2 nie zawiera przeglądu literatury odnośnie procesu monitorowania obiektów przemysłowych. Stąd, czytelnik nie posiada wiedzy na temat ograniczeń istniejących rozwiązań. Nie wiadomo także, z jakiego powodu Doktorantka zdecydowała się zająć metodami statystycznymi. Co nowego oferuje praca doktorska w stosunku do istniejących, stosowanych w przemyśle metod?
2. Streszczenie zawiera schemat blokowy ilustrujący główne dokonania Doktorantki. Po analizie tego wykresu dochodzimy do wniosku, że brakuje tam mechanizmu określającego czy mamy do czynienia z procesem pracującym w jednym trybie czy też z procesem wielomodowym. Jak można zdefiniować taki mechanizm? Czy można wykorzystać w tym celu proste reguły heurystyczne?
3. Algorytm BaFFle jest ściśle zależny od postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa opisującej dane. Proszę wyjaśnić w jaki sposób przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym.
4. Analizując postać reguł aktualizacji modeli monitorujących (strona 25) można zaobserwować że poziom ufności $\alpha_{\{1,j\}}$ nie jest aktualizowany, dlaczego? Co więcej, brakuje komentarza w jaki sposób optymalnie dobrać parametry λ , s_{\uparrow} i s_{\downarrow} w odniesieniu do konkretnego obiektu przemysłowego. Jakie uwarunkowania powinny być brane pod uwagę?
5. Aby poprawić jakość klasteryzacji danych Doktorantka zaproponowała ustawienie $\kappa_0 = \frac{1}{N}$ gdzie N jest liczbą próbek w zbiorze danych. Jednakże w przypadku bardzo licznych zbiorów danych wartość κ_0 będzie bardzo mała co w konsekwencji może doprowadzić do tworzenia klastrów o bardzo małym zasięgu. W jaki sposób zapobiec sytuacji, w której klaster obejmuje tylko kilka albo wręcz jedną próbkę?
6. Doktorantka zaproponowała wskaźnik monitorujący L_t zdefiniowany przez równanie (5.23). Ten wskaźnik jest porównywany z pewnym progiem L_{LML} w celu wykrycia anomalii/uszkodzeń. W rozprawie zaproponowano przypisanie do L_{LML} wartości równej 5 percentyli wartości L_t , ale nie wyjaśniono jak ta wartość została określona. W jaki sposób określić optymalną wartości L_{LML} , tak aby uzyskać najlepszą wydajność systemu detekcji uszkodzeń?

pat

Do uwag szczegółowych zaliczam:

1. W pracy brakuje wykazu skrótów jak również wykazu użytych symboli matematycznych.
2. Podrozdział 2.1.1, Doktorantka opisuje dwa powszechnie używane podejścia do monitorowania stanu procesów przemysłowych konserwacja naprawcza (*ang.* corrective maintenance) i konserwacja prewencyjna (*ang.* preventive maintenance). Jak do tych dwóch metod ma się podejście polegające na określaniu pozostałego okresu użytkowania urządzenia (*ang.* remaining useful life)?
3. Podrozdział 2.2. Brakuje gruntownej analizy zaprezentowanych podejść. Doktorantka powinna przedstawić wady i zalety każdej z prezentowanych metod.
4. Równanie (2.1) nie reprezentuje procesu jednomodowego, ale warunek który musi spełnić zmienna procesu jednomodowego. Poza tym, symbole t_0 i Δt nie zostały zdefiniowane. Równanie powinno zostać poprawione, ponieważ dla $t = t_0$ występuje dzielenie przez zero.
5. W podrozdziale 2.3.1 brakuje definicji procesu wielomodowego.
6. Podrozdział 2.3.3, brakuje opisu jak zaprezentowane metody można użyć do procesów wielomodowych. Można jedynie domyślić się, że dana metoda ma za zadanie wskazać liczbę trybów pracy porcesu przemysłowego.
7. W zasadzie Doktorantka nie podała wskaźników monitorowania dla metod bazujących na modelu procesu. Powinny się tutaj znaleźć takie wskaźniki jak czas detekcji, czas lokalizacji, wskaźnik fałszywych alarmów, rozmiar uszkodzenia, itp.
8. Tabela 3.1 jest po prostu macierzą pomyłek.
9. Równanie (3.2) reprezentuje specyficzność (*ang.* specificity), a nie specyfikację (*ang.* specification).
10. Ciekawą miarą szeroko używaną w zagadnieniach rozpoznawania obrazów i zadaniach klasyfikacji jest miara F_1 definiowana następująco:

