

Prof. dr hab. inż. Wojciech MITKOWSKI
Katedra Automatyki AGH
al. Mickiewicza 30/B-1
30-059 KRAKÓW
wojciech.mitkowski@agh.edu.pl

Kraków, niedziela, 4 września 2011



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

(na zlecenie RE 492/10/11 z dnia 30.06.2011, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny)

TYTUŁ ROZPRAWY: Aspekty sterowania urządzeniami mechatronicznymi przez internet – analiza protokołu TCP/IP. Gliwice 2011, s. 1-170.

AUTOR ROZPRAWY: mgr inż. Paweł KIELAN (Politechnika Śląska w Gliwicach)

PROMOTOR ROZPRAWY: Prof. dr hab. inż. Krzysztof KLUSZCZYŃSKI, (Politechnika Śląska w Gliwicach, Katedra Mechatroniki).

Praca zawiera 170 str. maszynopisu (skład komputerowy), w tym wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń (s. 2 i 3), 10 rozdziałów (wprowadzenie i podsumowanie to odpowiednio rozdział 1 i 10, rozdziały zasadnicze 2-9), literatura (zawiera wykaz 78 pozycji, w tym 6 prac (głównie w materiałach konferencyjnych-1 praca współ-autorska w Wiadomościach Elektrotechnicznych 8-2009), Autora (w tym 2 samodzielne)) oraz 4 załączniki (s. 143-170).

Praca ma charakter interdyscyplinarny oraz jej rezultaty są ważne poznawczo i praktycznie. Rozprawa dotyczy regulacji automatycznej układów dynamicznych, w szczególności napędów elektrycznych na odległość z wykorzystaniem sieci Internet. Zatem rozważania prowadzone w rozprawie leżą na pograniczu elektrotechniki, automatyki i robotyki, mechatroniki, telekomunikacji i informatyki stosowanej. Autor głównie stosuje symulacyjne metody badawcze, co można uzasadnić złożonością analizowanego układu regulacji. W miejsce rzeczywistego obiektu regulacji był podstawiany odpowiedni model matematyczny zaimplementowany w środowisku Matlab/Simulink albo na karcie procesorów sygnałowych DSP1104. W miejsce rzeczywistej sieci Internet wykorzystywano odpowiedni Emulator sprzętowy symulujący działanie sieci. Wprowadzone

poprzez stosowanie sieci Internet opóźnienia sygnałów w torze pomiarowym i sterowania czynią nie trywialną analizę takich układów i bardzo interesującą poznawczo. Przy symulacyjnych eksperymentach weryfikujących oryginalne koncepcje Autora wykorzystano parametry rzeczywistych silników prądu stałego, co jest istotne z punktu widzenia elektrotechniki i nauk technicznych.

Przedstawiona do recenzji praca została podzielona na 10 rozdziałów i wykaz literatury zawierający 78 pozycji. Zasadniczą częścią rozprawy są rozdziały 3-9 (s. 33-131). Układ pracy logiczny.

W rozdziale 1 (wprowadzenie) omówiono cel i zakres pracy (s. 10) i między innymi przedstawiono zasadniczą tezę rozprawy (s. 9).

W rozdziale 2 Autor omawia cechy charakterystyczne modelu łączenia systemów otwartych umożliwiających standaryzację połączeń w sieci Internet. Model ma strukturę warstwową. Do przekazywania informacji wykorzystywane są odpowiednie protokoły komunikacyjne.

W rozdziale 3 przedstawiono metodologię badania procesów sterowania przez Internet. Koncepcję przedstawiono na s. 34. Natomiast odpowiednie warunki realizacji zaproponowanej koncepcji podano na s. 34. W dalszej części tego rozdziału Autor szczegółowo opisał stanowisko badawcze do sprawdzania jednego z warunków realizacji zaproponowanej koncepcji badań.

W rozdziale 4 badano właściwości sieci Internet. Opisano działanie Emulatora oraz określono jego parametry na podstawie pomiarów w sieci rzeczywistej Internet.

