

Autoreferat

dr inż. Jerzy Baranowski

10 kwietnia 2017

Spis treści

1	Wykształcenie	2
2	Przebieg zatrudnienia	2
3	Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki	3
3.1	Tytuł i zakres osiągnięcia	3
3.2	Lista prac wchodzących w zakres osiągnięcia	3
3.3	Omówienie osiągnięcia	5
3.4	Streszczenia prac wchodzących w skład osiągnięcia.	25
4	Pozostała działalność naukowa	30
4.1	Udział w pracach badawczo-rozwojowych	30
4.2	Projekty badawcze	32
4.3	Nagrody i wyróżnienia	33
4.4	Odbyte staże	34
4.5	Działalność recenzencka	34
5	Wykaz publikacji	35
5.1	Statystyki bibliometryczne	35
5.2	Publikacje po uzyskaniu stopnia doktora	36
5.3	Publikacje przed uzyskaniem stopnia doktora	44
6	Działalność dydaktyczna	49
6.1	Kształcenie kadr	49
6.2	Prowadzone przedmioty	49
6.3	Dodatkowa działalność dydaktyczna	50
7	Działalność organizacyjna	50

1 Wykształcenie

2010 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki. Uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka i Robotyka

- obrona rozprawy doktorskiej: 23 czerwca 2010 r.
- nadanie stopnia doktora nauk technicznych przez Radę Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH: 1 lipca 2010 r.
- praca została wyróżniona.

2006 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki. Uzyskanie tytułu zawodowego magistra inżyniera

- obrona pracy: 20 czerwca 2006 r.
- kierunek studiów: Automatyka i Robotyka, specjalność: Komputerowe Systemy Sterowania,
- wynik celujący.

2 Przebieg zatrudnienia

Okres	Miejsce zatrudnienia
Od X 2010	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej (dawny Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki), stanowisko: adiunkt naukowo-dydaktyczny
2012-2013	Małopolska Wyższa Szkoła im. Józefa Dietla w Krakowie, stanowisko: wykładowca
2010-2012	Małopolska Wyższa Szkoła Zawodowa im. Józefa Dietla w Krakowie, prowadzenie zajęć laboratoryjnych, ćwiczeń i wykładu (umowa o dzieło)
2006-2010	AGH w Krakowie, Wydział EAIiE – prowadzenie zajęć dydaktycznych w ramach studiów doktoranckich
2008-2009	Wyższa Szkoła Turystyki i Ekologii w Suchej Beskidzkiej – prowadzenie zajęć laboratoryjnych i ćwiczeń (umowa o dzieło)
2005-2006	AGH w Krakowie, Wydział EAIiE – prowadzenie zajęć dydaktycznych w ramach stażu asystenckiego

3 Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

3.1 Tytuł i zakres osiągnięcia

Podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego stanowi osiągnięcie pt. „**Metody aproksymacji i analizy systemów, ze szczególnym uwzględnieniem układów niecałkowitego rzędu**”

Na przedmiotowe osiągnięcie składa się 12 prac, z czego pięć w czasopismach z listy filadelfijskiej, dwie w czasopismach z listy B, dwie w materiałach konferencyjnych międzynarodowych konferencji afiliowanych przez IEEE i trzy rozdziały w książkach. W ramach osiągnięcia:

1. Uzyskano nowe wyniki dotyczące analogu metody bezpośredniej Lapunowa dla układów niecałkowitego rzędu.
2. Zaobserwowano i przeanalizowano zjawiska wrażliwości numerycznej metod aproksymacji układów niecałkowitego rzędu.
3. Zaproponowano metodę aproksymacji układów niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a i dokonano jej dokładnej analizy.
4. Opracowano numerycznie odporną wersję metody aproksymacji Oustaloupa i przeanalizowano jej właściwości związane ze stabilnością.
5. Przeanalizowano metodę dyfuzyjnej realizacji integratora niecałkowitego rzędu i pokazano jego wolną zbieżność.
6. Przeanalizowano pewne szczególne rodzaje filtrów niecałkowitego rzędu, opracowano sposoby ich realizacji i zastosowano je do filtracji sygnałów EEG.
7. Skonstruowano aproksymację opóźnienia dla układu metabolizmu cukru o własnościach znacząco przewyższających te spotykane w literaturze.
8. Zastosowano aproksymację Padé do analizy stabilności i optymalizacji stabilizującego regulatora z opóźnieniem dla układu oscylacyjnego.

3.2 Lista prac wchodzących w zakres osiągnięcia

- [JB1] J. BARANOWSKI[100%]. “Modelling of delay in glucose-insulin dynamics”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 6.12 (2010), s. 123–130.
- [JB2] P. Piątek[50%] i J. BARANOWSKI[50%]. “Investigation of Fixed-Point Computation Influence on Numerical Solutions of Fractional Differential Equations”. W: *Acta Mechanica et Automatica* 5.2 (2011), s. 101–107.

- [JB3] P. Bania[50%] i J. BARANOWSKI[50%]. “Laguerre Polynomial approximation of fractional order linear systems”. W: *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems: 5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland*. Red. W. Mitkowski, J. Kacprzyk i J. Baranowski. Springer, 2013, s. 171–182.
- [JB4] J. BARANOWSKI[40%], M. Zagórowska[30%], W. Bauer[10%], T. Dziwiński[10%] i P. Piątek[10%]. “Applications of Direct Lyapunov Method in Caputo Non-Integer Order Systems”. W: *Elektronika ir Elektrotechnika* 21.2 (2015). IF (2015): 0.389, s. 10–13.
- [JB5] J. BARANOWSKI[50%], W. Bauer[20%], M. Zagórowska[20%], T. Dziwiński[5%] i P. Piątek[5%]. “Time-domain Oustaloup Approximation”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 116–120.
- [JB6] P. Bania[34%], J. BARANOWSKI[33%] i M. Zagórowska[33%]. “Convergence of Laguerre Impulse Response Approximation for Non-Integer Order Systems”. W: *Mathematical Problems in Engineering* 2016. Article ID 9258437 (2016). IF (2015): 0.644, s. 13.
- [JB7] J. BARANOWSKI[100%]. “Stabilization of a Second Order System with a Time Delay Controller”. W: *Control Engineering and Applied Informatics* 18.2 (2016). IF (2015): 0.449, s. 11–19.
- [JB8] J. BARANOWSKI[50%], W. Bauer[20%], M. Zagórowska[20%] i P. Piątek[10%]. “On Digital Realizations of Non-integer Order Filters”. W: *Circuits Syst Signal Process* 35.6 (2016). IF (2015): 1.178, s. 2083–2107.
- [JB9] J. BARANOWSKI[50%], W. Bauer[25%] i M. Zagórowska[25%]. “Stability Properties of Discrete Time-Domain Oustaloup Approximation”. English. W: *Theoretical Developments and Applications of Non-Integer Order Systems*. Red. S. Domek i P. Dworak. T. 357. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, 2016, s. 93–103.
- [JB10] J. BARANOWSKI[70%] i M. Zagórowska[30%] M. “Quadrature Based Approximations of Non-Integer Order Integrator on Infinite Integration Interval”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2016 21st International Conference On*. 2016.
- [JB11] J. BARANOWSKI[100%]. “Quadrature Based Approximations of Non-Integer Order Integrator on Finite Integration Interval”. W: *Theory and Applications of Non-integer Order Systems*. Red. A. Babiarczyk, A. Czornik, J. Klamka i M. Niezabitowski. T. 407. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, 2017, s. 11–20.
- [JB12] J. BARANOWSKI[70%] i P. Piątek[30%]. “Fractional Band-pass Filters: Design, Implementation and Application to EEG Signal Processing”. W: *Journal of Circuits, Systems and Computers* (2017). doi: 10.1142/S0218126617501705, IF (2015): 0.308.

Przy każdej pracy zaznaczono procentowy wkład każdego z autorów, zaś czcionką pogrubioną – wkład wnioskodawcy. Wszystkie prace za wyjątkiem [JB1, JB2] i [JB3] były realizowane w ramach kierowanego przez wnioskodawcę projektu pt. „Projektowanie i zastosowanie podsystemów niecałkowitego rzędu w układach sterowania”. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2013/09/D/ST7/03960. W następnej sekcji omówione są te elementy powyższych prac, które były autorstwa wnioskodawcy.

3.3 Omówienie osiągnięcia

3.3.1 Wprowadzenie

Głównym obszarem badań wnioskodawcy wchodzącym w skład przedmiotowego osiągnięcia są układy niecałkowitego rzędu, nazywane również układami. ułamkowymi. Są one tematem zainteresowań matematyków od co najmniej 1695 r, gdy pierwsza wzmianka o pochodnej rzędu $1/2$ pojawiła się w liście Leibniza do de L'Hospitala. W obszarze automatyki i teorii sterowania temat ten jest obecny krócej; za początek tych zainteresowań można arbitralnie uznać zaproponowanie przez Igora Podlubnego w 1994 r. regulatora $PI^\lambda D^\mu$. Zagadnienie to jest tematem badań również w Polsce, gdzie w 2008 roku wydano pierwszą monografię na ten temat, pt. „Zarys rachunku różniczkowo-całkowego ułamkowych rzędów. Teoria i zastosowania w automatyce.” autorstwa Prof. Piotra Ostalczyka.

Dla ustalenia uwagi należy określić, że analiza układów niecałkowitego rzędu w przeważającej większości bazuje na wykorzystaniu pojęcia pochodnej niecałkowitego rzędu α , określonej za pomocą jednej z popularnych definicji:

- Riemanna-Liouville'a

$${}^R L_0 D_t^\alpha x(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \frac{d^n}{dt^n} \int_0^t (t - \tau)^{n-\alpha-1} x(\tau) d\tau \quad (1)$$

przy czym n jest najmniejszą liczbą naturalną większą od α , zaś funkcja Γ to

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt$$

- Grünwalda-Letnikova

$${}^G L_0 D_t^\alpha x(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^m (-1)^k \binom{\alpha}{k} x(t - kh) \quad (2)$$

gdzie uogólniony symbol Newtona definiuje się jako

$$\binom{\alpha}{j} = \frac{\Gamma(j - \alpha)}{\Gamma(-\alpha)\Gamma(j + 1)} = \begin{cases} \frac{\alpha(\alpha - 1) \cdot \dots \cdot (\alpha - j + 1)}{j!} & \text{dla } j \in \mathbb{N} \\ 1 & \text{dla } j = 0 \end{cases} \quad (3)$$

- Caputo

$${}_0^C D_t^\alpha x(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_0^t \frac{x^{(n)}(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1-n}} d\tau \quad (4)$$

gdzie n jest najmniejszą liczbą naturalną większą od α .

Definicje Riemanna-Liouville'a i Grünwalda-Letnikova są sobie równoważne. Definicja Caputo różni się w zakresie pochodnych funkcji stałych oraz wpływu warunków początkowych na rozwiązanie równania różniczkowego z pochodnymi niecałkowitego rzędu.

Dla pochodnych niecałkowitego rzędu określona jest również transformata Laplace'a, która przy założeniu zerowych warunków początkowych (dla wartości i pochodnych) jest równa:

$$\mathcal{L}\{ {}_0^{RL} D_t^\alpha x(t) \} = \mathcal{L}\{ {}_0^{GL} D_t^\alpha x(t) \} = \mathcal{L}\{ {}_0^C D_t^\alpha x(t) \} = s^\alpha \hat{x}(s) \quad (5)$$

gdzie $\hat{x}(s)$ jest transformatą Laplace'a funkcji $x(t)$.

Równania różniczkowe z pochodnymi niecałkowitego rzędu wykazują zróżnicowane zachowanie w zależności od definicji pochodnej. W szczególności równania różniczkowe z pochodną typu Caputo wymagają warunków początkowych na wartości rozwiązania, zaś definicje Riemanna-Liouville'a i Grünwalda-Letnikova wymagają wartości pochodnych odpowiednich na pochodnych ułamkowych rozwiązania.