$$F_1 = \frac{TP}{TP + \frac{1}{2}(FP + FN)}$$

11. Podrozdział 3.2. Korelacja zmiennych procesowych może być nieliniowa. Może lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie nieliniowej wersji PCA w postaci autoenkodera. Autoenkoder zrealizowany za pomocą sztucznej sieci neuronowej można łatwo douczyć do zmiennych warunków pracy obiektu.
12. W równaniu (3.4) symbol $\hat{\sigma}$ nie został wyjaśniony.
13. Pierwsza linia za równaniem (3.4), zamiast "deviation" powinno być "standard deviation".
14. Symbole matematyczne powinny zostać ujednolicone. Znacznie ułatwiłoby to odbiór opisu metod ED i SVD. Na przykład w opisie SVD nie widnieje macierz V , aczkolwiek macierz V jest używana do zdefiniowania operacji projekcji.
15. Pierwsza linia za wzorem (3.12), powinno być " \tilde{X}^T is projected to v -dimensional space", a nie ". in v -dimensional space".
16. Wzór (3.13), symbol n w mianowniku nie został zdefiniowany.

17. Wzór (3.17), symbol σ_j nie został zdefiniowany.
18. Wzór (3.25) jest niepoprawny, ponieważ nie uwzględnia przypadku, gdy $n_{D(j,i)=1} = n_{D(j,i)=0}$. Ponadto, nie za bardzo wiadomo co oznacza sformułowanie, że zmienna y_t jest nieokreślona. Równanie (3.25) należy przeanalizować z punktu widzenia implementacji programowej. Implementując wzór (3.25) za pomocą instrukcji warunkowej program nie przypisze nowej wartości do zmiennej D_{y_t} w przypadku gdy $n_{D(j,i)=1} = n_{D(j,i)=0}$.
19. Linia po równaniu (3.25), powinno być "... 0 and 1 respectively represent normal and abnormal behaviour".
20. Mechanizm opisany równaniem (3.25) nie jest odporny na zakłócenia zewnętrzne oraz stany przejściowe procesu. Technika podejmowania decyzji powinna być dobrana na zasadzie kompromisu pomiędzy czułością detekcji, a poziomem fałszywych alarmów. W celu uniknięcia dużej liczby fałszywych alarmów do mechanizmu (3.25) można dodać przesuwne okno lub przeliczać wskaźnik za pomocą średniej ruchomej. W ten sposób alarm jest sygnalizowany kiedy warunek (3.25) utrzymuje się przez pewien czas.
21. Wstęp do rozdziału 4 powinien zawierać przegląd istniejących metod klasteryzacji danych, np. metody k-means, samoorganizacji, fuzji c-means, itp.
22. Paragraf **Binomial distribution**. Powinno być "Let x_i be".
23. W literaturze można znaleźć wiele metod estymacji modeli GMMs, np. a) metody rozkładów wielowymiarowych (*ang.* multivariate distribution), b) metody inferencji (*ang.* inference methods), c) metody rozkładów predykcyjnych (*ang.* predictive distributions) (patrz prace Neal (2000), Rasmussen (2000)). Dlaczego Doktorantka decydowała się na za stosowanie algorytmu *Chinese Restaurant Process*?
24. Tytuł podrozdziału 4.2 powinien być postaci "Preliminaries".
25. Równania (4.29), (4.34)–(4.38) wychodzą poza szpalte.
26. Na stronach 34 i 39 brakuje nawiasów okrągłych wokół numerów równań.
27. Początek podrozdziału 4.6. Nie wiadomo o jakich czterech parametrach jest mowa.
28. Strona 45, w pierwszej linii paragrafu **Default parameter setting** jest zbędna kropka do słowie "matrix".
29. Jak wygląda jakość klasteryzacji w przypadkach kiedy dane mają rozkład super- lub sub-Gaussa.
30. Podrozdział 4.6.3. W prezentowanych eksperymentach dane są raczej łatwe do wyodrębnienia. Doktorantka powinna zaprezentować przypadek, w którym próbki reprezentujące klasy nie są liniowo separowalne, np. nakładają się na siebie, bądź jedna klasa otacza drugą.
31. Nagłówki tabel i podpisy rysunków są zbyt obszerne. Analiza i dyskusja wyników powinna odbywać się w tekście odpowiedniego rozdziału.
32. Strona 57, w drugiej linii powinno być "w.r.t. θ of appropriate dimensions...".
33. Podrozdział 5.2.2. Z opisu nie wynika jakie wyzwania są podejmowane w rozprawie.