Rozdział 5 dotyczy jednej z zasadniczych części rozprawy. W tym rozdziale przedstawiono podstawową strukturę układu regulacji (s. 64, rys. 31) wykorzystywaną do zdalnego sterowania. Sygnały w torze głównym i w torze sprzężenia zwrotnego są przekazywane poprzez sieć Internet, która wprowadza odpowiednie opóźnienia w układzie. Wprowadzono możliwość różnych opóźnień w torze głównym i w torze sprzężenia zwrotnego. W dalszych badaniach przyjęto jednakowe opóźnienia. Również w tym rozdziale dokonano aproksymacji transmitancji członu opóźniającego poprzez przyjęcie skończonego rozwinięcia w szereg Maclaurina. Przy takiej skończonej wymiarowej aproksymacji badano wpływ opóźnienia na pracę (zamkniętego) układu regulacji, ale na jednym komputerze (s. 78, rys. 41) bez użycia protokołu TCP/IP. Badanie polegało na analizie odpowiedzi układu na skok jednostkowy. Uzyskane przebiegi posłużyły dalej jako odpowiedni punkt odniesienia do badań układu regulacji wraz z Emulatorem sprzętowym symulującym działanie sieci Internet stanowiącej integralną część układu regulacji (sieć Internet w torze głównym i w torze sprzężenia zwrotnego).

Podobnie rozdział 6 można zaliczyć do zasadniczej części rozprawy. Przeprowadzono w nim odpowiednie badania symulacyjne dwoma metodami (A i B), analizując przebiegi czasowe w strukturze zamkniętej z Emulatorem sprzętowym pokazanej na s. 82, rys. 42 (zob. również s. 85, rys. 45). Opisano szczegółowo stanowiska badawcze (s. 83 i 84, rys. 43 i 44). Metodą symulacyjną wyznaczono odpowiednie przedziały dopuszczalne na opóźnienia w sieci (s. 96-99).

W rozdziale 7 (s. 100-102) Autor dokonał posumowania swoich rozważań formułując algorytm postępowania dla sprawdzenia poprawności współpracy zadanego układu regulacji z zadaną siecią Internet. W rozdziale 8 weryfikowano algorytm postępowania na obiektach rzeczywistych (dokładniej na ich modelach). Schemat blokowy stanowiska doświadczalnego do sterowania różnego typu silnikami elektrycznymi pokazano na s. 103, rys. 59. Przebadano układy z dwoma typami silników: silnik prądu stałego (s. 104, rys. 60) oraz silnik wrzecionowy wykorzystywany do napędu dysków twardych. Zastosowano klasyczny regulator PI do stabilizacji prędkości obrotowej silnika. Wyznaczono odpowiednie dopuszczalne wartości graniczne opóźnień. Wyniki badań sterowania prędkością obrotową przedstawiono na s. 113-116.

W rozdziale 9 Autor szczegółowo opisał autorskie programy: 1. umożliwiające wymianę danych z pakietem Simulink oraz wymianę danych poprzez sieć TCP/IP/Ethernet. 2. umożliwiające obsługę kart procesorów sygnałowych DSP1104 oraz wymianę danych poprzez sieć TCP/IP/Ethernet.

Rozdział 10 to podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań. Po rozdziale 10 zamieszczono wykaz literatury zawierający 78 pozycji oraz 4 załączniki, w których dokładnie opisano (zamieszczono) skrypt do wyznaczania wartości granicznych opóźnień, implementację modeli matematycznych w Simulinku oraz na karcie procesorów sygnałowych DSP1104 (stanowiska doświadczalne), wyniki badań symulacyjnych dla układu z obiektem inercyjnym pierwszego i drugiego rzędu (z regulatorem P oraz PI), modele matematyczne implementowane w Simulinku i na karcie DSP1104.