3.3.2 Wyniki w zakresie stabilności

Analiza systemów niecałkowitego rzędu wymaga analizy stabilności. Ze względu na charakter rozwiązań równań różniczkowych z pochodnymi niecałkowitego rzędu, nie jest możliwe uzyskanie stabilności wykładniczej. Dlatego szczególną rolę odgrywa stabilność Mittag-Lefflera. Definiuje się ją w następujący sposób:

Rozwiązanie równania

$${}_0^C D_t^\alpha \mathbf{x}(t) = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \in \Omega \subset \mathbb{R}^n \quad (6)$$

gdzie $\alpha \in (0, 1)$, funkcja $\mathbf{f}: [t_0, \infty] \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$, jest przedziałami ciągła ze względu na t i lokalnie spełnia warunek Lipschitza ze względu na \mathbf{x} w swojej dziedzinie, zaś zbiór $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ zawiera początek układu współrzędnych, jest stabilne w sensie Mittag-Lefflera jeżeli

$$\|\mathbf{x}(t)\| \leq \left(m(\mathbf{x}_0) E_\alpha(-\lambda t^\alpha) \right)^\beta$$

gdzie $\lambda \geq 0$, $\beta > 0$, E_α jest jednoparametrową funkcją Mittag-Lefflera, zaś funkcja $m(\mathbf{x})$ lokalnie spełnia warunek Lipschitza oraz $m(0) = 0$ i $m(\mathbf{x}) > 0$.

Istotną częścią przedmiotowego osiągnięcia jest dowód, że stabilność w sensie Mittag-Lefflera implikuje asymptotyczną stabilność w sensie Lapunowa (praca [JB4]).

Twierdzenie 1. *Stabilność Mittag-Lefflera implikuje stabilność asymptotyczną.*

Dowód. Chcemy pokazać, że dla każdego ε , istnieje δ taka, że dla każdego $\|\mathbf{x}(0)\| < \delta$ mamy $\|\mathbf{x}(t)\| < \varepsilon$. Zachodzi

$$\|\mathbf{x}(t)\| \leq \left(m(\mathbf{x}(0)) E_\alpha(-\lambda t^\alpha) \right)^\beta \quad (7)$$

Dla $\alpha \in (0, 1)$ i $t > 0$ mamy

$$E_\alpha(-\lambda t^\alpha) \leq 1 \quad (8)$$

więc

$$m^\beta(\mathbf{x}(0)) (E_\alpha(-\lambda t^\alpha))^\beta \leq m^\beta(\mathbf{x}(0)) \quad (9)$$

dlatego

$$\|\mathbf{x}(t)\| \leq m^\beta(\mathbf{x}(0)) \quad (10)$$

Niech Ω będzie zwartą kulą $\Omega_r = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n : \|\mathbf{x}\| \leq r\}$ gdzie r jest danym promieniem. Ponieważ m jest ciągła i określona na \mathbb{R}^n mamy, że $m(\Omega_r)$ jest ograniczona (twierdzenie o wartości maksymalnej) i $m^\beta(\mathbf{x})$ przyjmuje największą i najmniejszą wartość. Niech f będzie funkcją $f : r \rightarrow f(r) = \max m^\beta(\mathbf{x})$ na $\Omega_r \in \mathbb{R}^n$. Funkcja f jest ciągła, bo m jest lokalnie Lipschitzowska. Weźmy $\varepsilon = f(r)$. Mamy, że dla każdego $\|\mathbf{x}_0\| < r$, rozwiązanie

$$\|\mathbf{x}(t)\| < m^\beta(\mathbf{x}_0) \leq \max m^\beta(\Omega_r) = \varepsilon \quad (11)$$

δ jest mniejsza niż, najmniejsze rozwiązanie równania $\varepsilon = f(r)$. Rozwiązanie istnieje ponieważ $f(r)$ jest ciągła i przyjmuje wartości z przedziału $[0, \varepsilon]$. Dlatego też, zerowy punkt równowagi jest stabilny.

Aby dowieść asymptotycznej stabilności wystarczy wykazać, że zerowy punkt równowagi jest atraktywny. Można to zrobić wprost z definicji stabilności Mittag-Lefflera stability. Mamy

$$\|\mathbf{x}(t)\| \leq (m(\mathbf{x}(0)) E_\alpha(-\lambda t^\alpha))^\beta \quad (12)$$

gdzie $m(\mathbf{x}_0)$ ma skończoną wartość i $E_\alpha(-\lambda t^\alpha) \rightarrow 0$ dla $t \rightarrow \infty$. Norma rozwiązania $\|\mathbf{x}(t)\|$ jest ograniczona z góry przez funkcję zbieżną do zera i z dołu przez zero. Więc, $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{x}(t)\| = 0$. Stąd zerowy punkt równowagi jest asymptotycznie stabilny. \square

Ważną rolę w analizie stabilności Mittag-Lefflera odgrywa analog bezpośredniej metody Lapunowa dla układów niecałkowitego rzędu. Niech $\mathbf{x} = 0$ będzie punktem równowagi równania(6), niech $D \subset \mathbb{R}^n$ będzie dziedziną zawierającą początek układu współrzędnych. Niech $V(t, \mathbf{z}) : [0, \infty) \times D \rightarrow \mathbb{R}$ będzie funkcjonałem różniczkowalnym w sposób ciągły rzędu β , spełniającym lokalny warunek Lipschitza ze względu na \mathbf{z} takim, że:

$$\alpha_1 \|\mathbf{z}\|^a \leq V(t, \mathbf{z}) \leq \alpha_2 \|\mathbf{z}\|^{ab}, \quad (13)$$

$${}^C D_t^\beta V(t, \mathbf{x}(t)) \Big|_{\mathbf{x}(t)=\mathbf{z}} \leq -\alpha_3 \|\mathbf{z}\|^{ab}, \quad (14)$$

gdzie $\mathbf{x}(t)$ jest rozwiązaniem równania (6), $t \geq 0$, $\mathbf{z} \in D$, $\beta \in (0, 1)$, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, a, b$ są dodatnimi stałymi. Wtedy rozwiązanie $\mathbf{x} = 0$ równania (6) jest stabilne w sensie Mittag-Lefflera. W pracy [JB4] analizowano również stabilność układów niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem funkcjonału typu kwadratowego.

3.3.3 Wrażliwość numeryczna aproksymacji

Charakterystyczną własnością układów niecałkowitego rzędu jest nieskończona pamięć, która wynika z tego, że wszystkie definicje pochodnej niecałkowitego rzędu nie są określone w punkcie jak klasyczna pochodna a na przedziale $(0, t)$. Co więcej, równania niecałkowitego rzędu nie posiadają własności półgrupowej, w sensie, że ich rozwiązania nie mogą być rozpatrywane na następujących po sobie przedziałach. W zastosowaniach automatyki, podstawowe zadanie regulatora lub filtra to praca w sposób ciągły tj. na potencjalnie nieograniczonym horyzoncie czasowym. Przez realizację układu niecałkowitego rzędu będziemy rozumieć możliwość utworzenia systemu, który będzie posiadał tę cechę. Ze względu na nieskończoną pamięć układów niecałkowitego rzędu nie można numerycznie realizować wprost z definicji, lecz należy zastosować aproksymację pozwalającą na zachowanie jak najwięcej własności przybliżanego układu.

W pracy [JB2] prowadzono badania nad zastosowaniem pochodnej Grünwalda-Letnikova do implementacji układów niecałkowitego rzędu poprzez rozwiązywanie równań różniczkowych niecałkowitego rzędu na skończonych odcinkach (dla zadań o zadanym czasie końcowym). Pokazano, jak można skonstruować metodę pozwalającą na rozwiązanie układów liniowych w postaci

$$\begin{aligned} {}_0^C D_t^\alpha \mathbf{x}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad 0 < \alpha \leq 1 \\ \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0 \end{aligned} \quad (15)$$

Za pomocą układów liniowych tego typu można zrealizować m.in. wiele rodzajów filtrów niecałkowitego rzędu o współmiernych rzędach pochodnych.

Metoda służąca do rozwiązywania równań tego typu ma postać

$$\mathbf{x}(t) = (\mathbf{I} - h^\alpha \mathbf{A})^{-1} \left(h^\alpha \mathbf{B}\mathbf{u}(t) - \sum_{k=1}^p c_k \mathbf{x}(t - kh) \right) \quad (16)$$

$$h = T/m, \quad t = ph, \quad p = 0, 1, \dots, m \quad (17)$$

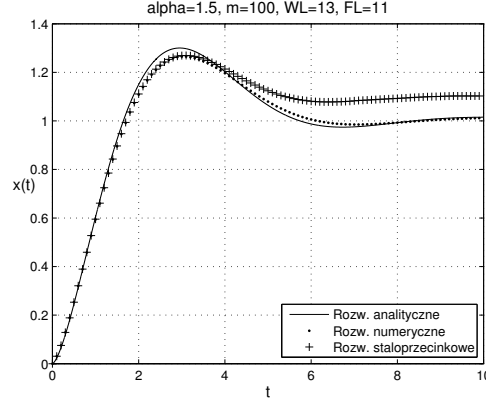
$$c_k = (-1)^k \binom{\alpha}{k}, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

W wyniku analiz pokazano również, że metoda ta, jak też i podobne metody wykorzystujące pochodną Grünwalda-Letnikova, są wrażliwe na błędy zaokrągleń. Pokazano, że wartości współczynników c_k dla odpowiednio dużych k są zaokrąglane do zera w arytmetyce stałoprzecinkowej, co prowadzi do rozbieżności między rozwiązaniem analitycznym a numerycznym. Przykładowe rozwiązanie dla równania

$${}_0^C D_t^\alpha x(t) = -x(t) + 1, \quad x(0) = 0, \quad \alpha = 1.5$$

przy słowie obliczeniowym (WL) o długości 13 bitów, z częścią ułamkową 11 bitową, przedstawiono na rysunku 1.

Zaobserwowanie wrażliwości metody skłoniło autora do przeprowadzenia badań nad wrażliwością innych metod aproksymacji układów niecałkowitego rzędu. Rozpoczęto badania nad różnymi metodami, m.in. nad najpopularniejszą metodą aproksymacji



Rysunek 1: Rozbieżności między rozwiązaniem numerycznym a analitycznym wywołane błędami zaokrągleń.

Oustaloupa, która realizuje aproksymację układu niecałkowitego rzędu w dziedzinie częstotliwości. W szczególności za pomocą tej metody tworzy się aproksymację rzędu N transmitancji s^α dla częstotliwości z zakresu $[\omega_b, \omega_h]$ w następujący sposób

$$s^\alpha \approx K \prod_{i=1}^N \frac{s + \omega'_i}{s + \omega_i} \quad (19)$$

gdzie:

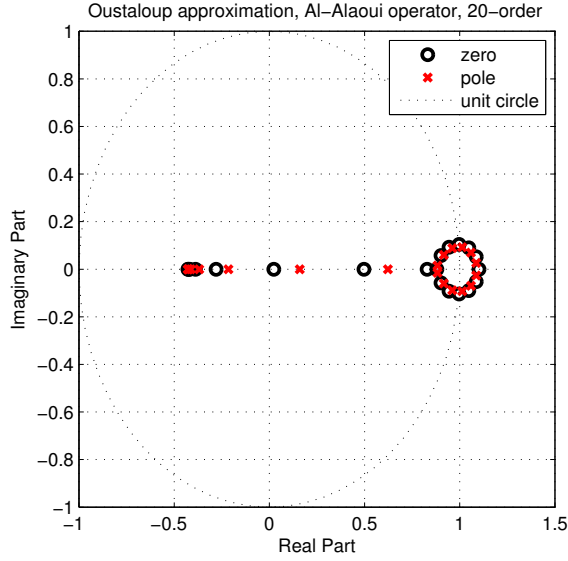
$$\begin{aligned} \omega'_i &= \omega_b \omega_u^{(2i-1-\alpha)/N} \\ \omega_i &= \omega_b \omega_u^{(2i-1+\alpha)/N} \\ K &= \omega_h^\alpha \\ \omega_u &= \sqrt{\frac{\omega_h}{\omega_b}} \end{aligned} \quad (20)$$

Metoda, zwłaszcza dla wysokiego rzędu aproksymacji, prezentuje bardzo dokładne odwzorowanie charakterystyki częstotliwościowej aproksymowanego układu. W wyniku badań okazało się jednak, że aproksymacja ta w formie (19) nie jest możliwa do realizacji w rzeczywistych układach sterowania. Pomimo, że bieguny transmitancji (19) są ujemnymi liczbami rzeczywistymi, dyskretna forma transmitancji uzyskiwana metodami zarówno typu explicit, jak i implicit jest niestabilna numerycznie. Przeprowadzono testy dwóch najbardziej odpornych metod dyskretyzacji gwarantujących zachowanie stabilności tj. metod:

- Tustina:

$$s \approx \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1} \quad (21)$$

oraz



Rysunek 2: Przykład destabilizacji wskutek dyskretyzacji dla metody Al-Alaoui i aproksymacji rzędu 20.