34. W podrozdziale 5.3 Doktorantka rozważa jedynie modele liniowe, dlaczego? Dlaczego nie jest podejmowany wątek procesów o charakterze nieliniowym i nieliniowe metody identyfikacji?
35. Podrozdział 5.3.1, wyrażenie “local dynamics existing in the healthy data” jest niezrozumiałe. Jeśli chodzi o zmianę właściwości dynamicznych obiektu w czasie można użyć podejścia z zestawem modeli zarówno liniowych jak i nieliniowych. Modele liniowe nie są wcale lepsze w tym względzie od nieliniowych.
36. Modele autoregresyjne (AR) są modelami bez zewnętrznego pobudzenia. Jeśli opis takiego modelu przeniesiemy do przestrzeni stanów to otrzymamy tzw. postać autonomiczną:

$$x[t] = Ax[t - 1]. \quad (1)$$

Jak model (1) ma się do modelu FKF zaprezentowanego w podrozdziale 5.1?

37. Postać równania (5.8) jest niezrozumiała. Intuicyjnie

$$x(\theta_j)[t] = x_j[t], \quad i = 1, \dots, k.$$

Czyż nie?

38. FKF (5.5) jest już po dyskretyzacji. Dlatego niezrozumiała jest dyskretyzacja wprowadzona w równaniu (5.12). FKF (5.12) jest raczej wielomodową wersją FKF (5.5).
39. Opisując wyniki symulacji należy jawnie napisać co oznaczają sformułowania Variable 1 i Variable 2 (rys. 5.2). Co więcej wyniki modelowania powinny być zaprezentowane przy użyciu wskaźników jakości.
40. Podrozdział 5.6.2. Opis i specyfikacja uszkodzeń powinny być bardziej dokładne. Doktorantka powinna podać informacje o charakterze uszkodzenia (nagłe/wolno narastające), rozmiarze uszkodzenia, typie uszkodzenia (multiplikatywne/addytywne), czasie wprowadzenia uszkodzenia.
41. Detekcja uszkodzeń dla procesów wielowymiarowych nie została zaprezentowana (strona 71).
42. Nie wiadomo jaka anomalia jest rozważana w podrozdziale 5.6.3.
43. W podrozdziale 6.1.2 powinno być “... developing faults...”.
44. W podrozdziale 6.1.2 Doktorantka wprowadza przykład uszkodzenia narastającego w czasie. Jednakże na rys. 6.4 widać wyraźnie, że rozważany scenariusz obejmuje typowy przykład uszkodzenia nagłego (abrupt) przy czym rozmiar tego uszkodzenia zostaje stopniowo zwiększany. Takie samo zachowanie systemu diagnostycznego można uzyskać wprowadzając od razu uszkodzenie nagłe o intensywności równej 60% zakresu zamknięcia zaworu.
45. Ilustracja poziomów LCL i UCL zaprezentowana na rys. 6.2 i 6.3 jest bezużyteczna. Obie granice kontrolne są zależne od α i mają charakter adaptacyjny.
46. Aby ocenić jakość działania algorytmu BaFFle Doktorantka powinna porównać ją z innymi metodami statystycznymi, n.p. z algorytmem sumy skumulowanej (*ang.* cumulative sum, CUSUM) i jej rozszerzeniami, z metodą GLR (*ang.* generalized likelihood ratio). Metody są obszernie opisane w monografii Baseville, M, Nikiforov I.V. Detection of Abrupt Changes: Theory and Applications, Prentice-Hall, 1993.

47. Rysunek 6.4 jasno pokazuje, że algorytm Ba.FFle generuje dość dużą liczbę fałszywych alarmów (patrz poprzednia uwaga 20).
48. Tabela 6.3. Dla ułatwienia analizy wyników najlepsze pozycje powinny zostać wyróżnione, np. pogrubioną czcionką, lub ujmując wartość w ramkę. Ten sam problem dotyczy tabeli 6.4.
49. Podrozdział 6.3, na początku drugiej linii powinno być "modes".
50. Rysunki 6.6 i 6.7 są nieczytelne. Zakresy wartości zmiennych nie są zaznaczone.
51. Określenie liczby trybów pracy procesu nie zostało w ogóle zilustrowane (podrozdział 6.3.1). Z tego względu materiał zawarty w rozdziale 5 wydaje się być zbędny.
52. Skrót FGMM-BIB nie został wyjaśniony.
53. Jak obliczono wartość L_t ?

6 Podsumowanie

Uwzględniając fakt, że wyżej wymienione uwagi i komentarze mają charakter dyskusyjny, a także biorąc pod uwagę oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze stwierdzam, że:

1. Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Tian Cong pt. *Statistical reasoning of fault occurrences in industrial applications* spełnia wszystkie wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami.
2. Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej *Statistical reasoning of fault occurrences in industrial applications* autorstwa Tian Cong oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Patan