Rezultaty były częściowo publikowane wcześniej i zostały uzupełnione i rozwinięte w przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej. Prezentowane wyniki Autora są przedstawione na tle zagadnień rozważanych w dotychczasowej literaturze przedmiotu (78 pozycji, w tym również prace Autora: 2 prace samodzielne w materiałach konferencyjnych, 1 praca współ-autorska w Wiadomościach Elektrotechnicznych 8-2009, 3 prace współ-autorskie w materiałach konferencyjnych). Praca jest napisana starannie i poprawnie pod względem językowym.

Za oryginalny dorobek Autora można uznać:

1. Opracowanie i wykonanie stanowisk do badań symulacyjnych układów regulacji dla wybranej klasy układów dynamicznych z przesyłaniem sygnałów w torze głównym i w torze sprzężenia zwrotnego poprzez sieć Internet (rozdział 6 i poprzedzony analizą wstępną w rozdziale 5).
2. Wykonanie własnych programów autorskich umożliwiających komunikację z pakietem Simulink oraz z kartą procesorów sygnałowych poprzez sieć Internet (rozdział 9).
3. Analiza dynamiki układów regulacji współpracujących z siecią Internet dla różnych obiektów regulacji w wyniku której wyznaczono odpowiednie dopuszczalne opóźnienia wnoszone poprzez sieć (główne wyniki w rozdziale 8 dla wybranych obiektów regulacji). Tu warto również wspomnieć o wyznaczeniu parametrów sieci

- zastosowanych w Emulatorze sprzętowym symulującym działanie sieci Internet (rozdział 4).
4. Weryfikacja laboratoryjna poprawności działania zaproponowanych algorytmów (stabilizacja prędkości obrotowej) na modelach rzeczywistych silników elektrycznych prądu stałego (rozdział 8).

W czasie czytania pracy nasunęły mi się następujące uwagi:

1. Co w przypadku awarii sieci? Co się stanie jeśli zostanie przerwana transmisja danych. W przypadkach przeprowadzanych symulacji są to albo stany wyjścia obiektu albo sygnał sterowania. Czy oprogramowanie napisane przez doktoranta jest w stanie wykryć takie zdarzenia i zareagować odpowiednio np. bezpiecznie wyłączając cały układ? Może powinna być struktura warstwowa, by lokalny układ regulacji mógł działać sam do czasu usunięcia awarii.
2. Co z bezpieczeństwem w przypadku ingerencji osób niepożądanych? Co robić, gdy opóźnienie będzie większe? Co robić w stanach awaryjnych sieci? Inne stany awaryjne. Inna dynamika obiektu, np. „szybka” dynamika. Bezpieczeństwo dostępu do sieci, itp. Tu powinny znaleźć się odpowiednie komentarze. Uwzględniając uwagi zawarte w p. 4 (poniżej) proponuję odpowiednie wyjaśnienia przedstawić na obronie doktoratu.
3. W wielu przypadkach tę analizę można przeprowadzić analitycznie stosując klasyczne metody, np. Nyquist. Zobacz również np. Elsgolc (1966), Górecki (1971), Hale (1977) i prace późniejsze.
4. Jeśli chodzi o część praktyczną to wydaje się, że eksperymenty zostały przeprowadzone prawidłowo aczkolwiek wnioski jakie na ich podstawie wysnuwa doktorant są bardzo odważne i nie jestem pewien czy zawsze prawdziwe. Np.:
 - Co się stanie jeśli w trakcie przesyłania danych część z nich będzie tracona? Czy oprogramowanie napisane przez doktoranta jest w stanie wykryć takie sytuacje i odpowiednio na nie zareagować? W trakcie przesyłania dużych bloków danych do jednego odbiorcy dane mogą być najpierw zapamiętywane w buforze i dopiero później wysyłane do odbiorcy. W układach sterowania wymaga się aby transmisja odbywała się w sposób ciągły, bez zbędnych opóźnień. Na przykład: jeśli czujnik zmierzył wartość sygnału i wysłał ją do programu w celu wysłania tej wartości do komputera na którym jest uruchomiony program regulatora to chcemy aby ten pomiar został wysłany natychmiast. Oczekiwanie aż w buforze nadawczym zbierze się np. 100 kolejnych pomiarów i dopiero wtedy zostaną one wysłane do regulatora jest niedopuszczalne. W związku z tym czy przeprowadzane eksperymenty praktyczne wykonywane były z ustawieniem opcji NO_DELAY protokołu TCP tak aby wyeliminować buforowanie przesyłanych danych?
 - W przeprowadzanych eksperymentach praktycznych doktorant ustawił czas wymiany danych między komputerami na 1ms. Czy były przeprowadzane badania jak bardzo można zmniejszyć ten czas tak aby móc np. sterować "szybszymi" układami? Jeżeli z jakiś powodów komputer na którym jest uruchomiony regulator nie zdołał policzyć sterowania w czasie krótszym niż 1ms to się wtedy stanie? Jaka wartość sterowania zostanie wysłana do sterowanego obiektu?
 - W swoich eksperymentach doktorant na komputerach używał systemu operacyjnego Windows. Czy doktorant rozważa możliwość użycia prawdziwego systemu czasu rzeczywistego jak np. QNX, VxWorks, RT-Linux?