- Al-Alaoui'ego

$$s \approx \frac{2}{T} \frac{z - 1}{(1 - a) + (1 + a)z} \quad (22)$$

Pomimo zastosowania tych metod dyskretyzacji zaobserwowano efekty pojawiające się także dla innych metod, tj. zniekształcenie odwzorowania biegunów transmitancji. W idealnym przypadku rzeczywiste ujemne bieguny transmitancji znajdujące się blisko zera powinny zostać odwzorowane w dyskretnie bieguny rzeczywiste o wartościach mniejszych od jeden (ale znajdujących się blisko krawędzi koła jednostkowego). Błędy zaokrąglenia powodują jednak, że bieguny transmitancji (19) są odwzorowane na okrąg o środku w punkcie $(1, j0)$ na płaszczyźnie zespolonej, powodując że część z nich znajdzie się poza kołem jednostkowym i zdestabilizują układ. Przykład takiego zniekształcenia ilustruje rysunek 2.

3.3.4 Metoda aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a

W związku z potrzebą uzyskania aproksymacji układów niecałkowitego rzędu zachowującej stabilność numeryczną opracowano nową metodę, po raz pierwszy opisaną w pracy [JB3].

Opracowana metoda ma zastosowanie do aproksymacji systemów o transmitancji postaci

$$\hat{g}(s) = \frac{q_m s^{\gamma_m} + q_{m-1} s^{\gamma_{m-1}} + \dots + q_0}{s^{\sigma_n} + p_{n-1} s^{\sigma_{n-1}} + \dots + p_0} \quad (23)$$

których odpowiedź w dziedzinie czasu na sygnał u jest dana poprzez operator splotowy

$$y(t) = (u * g)(t) = \int_0^t u(t - \theta)g(\theta)d\theta \quad (24)$$

gdzie $g(t)$ jest odwrotną transformatą Laplace'a funkcji $\hat{g}(s)$. Pokazano, że dla ograniczonych $g(t) \in \mathcal{L}_1(0, \infty) \cap \mathcal{L}_2(0, \infty)$ rozwiązanie (24) można aproksymować rozwiązaniem układu liniowych równań różniczkowych zwyczajnych.

Aproksymujący system ma postać (dla rzędu aproksymacji $n + 1$, $\xi = [\xi_0 \ \dots \ \xi_n]^\top$):

$$\begin{cases} \dot{\xi}(t) = \mathbf{A}\xi(t) + \mathbf{B}u(t) \\ y(t) = \mathbf{C}\xi(t) \end{cases} \quad (25)$$

z macierzami $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, $a_{ij} = \begin{cases} -\mu, & i = j \\ -2\mu, & i > j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$, $\mathbf{B} = [b_i]$, $b_i = \sqrt{2\mu}$, $\mathbf{C} = [c_j]$, $c_j = \beta_j$

gdzie β_k jest dana wzorem

$$\beta_k = \frac{\sqrt{2\mu}}{k!} \sum_{j=0}^k \binom{k}{j} c_j^k(\mu) \hat{g}^{(k-j)}(\mu) \quad (26)$$

gdzie współczynniki c_j^k określa rekurencja $c_j^k(\mu) = \frac{k-j+1}{2\mu} c_{j-1}^k$, $c_0^k(\mu) = (2\mu)^k$, $j = 0, 1, \dots, k$. Istotą metody jest aproksymacja odpowiedzi impulsowej układu niecałkowitego rzędu (23) za pomocą skończonego szeregu ortonormalnych funkcji Laguerre'a. W pracy [JB6] wykazano, że aproksymacja jest zbieżna zarówno w sensie normy w przestrzeni \mathcal{L}_1 jak i w przestrzeni \mathcal{L}_2 .

Pokazano również, że parametr μ należy dobierać jako

$$\mu = \arg \max \sum_{k=0}^n \beta_k^2(\mu) \quad (27)$$

W pracy [JB6] analizowano aproksymację tego typu dla układów postaci

$$G(s) = \frac{1}{(Ts + 1)^\alpha} \quad (28)$$

w pracy [JB8] prowadzono analizę aproksymacji filtrów dolnoprzepustowych postaci

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^{2\alpha} + 2\xi\omega_0 s^\alpha + \omega_0^2} \quad (29)$$

zaś w pracy [JB12] analizowano filtry pasmowo-przepustowe postaci klasycznej

$$G(s) = \frac{K\omega_0^2 s^\gamma}{s^{2\alpha} + 2\xi\omega_0 s^\alpha + \omega_0^2} \quad (30)$$

i równoległej

$$G(s) = K \left(\frac{1}{T_1 s^\alpha + 1} - \frac{1}{T_2 s^\beta + 1} \right) = K \frac{s^\alpha (T_2 s^{\beta-\alpha} - T_1)}{T_1 T_2 s^{\alpha+\beta} + T_1 s^\alpha + T_2 s^\beta + 1} \quad (31)$$

Pokazano, że w pewnych okolicznościach metoda jest w stanie zachować zbieżność pomimo braku ograniczoności odpowiedzi impulsowej. Pokazano również, że aproksymacje wysokiego rzędu niosą za sobą dodatkowe ryzyko związane z błędami numerycznymi wyliczenia silni we wzorze (26). Pokazano również, że inne wartości μ niż dane wzorem (27) powodują znaczne pogorszenie jakości aproksymacji.

W pracy [JB8] dokonano systematycznej analizy efektywności tej metody dla realizacji filtrów niecałkowitego rzędu. Pokazano, że jest to metoda prowadząca do bardzo dobrych aproksymacji niskiego rzędu w sensie normy \mathcal{H}_∞ (zobacz tab. 1).

Tablica 1: Porównanie normy \mathcal{H}_∞ błędu aproksymacji metod Oustaloupa w dziedzinie czasu (OT) oraz aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a dla transmitancji (29) z parametrami ξ i α , 6 rząd aproksymacji. Symbol '-' oznacza niestabilność oryginalnego systemu.

ξ	α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-0,8	LIRA	1,76	1,84	0,74	10,01	-	-	-	-	-
	OT	0,16	0,49	1,64	12,54	-	-	-	-	-
-0,6	LIRA	0,43	0,37	0,73	0,38	0,42	-	-	-	-
	OT	0,08	0,14	0,26	0,57	1,80	-	-	-	-
-0,4	LIRA	0,33	0,25	0,23	0,38	0,16	0,13	2,33	-	-
	OT	0,05	0,07	0,12	0,20	0,36	0,82	2,70	-	-
-0,2	LIRA	0,26	0,32	0,38	0,06	0,18	0,35	0,08	1,04	-
	OT	0,04	0,05	0,08	0,11	0,17	0,26	0,48	1,12	-
0	LIRA	0,22	0,41	0,46	0,12	0	0,08	0,01	0,07	0,63
	OT	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,19	0,28	0,42
0,2	LIRA	0,25	0,48	0,54	0,25	0,06	0,05	0,02	0,01	0,07
	OT	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,13
0,4	LIRA	0,27	0,52	0,60	0,35	0,12	0,09	0,06	0,03	0,01
	OT	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06
0,6	LIRA	0,27	0,55	0,65	0,43	0,18	0,12	0,09	0,05	0,02
	OT	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04
0,8	LIRA	0,27	0,57	0,68	0,49	0,23	0,07	0,11	0,06	0,02
	OT	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
1	LIRA	0,27	0,59	0,70	0,55	0,27	0,10	0,13	0,07	0,03
	OT	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02

W pracy [JB6] pokazano, że można zastosować metodę aproksymacji do optymalizacji układów liniowych zawierających regulatory niecałkowitego rzędu. Wykorzystuje się własność ortonormalności funkcji Laguerre'a, co pozwala na wyliczenie normy w przestrzeni

$\mathcal{L}_2(0, \infty)$ aproksymowanej odpowiedzi impulsowej $g_n(t)$ systemu (25) za pomocą wzoru

$$\|g_n(t)\|_2 = \int_0^\infty g_n^2(t)dt = \sum_{i=0}^n \beta_i^2 \quad (32)$$

Metodę tę można wykorzystać do optymalizacji ze względu na różne sygnały wymuszające, analizując aproksymację odpowiedzi impulsowej transmitancji uchybowej [JB6].

W pracy [JB12] udowodniono warunek dostateczny pozwalający na określenie czy odpowiedź impulsowa układu ułamkowego jest w przestrzeni $\mathcal{L}_1 \cap \mathcal{L}_2$, co pozwala na jego aproksymację. Warunek ten ma postać:

Twierdzenie 2. *Jeżeli transmitancję układu ułamkowego $G(s)$ można przedstawić jako*

$$G(s) = \sum_{i=0}^n \frac{K_i}{T_i s^{\alpha_i} + 1} \quad (33)$$

gdzie $T_i > 0$, $K_i \in \mathbb{R}$, $\alpha_i \in (1/2, 1)$ i $n < \infty$, wtedy odpowiedź impulsowa tego układu spełnia

$$g(t) \in \mathcal{L}_1[0, +\infty) \cap \mathcal{L}_2[0, +\infty)$$

3.3.5 Metoda Oustaloupa w dziedzinie czasu

Metoda wykorzystująca funkcje Laguerre'a pomimo swoich zalet nie jest w stanie rozwiązać problemu aproksymacji systemów o transmitancjach s^α lub $s^{-\alpha}$. W analizie układów ciągłych najlepsze efekty daje opisana wcześniej metoda Oustaloupa, która pozwala na bardzo dobre odwzorowanie charakterystyki amplitudowo fazowej.

Jak analizowano m.in. w pracy [JB9], postać częstotliwościowa nie może być dyskretyzowana ze względu na niestabilność numeryczną. W pracy [JB5] pokazano, że niestabilność ta wywołana jest faktem, że bieguny ciągłej transmitancji zgrupowane są w okolicy 0 (zwłaszcza dla aproksymacji dla niskich częstotliwości). Te bieguny podczas dyskretyzacji są odwzorowywane blisko punktu $(1, j0)$ na płaszczyźnie zespolonej. Powoduje to, że dyskretyzując każdy biegun indywidualnie otrzymuje się grupę dyskretnych biegunów postaci

$$(z - 1 + \varepsilon_i)(z - 1 + \varepsilon_{i+1})(z - 1 + \varepsilon_{i+2}) \dots$$

gdzie parametry $\varepsilon_i > 0$ to odległości biegunów od okręgu jednostkowego (rzędy wielkości od 10^{-4} do 10^{-9} są częste). W takim przypadku wypadkowy mianownik transmitancji będzie zawierał współczynniki będące iloczynami poszczególnych ε_i prowadząc do liczb bliskich lub mniejszych od $2.22 \cdot 10^{-16}$, czyli najmniejszej liczby, jaką można dodać do jedności w środowisku MATLAB (w innych środowiskach występują analogiczne liczby o podobnych rzędach wielkości). Prowadzi to do błędów zaokrągleń, co w połączeniu z dużą wrażliwością pierwiastków wielomianu na zmiany wartości jego współczynników wywołuje niestabilność. Te błędy są nieuniknione, nawet przy podstawianiu obliczeń symbolicznych, ze względu na ograniczenia podwójnej precyzji. Dlatego też aproksymacja Oustaloupa w dziedzinie częstotliwości dla wysokich rzędów prowadzi do niestabilności.

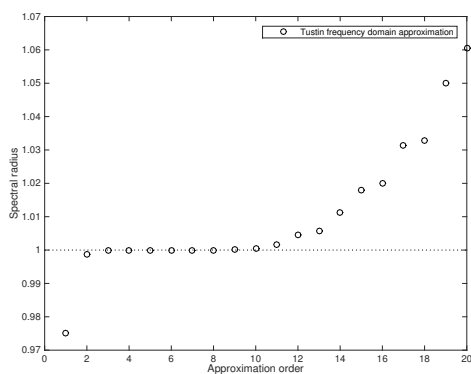
Słabości tej nie ma opracowana w pracy [JB5] metoda aproksymacji Oustaloupa w dziedzinie czasu. W pracy tej pokazano, że aproksymacja transmitancji s^α może być zrealizowana w postaci następującego układu równań stanu

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ B_2 & A_2 & 0 & \dots & 0 \\ B_3 & B_3 & A_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_N & B_N & \dots & B_N & A_N \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} KB_1 \\ KB_2 \\ KB_3 \\ \vdots \\ KB_N \end{bmatrix} u \\ y &= [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad 1] \mathbf{x} + Ku \end{aligned} \quad (34)$$

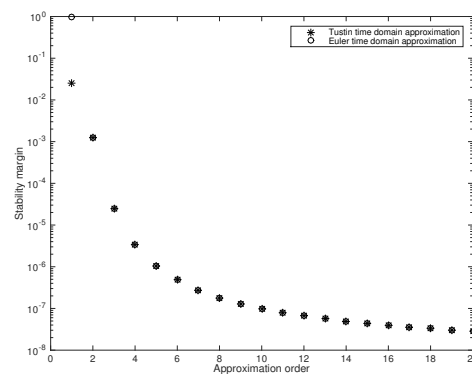
gdzie

$$A_k = -\omega_k, \quad B_k = \omega'_k - \omega_k = -2\omega_b \omega_u^{\frac{2k-1}{N}} \sinh\left(\frac{\alpha}{N} \log \omega_u\right) \quad (35)$$

zaś ω_k , ω'_k oraz K są dane wzorami (20). W pracy [JB9] przeprowadzono szczegółową analizę stabilności dyskretyzacji tej aproksymacji. Pokazano, że zwiększanie rzędu, częstotliwości próbkowania lub szerokości pasma nie wpływa w żaden sposób na stabilność. Jest to wywołane strukturalnymi własnościami macierzy stanu aproksymacji (34), której wartości własne znajdują się na przekątnej i ich dyskretyzacja metodami Tustina lub Eulera w tył nie powoduje mnożenia ich przez siebie i błędów zaokrągleń. Przykładowo, na rysunku 3(a) przedstawiono, jak zmienia się promień spektralny ρ dyskretyzacji aproksymacji w dziedzinie częstotliwości wraz ze wzrostem rzędu aproksymacji. Jak można zauważyć, od pewnej wartości rzędu N przekracza on wartość 1 powodując niestabilność. Dla porównania na rysunku 3(b) przedstawiono zmianę zapasu stabilności (wyrażonego jako $1 - \rho$), dla aproksymacji w dziedzinie czasu. Jak widać, zapas stabilności maleje, ale układ pozostaje stabilny.



(a) aproksymacja w dziedzinie częstotliwości



(b) aproksymacja w dziedzinie czasu

Rysunek 3: Porównanie stabilności aproksymacji typu Oustaloupa – częstotliwościowej i czasowej wraz ze zmianą rzędu.

W pracy [JB8] pokazano, że ta metoda pozwala tworzyć bardzo dokładne aproksymacje wysokiego rzędu dla filtrów niecałkowitego rzędu.

3.3.6 Dyfuzyjna realizacja integratora niecałkowitego rzędu

Prowadzono prace nad wykorzystaniem tzw. dyfuzyjnej realizacji integratora niecałkowitego rzędu. Dyfuzyjna realizacja filtra wykorzystuje zależność

$$\frac{1}{s^\alpha} = \int_0^\infty \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} \frac{1}{x^\alpha} \frac{1}{s+x} dx \quad (36)$$

W ten sposób możliwe jest usunięcie niecałkowitej potęgi zmiennej zespolonej s i skorzystanie z aproksymacji

$$\int_0^\infty \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} \frac{1}{x^\alpha} \frac{1}{s+x} dx \approx \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{s+x_i} \quad (37)$$

gdzie współczynniki sumy wylicza się w oparciu o kwadratury numeryczne. W pracach [JB11, JB10] analizowano zbieżność takiej aproksymacji zarówno przy zastosowaniu kwadratur dla przedziałów skończonych [JB10] jak i nieskończonych [JB11]. W analizie przedziałów nieskończonych zastosowano kwadratury Fouriera-Czebyszewa i uogólnioną Gaussa-Laguerre'a.

Uogólniona kwadratura Gaussa-Laguerre'a wykorzystywana jest do wyliczania całek postaci

$$\int_0^\infty x^\mu e^{-x} f(x) dx \quad (38)$$

z wykorzystaniem

$$\sum_{k=0}^N w_k^{L,\mu} f(x_k^{L,\mu}) \quad (39)$$

gdzie węzły $x_j^{L,\mu}$ są zerami uogólnionych wielomianów Laguerre'a

$$L_N^\mu = \sum_{m=0}^N (-1)^m \binom{N+\mu}{N-m} \frac{x^m}{m!} \quad (40)$$

zaś $w_j^{L,\mu}$ określone są jako

$$w_j^{L,\mu} = \frac{\Gamma(N+\alpha+1)x_j^L}{N![(N+1)L_{N+1}^\mu(x_j^{L,\mu})]^2} \quad (41)$$

Współczynniki aproksymacji (37) mają więc postać

$$\begin{aligned} x_j &= x_j^{L,-\alpha} \\ b_j &= \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} e^{x_j^{L,-\alpha}} w_j^{L,-\alpha} \end{aligned} \quad (42)$$

Kwadratura Fouriera-Czebyszewa jest kwadraturą na skończonym przedziale $[0, \pi]$, którą można zastosować do przedziału nieskończonego za pomocą transformacji

$$x = \text{ctg}^2(t/2) \quad (43)$$

która odwzorowuje przedział $[0, \pi]$ na $[0, \infty]$. Co daje

$$\int_0^{\infty} f(x) dx = \int_0^{\pi} 2f(\text{ctg}^2(t/2)) \frac{\sin t}{(1 - \cos t)^2} dt \quad (44)$$

Kwadratura przyjmuje więc postać sumy

$$\sum_{k=1}^N w_k^{FC} f(x_k^{FC}) \quad (45)$$

gdzie

$$x_j^{FC} = \text{ctg}^2\left(\frac{t_j}{2}\right) \quad (46)$$

$$w_j^{FC} = \frac{2 \sin t_j}{(1 - \cos t_j)^2} \frac{2}{N+1} \sum_{m=1}^N \frac{\sin mt_j (1 - \cos m\pi)}{m} \quad (47)$$

$$t_j = \frac{\pi j}{N+1} \quad (48)$$

Współczynniki aproksymacji (37) mają więc postać

$$\begin{aligned} x_j &= x_j^{FC} \\ b_j &= \frac{\sin \alpha \pi}{\pi (x_j^{FC})^\alpha} w_j^{FC} \end{aligned} \quad (49)$$

Wyniki aproksymacji za pomocą tych kwadratur przedstawiono na rysunku 4. Porównano tam charakterystyki Bodego, oraz współczynniki aproksymacji (w formie par wzmocnienie-stała czasowa). Od razu zauważalnym problemem jest skupienie się stałych czasowych w okolicy 1 s dla kwadratury Fouriera-Czebyszewa i w okolicy 0.01 s dla kwadratury Gaussa-Laguerre'a. Powoduje to, że aproksymacja w dziedzinie częstotliwości ma ograniczoną dokładność. Więcej szczegółów w pracy [JB10].

Analiza tych wyników pozwoliła wywnioskować, że skoro aproksymacja (37) jest sumą filtrów dolnoprzepustowych pierwszego rzędu jakoś aproksymacji będzie zależać od ich stałych czasowych. Ponieważ jesteśmy zainteresowani dobrą reprezentacją częstotliwości dla różnych rzędów wielkości zaproponowano następującą transformację, przyjmując

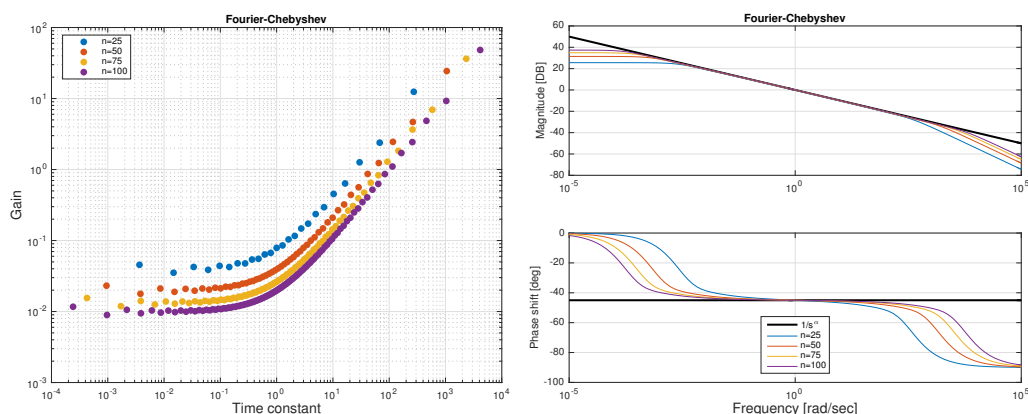
$$x = 10^\theta$$

Całkowanie (36) dla przedziału $x \in [10^{\delta_1}, 10^{\delta_2}]$ (nie można zastosować przedziału nieograniczonego, ze względu na za duży rozrzut wartości) redukuje się do

$$\int_{\delta_1}^{\delta_2} \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} \log(10) 10^{\theta(1-\alpha)} \frac{1}{s + 10^\theta} d\theta. \quad (50)$$

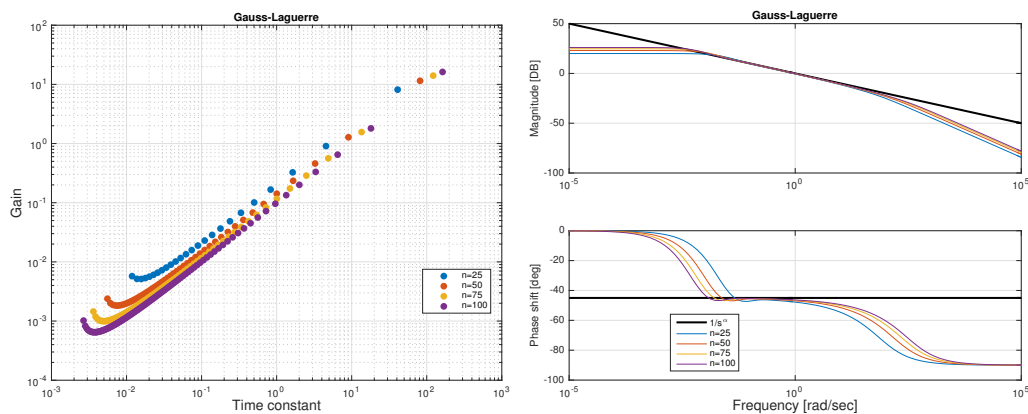
Całka ta, pomimo, że wyrażenie podcałkowe jest bardziej skomplikowane, pozwala na zrównoważenie wpływu wszystkich częstotliwości (wysokich i niskich).

Analizowano w tym kontekście kwadratury Gaussa-Legendre'a i kwadraturę Clenshawa-Curtisa. W obydwu przypadkach wzory na współczynniki aproksymacji mają tę samą



(a) Stałe czasowe i wzmacnienia - kwadratura Fouriera-Czebyszewa

(b) Charakterystyki Bodego - kwadratura Fouriera-Czebyszewa



(c) Stałe czasowe i wzmacnienia - kwadratura Gaussa-Laguerre'a

(d) Charakterystyki Bodego - kwadratura Gaussa-Laguerre'a

Rysunek 4: Porównanie charakterystyk Bodego oraz stałych czasowych i wzmoceń uzyskanych przez aproksymację przez kwadratury na nieskończonym przedziale całkowania dyfuzyjnej realizacji integratora ułamkowego rzędu.

postać, t.j.

$$\begin{aligned} x_j &= 10^{x_j^*} \\ b_j &= \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} \log(10) 10^{x_j^*(1-\alpha)} w_j^* \end{aligned} \quad (51)$$

gdzie za * należy wstawić odpowiednio *GL* lub *CC*. Różnica polega na wyznaczaniu węzłów i wag kwadratury. W przypadku kwadratury Gaussa-Legendre'a są to odpowiednio

$$\begin{aligned} x_j^{GL} &= \lambda(T) \\ w_j^{GL} &= 2v_{1j}^2 \end{aligned} \quad (52)$$

gdzie

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{\sqrt{1-2^{-2}}} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{1-2^{-2}}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-3^{-2}}} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{1-3^{-2}}} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-n^{-2}}} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{1-n^{-2}}} & 0 \end{bmatrix} = V \text{diag}(\lambda(T)) V^{-1}$$

przy czym $V = [v_{ij}]_{n \times n}$. Wadą tego algorytmu, jest złożoność obliczeniowa równa złożoności rozwiązania problemu własnego macierzy T .