- W przeprowadzanych eksperymentach praktycznych przesyłano bardzo mało danych między dwoma komputerami. Czy były przeprowadzane eksperymenty ze sterowaniem obiektów wielowymiarowych w których jest wiele wyjść oraz wiele sygnałów sterowania?

5. Z uwag szczegółowych różnego typu można wymienić:

1. s. 5. 5.12; stosuje się również inne aproksymacje transmitancji układów z opóźnieniem, np. aproksymacja Padégo (zob. WM 1991, s. 246).
2. s. 6. Rozdział 6; metoda A i B –redakcja. W tym miejscu czytelnik nie wie o co chodzi. Podobnie tytuł rozdziału 8 może być mylący. Czy rzeczywiście regulowano obiekty rzeczywiste? Czy prowadzono tylko badania symulacyjne na modelach matematycznych? Zobacz zresztą np. s. 9 – 5 wiersz od góry oraz s. 33 – 6 wiersz od góry
3. s. 8 i dalej; sposób cytowania literatury nie jest zbyt szczęśliwy. Lepiej np. Bate and Cook (2001) lub (Bate and Cook 2001).
4. s. 812; ... nie zaleca się stosowania sieci opartej na protokole TCP/IP Autor jednak podejmuje się dalszych prac ... Powinno się takie dalsze postępowanie lepiej uzasadnić.
5. s. 15, 4 wiersz od góry; latach siedemdziesiątych XX wieku.
6. s. 33; w metodologii badań należy wspomnieć, że w naukach technicznych końcowa weryfikacja różnych pomysłów powinna być ostatecznie dokonana w warunkach rzeczywistych.
7. s. 35; warunek pierwszy – najlepiej sprawdzić na obiekcie rzeczywistym.
8. s. 35; ... system Windows 7 Ale istnieją systemy czasu rzeczywistego.
9. s. 36. 37; dobre rysunki ze schematami blokowymi ilustrujące metodologię, podobnie dalej.
10. s. 38; warunek drugi – może trzeba podać przypadki, gdy ten warunek nie będzie spełniony.
11. s. 46; co oznacza wyróżnienie „żółte”. Należy wyraźnie wyjaśnić.
12. s. 54. 13 wiersz od góry; Wykazano ... Raczej analiza eksperymentów sugeruje
13. s. 59; wartościowe eksperymenty pomiarowe.
14. s. 63; stosuje się również inne struktury układów regulacji oraz inne aproksymacje transmitancji układów z opóźnieniem, np. aproksymacja Padégo (zob. WM 1991, s. 246). Co w przypadku awarii sieci? Może powinna być struktura warstwowa, by lokalny układ regulacji mógł działać sam do czasu usunięcia awarii. Co z bezpieczeństwem w przypadku ingerencji osób niepożądanych?
15. s. 66 i 67, wzór (13); Potrzebny komentarz uzasadniający wybór $n=3$, zwłaszcza w świetle przedstawionych rys. 32 i 33.
16. s. 67; są inne regulatory, nie tylko P i PI. Czy były odpowiednio „strojone”? Na rys. 34 b) zaznaczono jednym symbolem transmitancję G_s . W rzeczywistości są dwie transmitancje (rys. 34 a) zależne od τ_1 i τ_2 .
17. s. 68; Transmitancja (15) jest błędnie policzona. Podobnie błąd ten jest powielany dalej. Np. w (17) trzeba zamienić miejscami τ_1 i τ_2 . Dalej poprawić np. (16), (17), (20), (21), (25), (26). Ostateczne wyniki są poprawne tylko dlatego, że do badań symulacyjnych przyjęto $\tau_1 = \tau_2 = \tau$ (zob. s. 73 pod (30), również s. 100, (37)). Zatem w tytule rozdziału 5.2 może lepiej użyć liczby pojedynczej.

18. s. 75, 76 i dalej; w wielu przypadkach tę analizę można przeprowadzić analitycznie stosując klasyczne metody, np. Nyquist. Zobacz również np. Elsgolc (1966), Górecki (1971), Hale (1977) i prace późniejsze.
19. s. 80, (32); istotny warunek praktyczny. Podobnie na s. 97, (33), (34), (35), (36).
20. s. 99; może lepiej „oscylacyjne tłumione”.
21. s. 110; dlaczego w tytule zastosowano wyróżnienie kolorem niebieskim?
22. s. 102, rys. 58; fragmenty są mało czytelne – mała czcionka.
23. s. 103, rozdział 8; ważne wyniki – silniki elektryczne (2 typy silnika-s. 104).
24. s. 104; regulator PI sterowania prędkością obrotową. Czy regulator był odpowiednio strojony? Jak dobrano parametry regulatora?
25. s. 105; może komentarz wpływie momentu obciążenia silnika.
26. s. 108; układ modulacji szerokości impulsów – ciekawy fragment pracy.
27. s. 112, pod (47); „przecinek”.
28. s. 113, rozdział 8.4; co robić, gdy opóźnienie będzie większe? Co robić w stanach awaryjnych sieci? Inne stany awaryjne. Inna dynamika obiektu, np. „szybka” dynamika. Bezpieczeństwo dostępu do sieci, itp. Tu powinny znaleźć się odpowiednie komentarze. Może uzupełnić na obronie doktoratu?
29. s. 138, literatura; brak fundamentalnych prac o układach z opóźnieniem, np.: Elsgolc (1966), Górecki (1971), Hale (1977) i prace późniejsze. Numeracja nie jest „czytelna”. Lepiej np.: Bate and Cook (2001) lub (Bate and Cook 2001). W wielu pozycjach brak stron, np. w K5.

Powyższe uwagi mają w większości charakter redakcyjny oraz dyskusyjny (zwłaszcza uwagi 1-4 powinny być skomentowane przez Doktoranta na obronie rozprawy) i nie podważają istoty pracy, którą oceniam pozytywnie.

Rozprawa dotyczy regulacji automatycznej układów dynamicznych, w szczególności napędów elektrycznych na odległość z wykorzystaniem sieci Internet. Praca jest napisana starannie i zawiera oryginalne wyniki Autora. Szczególnie interesujące są rozważania i badania symulacyjne związane z analizą dynamiki układu regulacji w zależności od odpowiednich opóźnień. Autor zna literaturę przedmiotu (wykaz literatury zawiera 78 pozycji, w tym pozycje Autora) i wykazał się wystarczającą znajomością teorii sterowania napędów elektrycznych i umiejętnościami w prowadzeniu badań eksperymentalnych oraz symulacyjnych. Część wyników była wcześniej publikowana i obecnie został rozwinięta w przedstawionej pracy.

Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że przedstawiona przez Autora mgra inż. Pawła Kielana praca spełnia odpowiednie warunki stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

W. Mitkowski
 Wojciech Mitkowski
 (średnia, 4 września 2011)