W przypadku kwadratury Clenshawa-Curtisa, węzły mają postać

$$x_j^{CC} = \cos j \frac{\pi}{n}, \quad j = 0, 1, \dots, n \quad (53)$$

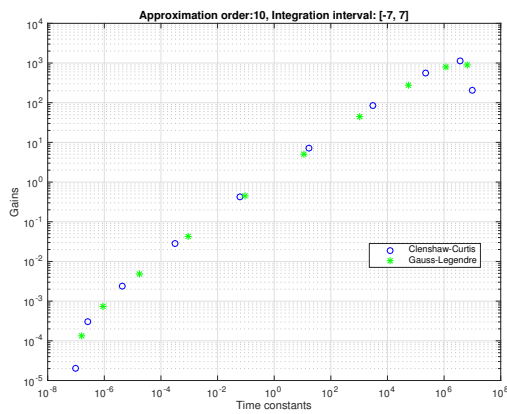
i są węzłami Czebyszewa drugiego rodzaju. Wagi $\mathbf{w}^{CC} = [w_0^{CC} \ w_1^{CC} \ \dots \ w_n^{CC}]$ wylicza się, za pomocą odwrotnej szybkiej transformaty Fouriera, w następujący sposób

$$\mathbf{w}^* = \text{ifft}(\mathbf{g} + \mathbf{v}) \quad (54)$$

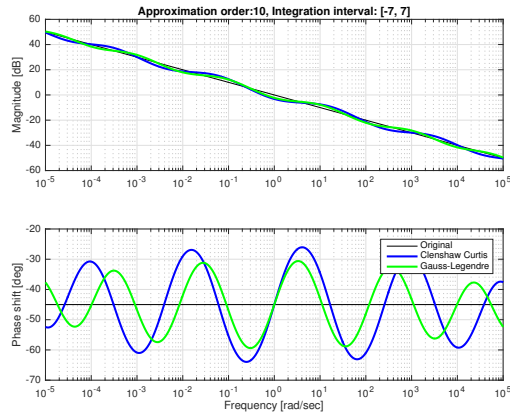
gdzie $\mathbf{v} = [v_k]_{1 \times n+1}$, $\mathbf{g} = [g_k]_{1 \times n+1}$, przy czym

$$\left\{ \begin{array}{l} v_k = \frac{2}{1-4k^2}, \quad k = 0, 1, \dots, \left[\frac{n}{2} \right] - 1, \\ v_{[n/2]} = \frac{n-3}{2[n/2]-1} - 1, \\ v_{n-k} = v_k, \quad k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right], \end{array} \right. , \quad \left\{ \begin{array}{l} g_k = -w_0^{CC}, \quad k = 0, 1, \dots, \left[\frac{n}{2} \right] - 1, \\ v_{[n/2]} = w_0^{CC} [(2 - \text{mod}(n, 2))n - 1], \\ v_{n-k} = g_k, \quad k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right], \end{array} \right. \quad (55)$$

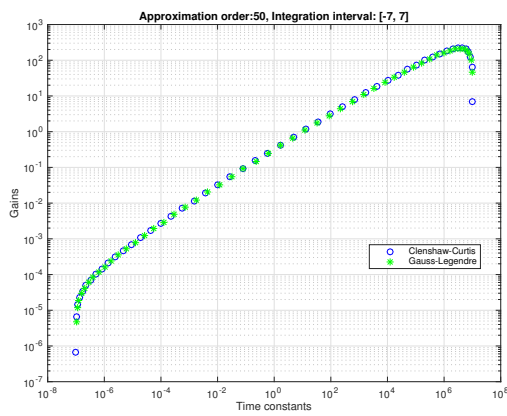
zaś $w_0^{CC} = (n^2 - 1 + \text{mod}(n, 2))^{-1}$. Przewaga tej kwadratury, to znacząco mniejsza złożoność obliczeniowa wyznaczania współczynników, równa złożoności szybkiej transformaty Fouriera. Na rysunku 5 pokazano wyniki aproksymacji dla rzędów 10 i 50 dla obydwu rodzajów kwadratur. Można zauważyć znacząco lepsze wyniki, niż w przypadku przedziałów nieskończonych. Szczegóły w pracy [JB11].



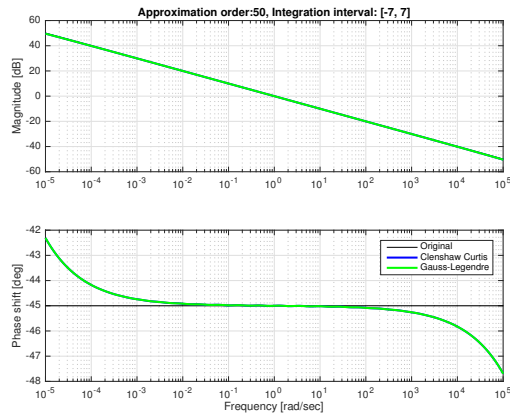
(a) Stałe czasowe i wzmocnienia - rząd 10



(b) Charakterystyki Bodego - rząd 10



(c) Stałe czasowe i wzmocnienia - rząd 50



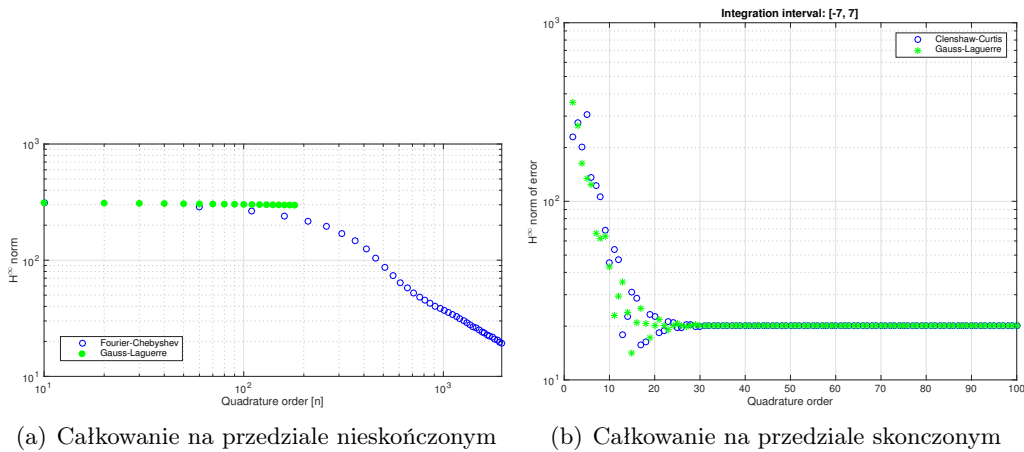
(d) Charakterystyki Bodego - rząd 50

Rysunek 5: Porównanie charakterystyk Bodego oraz stałych czasowych i wzmocnień uzyskanych przez aproksymację przez kwadratury na skończonym przedziale całkowania ($[10^{-7}; 10^7]$) dyfuzyjnej realizacji integratora ułamkowego rzędu.

Pokazano jednak, że niezależnie od wyboru kwadratury zbieżność jest zbyt wolna aby aproksymacja ta miała praktyczne zastosowanie. Można to zaobserwować na rysunkach 6(a) i 6(b). Należy jednak podkreślić, że aproksymacja na skończonym przedziale osiąga błąd ustalony 30 razy szybciej niż aproksymacja na przedziale nieskończonym. Warto również zauważyć, że błąd ten jest zdominowany przez składowe niskoczęstotliwościowe (błąd charakterystyki fazowej na poziomie 2° dla amplitudy 50 dB ma silne przełożenie na normę \mathcal{H}_∞).

3.3.7 Filtracja niecałkowitego rzędu

Oprócz sposobów realizacji analizowano zagadnienia zastosowań układów niecałkowitego rzędu w przetwarzaniu sygnałów. W pracy [JB8] analizowano szczegółowo zachowanie



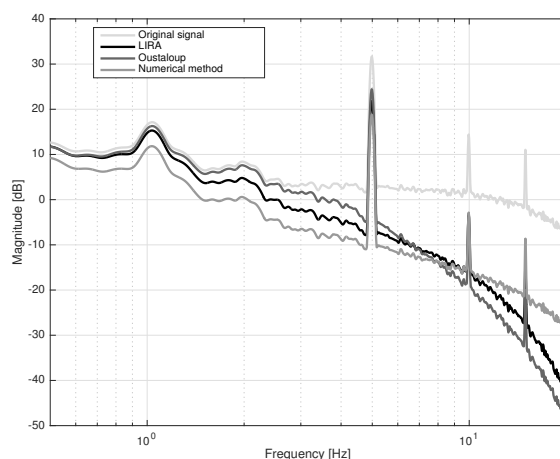
Rysunek 6: Porównanie zbieżności aproksymacji z wykorzystaniem wzoru (37) w sensie normy \mathcal{H}_∞ dla różnych kwadratur.

filtra o strukturze

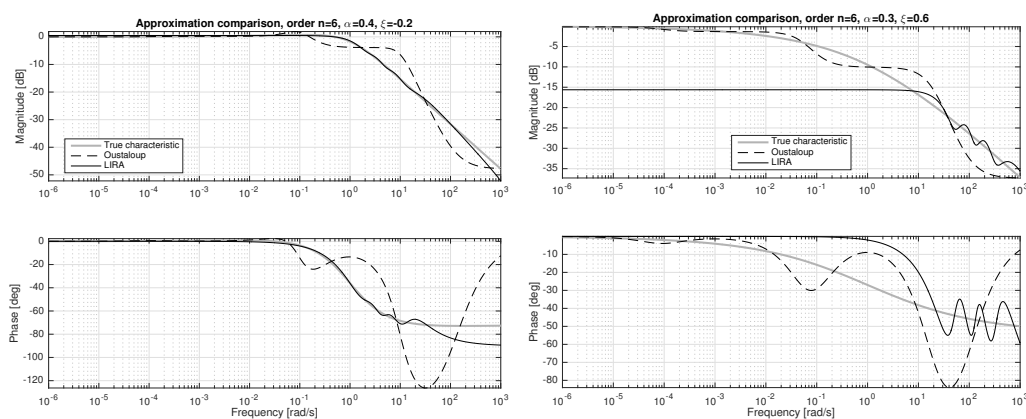
$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^{2\alpha} + 2\xi\omega_0 s^\alpha + \omega_0^2} \quad (56)$$

Filtr (56) analizowano pod kątem jego aproksymacji metodą aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a i za pomocą metody Oustaloupa w dziedzinie czasu w pracy [JB8]. Między innymi również tam zastosowano go do filtracji sygnałów EEG za pomocą trzech różnych metod. Wynik filtracji (w formie gęstości widmowej mocy przedstawiono na rysunku 7). Przykłady aproksymacji dla różnych zestawów parametrów przedstawiono na rysunku 8. Jak można zauważyć, metody prezentują różną jakość aproksymacji w zależności od parametrów filtra. Dla wysokich rzędów aproksymacji efekt ten przestaje być zauważalny.

W pracy [JB12] przedstawiono wyniki związane z analizą filtrów pasmowych niecałkowitego rzędu postaci (30) i (31). Opracowano metody doboru parametrów filtrów - analityczną dla filtra typu (30), pozwalającą na niezależne kształtowanie zbocza narastającego i opadającego charakterystyki przy zachowaniu symetrii poziomów tłumienia na brzegach pasma przepustowego oraz optymalizacyjną, wykorzystującą interpolację Czebyszewa dla filtrów typu (31).



Rysunek 7: Widma sygnału EEG przed i po filtracji z wykorzystaniem filtra dolnoprzepustowego ułamkowego rzędu typu (56). Wykorzystano trzy realizacje - aproksymację Laguerre'a, aproksymację Oustaloupa w wersji czasowej i realizację z wykorzystaniem metody (16).



(a) Przewaga metody LIRA

(b) Przewaga metody Oustaloupa

Rysunek 8: Przykładowe aproksymacje 6-go rzędu filtra postaci (56) dla różnych wartości parametrów.

Metoda analityczna wykorzystuje następujący algorytm (dla pasma $[f_1, f_2]$ rad/s):

- Ustawić rzędy α i γ aby uzyskać zadane rosnące 20γ dB/dec i opadające $-20(2\alpha - \gamma)$ dB/dec zbocze charakterystyki filtra.
- Określić f_1 i f_2 oraz dodatkową częstotliwość pośrednią f_g taką, że $f_1 < f_g < f_2$. Ustawić $\omega_0 = f_g^\alpha$.

- Rozwiązać równanie

$$f_1^\gamma h(\xi, f_2^\alpha) = f_2^\gamma h(\xi, f_1^\alpha) \quad (57)$$

ze względu na ξ , gdzie h jest funkcją postaci

$$h(p, q) = \begin{bmatrix} p^2 & p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4q^2\omega_0^2 \\ 4q\omega_0 \cos\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right) (q^2 + \omega_0^2) \\ q^4 + 2\cos(\pi a) q^2\omega_0^2 + \omega_0^4 \end{bmatrix}$$

Jest to równanie kwadratowe ze względu na ξ . Przy braku rzeczywistych rozwiązań ξ_1 i ξ_2 należy zmienić zbocza i/lub pożądane pasmo oraz f_g . Jeżeli rozwiązania są rzeczywiste należy przyjąć $\xi = \xi_i$ gdzie ξ_i spełnia wymóg stabilności filtra.

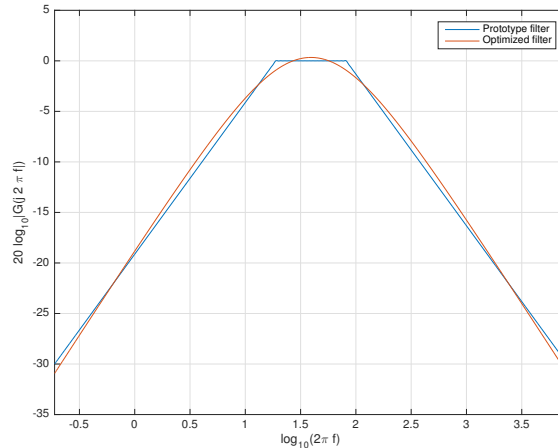
- Ustawić wzmocnienie filtra jako

$$K = \frac{2|\xi + \cos\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)|}{f_g^\gamma}$$

Takie wzmocnienie gwarantuje

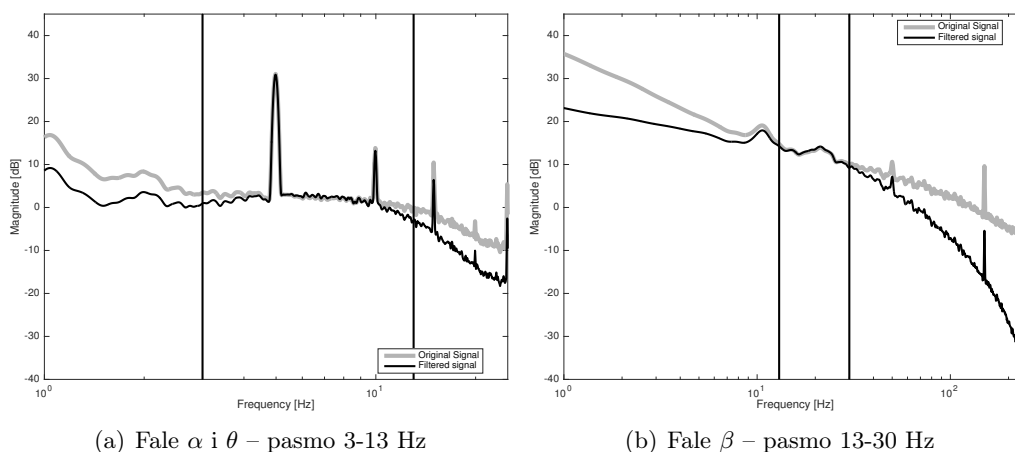
$$|G(jf_g)| = 1$$

Metodę optymalizacyjną szczegółowo omówiono w pracy [JB12]. Przykład dopasowania filtra do zadanej charakterystyki można zaobserwować na rysunku 9.

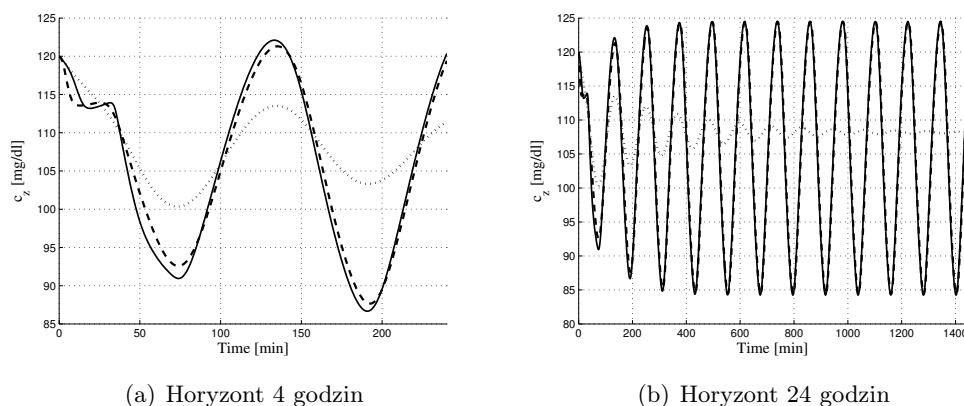


Rysunek 9: Charakterystyka filtra pasmowego w postaci równoległej (31) uzyskanego za pomocą optymalizacji.

Odpowiedzi impulsowe tych filtrów można aproksymować funkcjami Laguerre'a i tak zaaproksymowany filtr może być wykorzystany np. do filtracji sygnałów EEG co przedstawiono w pracy. Wynik filtracji pokazano na rysunku 10.



Rysunek 10: Widmo sygnału EEG przed i po filtracji filtrami pasmowym niecałkowitego rzędu



Rysunek 11: Porównanie aproksymacji różnicowej (kropki), aproksymacji Galerkina (linia przerywana) i rozwiązania dokładnego (linia ciągła) dla ewolucji glukozy

3.3.8 Aproksymacja opóźnienia dla układu metabolizmu glukoza-insulina

Niezależnie od zagadnień związanych z aproksymacją układów niecałkowitego rzędu, autor pracował również nad aproksymacją układów z opóźnieniem. W pracy [JB1] analizowano model metabolizmu cukru w organizmie człowieka. W modelu tym analizuje się stężenia odpowiednio insuliny we krwi, insuliny w przestrzeniach komórkowych i glukozy we krwi.

$$c_x(t) = \frac{x(t)}{V_p} \quad c_y(t) = \frac{y(t)}{V_i} \quad c_z(t) = \frac{0.1z(t)}{V_g}$$

Wielkości te w klasycznej wersji wynikają z rozwiązań nieliniowych równań różniczkowych z opóźnieniem

$$\dot{x}(t) = f_1(c_z(t)) - E(c_x(t) - c_y(t)) - \frac{x(t)}{T_p} \quad (58)$$

$$\dot{y}(t) = E(c_x(t) - c_y(t)) - \frac{y(t)}{T_i} \quad (59)$$

$$\dot{z}(t) = u_g(t) - (u_0 + c_z(t)f_2(c_y(t))) + f_3(c_x(t - \tau)) \quad (60)$$

gdzie

$$f_1(v) = \frac{R_m}{1 + \exp(\phi_{11} - \phi_{12}v)}$$

$$f_2(v) = U_0 + \frac{U_m - U_0}{1 + \exp\left(\phi_{21} + \phi_{22} \ln\left(\left(1 + \frac{V_i}{ET_i}\right)v\right)\right)}$$

$$f_3(v) = \frac{R_g}{1 + \exp(\phi_{31}v - \phi_{32})}$$

W większości prac w literaturze analizowana jest skończenie wymiarowa aproksymacja modelu, zastępująca opóźnienie różnicami. Autor opracował metodę aproksymacji za pomocą projekcji Galerkina i bazy ortonormalnych wielomianów Legendre'a. Opracowany model przyjmuje postać:

$$\dot{y}(t) = E\left(\frac{1}{V_p} \mathbf{m}^\top \mathbf{a}(t) - c_y(t)\right) - \frac{y(t)}{T_i} \quad (61)$$

$$\dot{z}(t) = u_g(t) - (p_0 + c_z(t)f_2(c_y(t))) + f_3\left(\frac{1}{V_p} \mathbf{d}^\top \mathbf{a}(t)\right) \quad (62)$$

$$\dot{\mathbf{a}}(t) = \mathbf{E}^{-1}\left(\mathbf{A}_2 \mathbf{a}(t) + \mathbf{C}_2 \Phi(c_y(t), c_z(t), \mathbf{m}^\top \mathbf{a}(t))\right) \quad (63)$$

$$x(t) = \mathbf{m}^\top \mathbf{a}(t) \quad (64)$$

gdzie

$$\mathbf{E} = [e_{ij}]_{(N+1) \times (N+1)} = \begin{cases} e_{ij} = \frac{\tau}{2j+1}, & j = i, i \leq N \\ e_{ij} = 1, & i = N+1 \\ e_{ij} = 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (65)$$

$$\mathbf{A}_2 = [a_{ij}]_{(N+1) \times (N+1)} = \begin{cases} a_{ij} = 2 \cdot ((j-i) \bmod 2), & j \geq i \\ a_{ij} = 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (66)$$

$$\mathbf{C}_2 = [c_i]_{(N+1) \times 1} = \begin{cases} c_i = 1, & i = N+1 \\ c_i = 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (67)$$

$$\Phi(v_1, v_2, v_3) = Ev_1 + f_1(v_2) - \left(\frac{E}{V_p} + \frac{1}{T_p} \right) v_3 \quad (68)$$

$$\mathbf{m} = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T \in \mathbb{R}^{N+1} \quad (69)$$

$$\mathbf{d} = [1 \ -1 \ 1 \ \dots \ (-1)^N]^T \in \mathbb{R}^{N+1} \quad (70)$$

Podano również metodę wyznaczania warunku początkowego dla nowego systemu. Należy zwrócić uwagę, że zmienna x jest przedstawiana jako kombinacja nowych zmiennych stanu wchodzących w skład wektora $\mathbf{a}(t)$. W szczególności $x(t) = \mathbf{m}\mathbf{a}(t)$ zaś $x(t - \tau) = \mathbf{d}\mathbf{a}(t)$.

Zastosowanie zaproponowanej aproksymacji pozwoliło na uzyskanie zdecydowanie lepszych wyników niż znana z literatury aproksymacja różnicowa (porównaj rys. 11). Różnice są szczególnie widoczne przy długim horyzoncie czasowym, gdzie model różnicowy się stabilizuje, nie przedstawiając znanych z praktyki medycznej oscylacji ultradobowych.

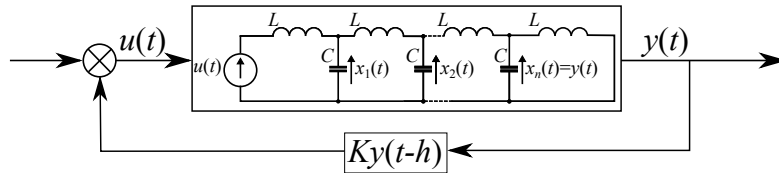
3.3.9 Aproksymacja Padé w analizie stabilności i optymalizacji regulatora

Inny obszar prac autora dotyczył syntezy regulatora z opóźnieniem stabilizujący czysto oscylacyjny system. Rozważany układ analizowano w interpretacji układu drabinkowego LC, a strukturę sterowania przedstawia rysunek 12. Wyniki tych badań opisano w pracy [JB7]. Wykorzystano tam aproksymację Padé w dziedzinie częstotliwości do wyodrębnienia obszaru stabilności parametrów regulatora $u(t) = Ky(t - h)$, to jest wzmocnienia K i opóźnienia h . Opracowano algorytm wyznaczania brzegu obszaru stabilności. Dodatkowo, z wykorzystaniem twierdzenia Jamesa-Nicholsa-Philipsa, opracowano algorytm optymalizacji z ograniczeniami, pozwalający na minimalizację całki z kwadratu wyjścia systemu. Przykładowy wynik przedstawiono na rysunku 13.

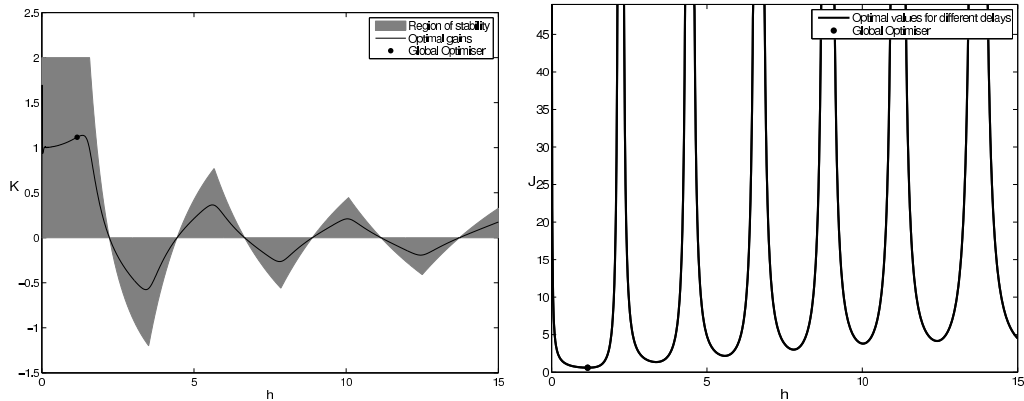
3.4 Streszczenia prac wchodzących w skład osiągnięcia.

3.4.1 [JB1] Modelling of Delay in Glucose-Insulin Dynamics

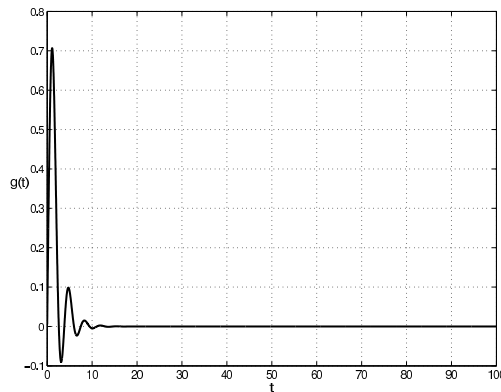
W pracy analizowano model dynamiki glukoza-insulina. Ponieważ model ma postać równania różniczkowego z opóźnieniem pożądana jest aproksymacja skończenie wymiarowa. Dwa rodzaje takiej aproksymacji są analizowane. Pierwsza metoda opiera się o dyskretyzację, zaś druga bazuje na projekcjach Galerkina. Obydwie metody zostały dokładnie



Rysunek 12: Optymalizowany układ regulacji składający się z drabinki LC i regulatora z opóźnieniem $u(t) = Ky(t - h)$



(a) Minimalne wartości wskaźnika jakości, minimum globalne i obszar stabilności (b) Minimalne wartości wskaźnika jakości w funkcji h



(c) Odpowiedź impulsowa optymalnego układu zamkniętego

Rysunek 13: Przykładowe wyniki optymalizacji parametrów regulatora $u(t) = Ky(t - h)$ dla systemu oscylacyjnego.

opisane. Porównanie metod przeprowadzono dla szerokiego zakresu rzędów i zilustrowano wykresami.

3.4.2 [JB2] Investigation of Fixed-Point Computation Influence on Numerical Solutions of Fractional Differential Equations

W pracy rozważane jest zagadnienie wpływu obliczeń stałoprzecinkowych na rozwiązania numeryczne liniowych równań różniczkowych ułamkowego rzędu. Jest to problem o dużej istotności, ze względu na potencjał zastosowania systemów ułamkowego rzędu w zadaniach sterowania i filtracji. Dyskusja obejmuje metodę numeryczną wykorzystującą pochodną ułamkową Grünwalda-Letnikova i wpływ zastosowania architektury stałoprzecinkowej na jej działanie. Wnioski są zilustrowane wynikami obliczeń wykonanymi

w arytmetyce zmiennoprzecinkowej (podwójna precyzja) oraz stałoprzecinkowej (różne długości słowa obliczeniowego).

3.4.3 [JB3] Laguerre Polynomial approximation of fractional order linear systems

Praca przedstawia skończenie wymiarową aproksymację systemów liniowych ułamkowego rzędu i ich związek z równaniem transportu. Głównym wynikiem jest, że liniowy system ułamkowego rzędu można aproksymować skończoną liczbą liniowych równań różniczkowych zwyczajnych. Przedstawiono estymatę błędu w normie C_0 . Przedstawiono również rozwiązanie liniowego systemu ułamkowego rzędu za pomocą liniowego funkcjonału na rozwiązaniu równania transportu. Wynik ten pokazuje związek z teorią półgrupową i teorią systemów ułamkowych. Wyniki zilustrowano przykładem oscylatora ułamkowego rzędu.

3.4.4 [JB4] Applications of Direct Lyapunov Method in Caputo Non-Integer Order Systems

Praca przedstawia pewne własności metody bezpośredniej Lapunowa dla układów niecałkowitego rzędu. Stabilność Mittag-Lefflera jest zdefiniowana i przeanalizowano jej związek ze stabilnością Lapunowa. Przedstawiono również ogólne wyniki dla funkcjonałów Lapunowa, wraz z nowym, udowodnionym wynikiem pozwalającym na konstruktywną analizę stabilności. Wyniki zilustrowano przykładami analizy stabilności w procesach chłodzenia, reakcji chemicznych i analizy stabilności w zależności od parametru.

3.4.5 [JB5] Time-domain Oustaloup Approximation

Praca przedstawia nową metodę implementacji metody Oustaloupa aproksymacji układów niecałkowitego rzędu w dziedzinie cyfrowej. Przedstawiono klasyczną metodę i omówiono jej ograniczenia. Przedstawiono metodę realizacji oraz schematy dyskretyzacji. Praca metody jest zilustrowana dwoma przykładami. Pracę kończy dyskusja ograniczeń metody i podsumowanie.

3.4.6 [JB6] Convergence of Laguerre Impulse Response Approximation for Non-Integer Order Systems

Jednym z najważniejszych zagadnień w zastosowaniach układów niecałkowitego rzędu jest ich implementacja. Jednym z możliwych podejść jest aproksymacja operacji splotu z odpowiedzią impulsową układu niecałkowitego rzędu. W tej pracy przedstawiono nowe wyniki dotyczące aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a. Między innymi pokazano nowy dowód zbieżności aproksymacji w przestrzeni \mathcal{L}_1 wymagający słabszych założeń. Oprócz tego przedstawiono pewne ogólne wyniki dotyczące funkcji należących do części wspólnej przestrzeni \mathcal{L}_1 i \mathcal{L}_2 . Metodę zilustrowano przykładami zastosowania: analizą „członu inercyjnego ułamkowego rzędu”, projektowaniem filtra niecałkowitego rzędu i optymalizacją parametryczną regulatora ułamkowego.

3.4.7 [JB7] Stabilization of a Second Order System with a Time Delay Controller

W pracy analizowana jest stabilizacja układu drugiego rzędu $\ddot{\mathbf{x}}(t) + A\mathbf{x}(t) = B\mathbf{u}(t)$ za pomocą sprzężenia zwrotnego z opóźnieniem. $u(t) = Ky(t - h)$. Rozważana jest klasa systemów drugiego rzędu, które można modelować fizycznie za pomocą sieci drabinkowych typu LC i jednocześnie, które mogą być stosowane jako aproksymacja systemów o parametrach rozłożonych z nietłumionymi oscylacjami. Przeprowadzono analizę stabilności powstałego systemu nieskończenie wymiarowego. Pokazano, że zastosowanie opisu w postaci transmitancji jest uzasadnione i zastosowano aproksymację Padé i optymalizację z ograniczeniami w celu otrzymania przybliżonych obszarów stabilności. Przedstawiono metody wyznaczania odpowiednich pochodnych, wraz porównaniem ich numerycznej efektywności. Następnie otrzymane obszary stabilności zastosowano do optymalizacji odpowiedzi impulsowej układu zamkniętego wyznaczając wartości wskaźnika jakości z twierdzenia Jamesa-Nicholsa-Philipsa. Wszystkie wyniki zilustrowano symulacjami i wynikami optymalizacji dla drabinek różnej wielkości. Omówiono również zalety i ograniczenia aproksymacji Padé.

3.4.8 [JB8] On Digital Realizations of Non-integer Order Filters

Typowe podejście do filtracji niecałkowitego rzędu bazuje na analogowym projekcie i jego implementacji. Cyfrowa realizacja systemów niecałkowitego rzędu jest podatna na problemy takie jak wymóg nieskończonej pamięci i wrażliwość na błędy numeryczne. Celem pracy jest przedstawienie dwóch wydajnych metod cyfrowej realizacji filtrów niecałkowitego rzędu: dyskretnej aproksymacji Oustaloupa w dziedzinie czasu i metody aproksymacji odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre'a (LIRA). Własności obydwu metod są badane z użyciem filtru dolno-przepustowego niecałkowitego rzędu. Filtry realizowane obydwoma metodami są następnie wykorzystane do filtracji sygnału EEG. Pracę kończy dyskusja zalet i wad obydwu metod.

3.4.9 [JB9] Stability Properties of Discrete Time-Domain Oustaloup Approximation

Praca przedstawia analizę dyskretnej realizacji aproksymacji Oustaloupa w dziedzinie czasu. Schemat realizacji jest przedstawiony wraz z metodą implementacji dyskretyzacji. Przedstawiono dyskusję uzasadniającą ten rodzaj realizacji. Przeprowadzono analizę stabilności analizując wpływ częstotliwości próbkowania, rzędu i pasma. Analizę zilustrowano zachowaniem się promienia spektralnego zdyskretyzowanego systemu.

3.4.10 [JB10] Quadrature Based Approximations of Non-Integer Order Integrator on Infinite Integration Interval

Systemy niecałkowitego rzędu odgrywają rosnącą rolę w nauce i technice. Przeszkodą w zastosowaniach praktycznych jest nieskończona pamięć. Aby zrealizować taki system należy zastosować aproksymację. W tej pracy rozważana jest nowa metoda aproksymacji

integratora niecałkowitego rzędu $1/s^\alpha$. Metoda ta bazuje na tak zwanej dysuzyjnej realizacji integratora z wykorzystaniem kwadratur na nieskończonych przedziałach całkowania. W szczególności analizowana jest zbieżność i jakość aproksymacji z wykorzystaniem normy H^∞ jako wskaźnika jakości. Omówione i przeanalizowane są również mocne i słabe strony metody.

3.4.11 [JB11] Quadrature Based Approximations of Non-Integer Order Integrator on Finite Integration Interval

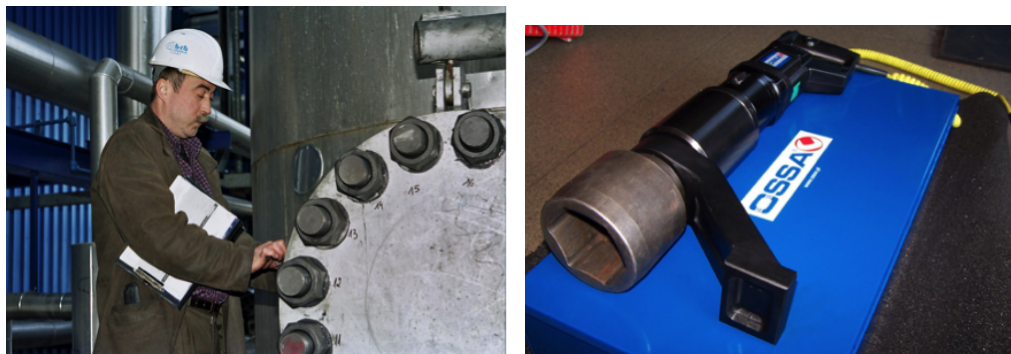
Implementacja systemów niecałkowitego rzędu jest tematem ciągłych badań. W tej pracy rozważana jest aproksymacja integratora niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem dyfuzyjnej realizacji pseudoróżniczkowego operatora. Proponowana jest transformacja zmiennych pozwalająca na łatwiejszą aproksymację z wykorzystaniem kwadratur. Analizowana jest zbieżność i omówione są konsekwencje redukcji przedziału całkowania.

3.4.12 [JB12] Fractional Band-pass Filters: Design, Implementation and Application to EEG Signal Processing

Filtry pasmowe ułamkowego rzędu są obiecującym obszarem przetwarzania sygnałów. Są szczególnie atrakcyjne jako metoda przetwarzania sygnałów biomedycznych, takich jak EEG, gdzie niepożądane jest silne zniekształcanie sygnału. Przedstawione są dwie struktury pasmowego filtra ułamkowego: jedna jako analog klasycznego filtra drugiego rzędu; druga powstająca przez połączenie równoległe dwóch filtrów dolnoprzepustowych. Omówiona jest metoda implementacji filtra – aproksymacja odpowiedzi impulsowej funkcjami Laguerre’a – razem z warunkami dostatecznymi na możliwość realizacji filtra. Omówiono metody strojenia filtra, w szczególności pewne wyniki analityczne oraz algorytm optymalizacji do strojenia numerycznego. Filtry zaimplementowano i przetestowano na sygnałach EEG. Wyniki omówiono wskazując potencjalne ograniczenia i potencjał rozwoju.

4 Pozostała działalność naukowa

4.1 Udział w pracach badawczo-rozwojowych



(a) Przykład połączenia śrubowego

(b) Zakrętarka elektromechaniczna

Rysunek 14: Zakrętarke elektromechaniczne umożliwiają realizację połączeń śrubowych w konstrukcjach stalowych zgodnie z normą PN-EN 1090-2.

Oprócz prac prowadzonych w zakresie układów niecałkowitego rzędu wnioskodawca realizuje również prace o charakterze badawczo rozwojowym. Prace te dotyczą konstrukcji dwóch typów zakrętarek elektromechanicznych we współpracy z firmą ZBM OSSA, w ramach projektów „Inteligentna Zakrętarka Elektromechaniczna – Smart Electric Torque Tool” oraz „Bezszcotkowa Zakrętarka Elektromechaniczna – Brushless Electric Torque Tool”.

Celem obydwu projektów jest zbadanie technologii i przeprowadzenie badań umożliwiających odpowiednio przyszłą konstrukcję zakrętarke elektromechanicznej z możliwością bezpośredniego pomiaru momentu dokręcania i diagnostyką, oraz konstrukcję zakrętarke napędzanej nieiskrzącym silnikiem bezszczotkowym. Zakrętarke mają umożliwiająjąc dokręcanie śrub w połączeniach sprężanych w zakresie momentów 2000-15000 Nm zgodnie z normą PN-EN 1090-2 – „Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych”. Przykładowe połączenia tego typu można zaobserwować na rysunku 14(a).

Obecnie dokręcanie tego typu realizuje się za pomocą urządzeń z kontrolowanym momentem obrotowym czyli: ręcznych kluczy dynamometrycznych (dla małych momentów), kluczy hydraulicznych (wymagających zasilania hydraulicznego) oraz zakrętarek elektromechanicznych (zasilanych z sieci 230 V/50 Hz, zob. rys. 14(b)).

Przewagą zakrętarek elektromechanicznych nad innymi rozwiązaniami jest ich duża mobilność, łatwość zapewnienia zasilania i szeroki zakres momentów dokręcania. Zakrętarka elektromechaniczna składa się z następujących elementów:

- przekładni podnoszącej moment obrotowy,
- napędu elektrycznego, zazwyczaj w postaci silnika uniwersalnego komutatorowego,

- sterownika wykonanego w technologii analogowej lub cyfrowej.

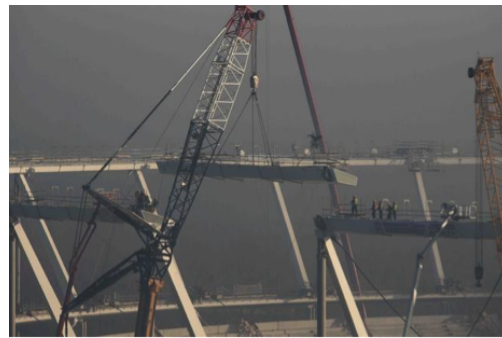
Połączenia śrubowe sprężane odgrywają bardzo dużą rolę we współczesnym budownictwie i przemyśle. W szczególności dotyczy to budowł o dużej skali, przykładowo zakrętarke elektromechaniczne jednego z członków konsorcjum wykorzystywane były m.in. na budowie w Rafinerii Gdańskiej (rys. 15(a), 10 tys. połączeń) oraz na budowie Stadionu Śląskiego (rys. 15(b), 8 tys. połączeń). W uproszczeniu zasada działania połączenia sprężanego polega na dokręceniu śruby z siłą, powodującą jej odwracalne wydłużenie, czyli „w obszarze” stosowalności prawa Hooke’a . Zgodnie z normą PN-EN 1090-2 połączenie śrubowe sprężane polega na zakręceniu nakrętki z odpowiednią siłą sprężającą, która zależy od nominalnej wytrzymałości na rozciąganie materiału śruby oraz pola jej przekroju czynnego. W zależności od wymaganej siły określany jest odpowiedni moment dokręcania. Norma reguluje cztery sposoby dokręcania, z których dwa można realizować przy pomocy zakrętarke elektromechanicznej. Pierwsza z metod wymaga dwuetapowego dokręcania z kontrolowanym momentem z dokładnością $\pm 4\%$, dokręcanie to ma mieć charakter ciągły i równomierny. Druga metoda, tzw. kombinowana wymaga dokręcania za dokładnością $\pm 10\%$ do pewnej zadanej wartości momentu, a następnie dokręcania nakrętki o dodatkowy kąt zależny od grubości części łączonych i średnicy śruby. Urządzenia opracowywane w ramach projektu będą umożliwiać dokręcanie z wymogami normy PN-EN 1090-2.

Jedną ze znaczących innowacji badań jest opracowanie zakrętarke z bezpośrednim pomiarem momentu. Obecnie w zakrętarce moment dokręcania jest estymowany z momentu elektromagnetycznego silnika przed przekładnią. Ta metodyka jest przyczyną tak mało restrykcyjnych tolerancji w normie.

Obecnie oba realizowane projekty trwają i ich wstępne rezultaty są bardzo obiecujące.



(a) Rafineria Gdańska (10 tys. połączeń)



(b) Stadion Śląski (8 tys. połączeń)

Rysunek 15: Przykłady współczesnych prac budowlanych wymagających połączeń śrubowych o kontrolowanym momencie.

4.2 Projekty badawcze

4.2.1 Udział w krajowych projektach badawczych

(tytuł projektu, nr umowy, źródło finansowania, budżet, stopień dofinansowania, rola, okres)

- Odtwarzanie stanu systemów dynamicznych z dyskretnych danych pomiarowych, Dynamical system state estimation from discrete measurement data, N N514 417734, MNiSW, 55 420,00 zł, 55 420,00 zł, główny wykonawca, 2008-2010
- Zastosowania i analiza sterowanych układów dynamicznych, Application and analysis of controlled dynamical systems, N N514 414034, MNiSW, 262 750 zł, 262 750 zł, wykonawca, 2008-2011
- Algorytmy sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi, Algorithms of control and management of housing buildings, N N514 644440, NCN, 601620 zł, 601620 zł, główny wykonawca, 2011-2013
- Optymalizacja polskiego systemu finansowania podstawowej opieki zdrowotnej, Optimisation of Polish primary healthcare financing system, n/d, Ernst & Young - Program Sprawne Państwo, 60 000 zł, 60 000 zł, lider projektu, 2011-2012
- Opracowanie automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych, Development of automatic device for digitalisation of industrial and historical objects, UDA-POIG.01.04.00-12-124/11-00, Dz. 1.4 POIG, 5 032 841,00 zł, 2 695 728,25 zł, ekspert naukowy z zakresu automatyki i elektroniki, 2013-2014
- Projektowanie i zastosowanie podsystemów niecałkowitego rzędu w układach sterowania, Design and application of noninteger order subsystems in control systems, 2013/09/D/ST7/03960, NCN, 366 350 zł, 366 350 zł, kierownik projektu, 2014-2016
- Inteligentna Zakrętarka Elektromechaniczna - Smart Electric Torque Tool, In3/225932, NCBR, 1 516 581 zł, 1 205 018 zł, główny wykonawca, 2014-2017
- Bezszczotkowa Zakrętarka Elektromechaniczna - Brushless Electric Torque Tool, PBS3/B4/ 13/2015, NCBR, 1 572 462 zł, 1 292 462 zł, główny wykonawca, 2015-2017

4.2.2 Udział w międzynarodowych projektach badawczych

- Koordynator na AGH projektu „PRONTO: PROcess NeTwork Optimization for efficient and sustainable operation of Europe’s process industries taking machinery condition and process performance into account.” realizowanego w ramach MSCA-ITN-2015-EID - Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks (ITN-EID) w programie Horizon 2020.

- Członek Management Committee z ramienia Polski w ramach sieci naukowej COST Action CA15225 pod nazwą: „Fractional-order systems; analysis, synthesis and their importance for future design”.

COST to Europejski Program Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych (European Cooperation in Science and Technology), jest międzyrządową instytucją europejską, powołaną w celu rozwijania międzynarodowej współpracy w zakresie badań naukowych prowadzonych w ramach poszczególnych krajowych programów. COST stanowi najstarszy europejski program w dziedzinie naukowej, gdyż został on utworzony już w 1971 r. Obecnie obejmuje on 36 członkowskich krajów Unii Europejskiej oraz krajów współpracujących. Biuro COST znajduje się w Brukseli. Istota programu COST nie polega na finansowaniu własnych programów badawczych, lecz ułatwia on współpracę zespołów badawczych z różnych krajów pracujących w podobnych dziedzinach, poprzez finansowanie wymiany, spotkań, konferencji, publikacji. Istotną cechą programu jest jego elastyczność: nie są narzucone dziedziny współpracy, ale ośrodki badawcze same zgłaszają propozycje nowych Akcji programu COST.

4.2.3 Granty dziekańskie w ramach działalności statutowej AGH

- 2011 - 15.11.120.080 - Modelowanie populacji pacjentów ośrodków podstawowej opieki zdrowotnej.
- 2012/2013 - 15.11.120.228 - Modelowanie zachowań pacjentów korzystających z podstawowej opieki zdrowotnej.
- 2014 - 15.11.120.419 - Metody wnioskowania Bayesowskiego w analizie zachowań pacjentów POZ.
- 2015 - 15.11.120.493 - Metody optymalizacji parametrycznej układów nieliniowych i złożonych.

4.3 Nagrody i wyróżnienia

- Distinguished Paper Award na konferencji IX International Phd Workshop OWD
- CEM Award na konferencji X International Phd Workshop OWD
- Stypendium dla doktorantów „Moja Inspiracja - Małopolska Innowacja” fundacji „Sapere Auso” Małopolska Fundacja Stypendialna na rok akademicki 2006/2007
- Wyróżnienie Rektora AGH zespołowe I stopnia za działalność dydaktyczną w 2008 r.
- Stypendium na finansowanie doktoranckiego projektu badawczego „InnoGrant - program wspierania innowacyjnej działalności doktorantów”
- Stypendium konferencyjne Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w 2009 r.

- Nagroda główna w konkursie „Młodzi Innowacyjni 2011” za najlepszą pracę doktorską
- Nagroda Rektora AGH indywidualna I stopnia za działalność naukową w 2012 r.
- Nagroda Rektora AGH zespołowa II stopnia za działalność naukową w 2015 r.

4.4 Odbyte staże

- 1-29 luty 2012

Staż naukowy w Zakładzie Medycyny Rodzinnej Katedry Chorób Wewnętrznych i Gerontologii Collegium Medicum UJ. Celem stażu było zapoznanie się z następującymi aspektami podstawowej opieki zdrowotnej:

- specyfiką oprogramowania wykorzystywanego w zarządzaniu placówkami podstawowej opieki zdrowotnej,
- istotnymi zjawiskami związanymi z zachowaniem się populacji pacjentów korzystających z podstawowej opieki zdrowotnej,
- mechanizmami związanymi z finansowaniem podstawowej opieki zdrowotnej.

Tematyka stażu była związana z pracami prowadzonymi w ramach grantów dziekańskich.

- 1 luty 2015 - 31 maj 2015

Staż w ramach projektu „Wiedza, praktyka, doświadczenie – klucz do sukcesu w biznesie” organizowanego przez Małopolską Agencję Rozwoju Regionalnego w firmie Technika Obliczeniowa Sp. z o.o. Staż miał na celu zrealizowanie innowacyjnego rozwiązania pt. „Przygotowanie platformy e-learningowej Maple T.A. do wdrożenia na polskim rynku”.

Innowacyjne rozwiązanie było realizowane etapami, które wszystkie zostały zrealizowane pomyślnie. Etapy te to:

1. Zapoznanie się z funkcjonalnościami Maple T.A.
2. Realizacja lokalizacji interfejsu środowiska.
3. Opracowanie bazy pytań demonstracyjnych dostosowanych do polskiego systemu edukacji.
4. Przygotowanie materiałów szkoleniowo demonstracyjnych.
5. Przeszkolenie pracownika przedsiębiorcy z zakresu zagadnień metodycznych.

4.5 Działalność recenzencka

Recenzent w czasopismach m.in:

- IEEE Transactions on Education - 6,

- Neurocomputing - 4,
- Aerospace Science and Technology - 11,
- Transactions of the Institute of Measurement and Control - 13,
- International Journal of Applied Mathematics and Computer Science - 1,
- IEEE Transactions on Automation Science and Engineering - 2,
- Circuits, Systems and Signal Processing - 3,
- IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs - 2,
- IEEE Transactions on Software Engineering - 2,
- Computer Science Journal (AGH) - 1,
- IEEE Sensors - 5,
- Measurement - 1

oraz recenzent wniosków o finansowanie projektów naukowych i badawczo-rozwojowych dla Narodowego Centrum Nauki i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (w związku z zapisami dotyczącymi poufności nie jest możliwe podanie liczby recenzowanych wniosków).

5 Wykaz publikacji

5.1 Statystyki bibliometryczne

- Łączna liczba publikacji **132**, w tym **89** po uzyskaniu stopnia doktora, w tym:
 - 7 artykułów w czasopismach indeksowanych w Web of Science¹ i 2 artykuły z indeksowanych czasopism, które jeszcze nie zostały zindeksowane (wszystkie po uzyskaniu stopnia doktora),
 - 26 artykułów w innych czasopismach (z czego 20 po uzyskaniu stopnia doktora),
 - 19 rozdziałów w książkach (z czego 16 po uzyskaniu stopnia doktora),
 - 6 książek (z czego 5 po uzyskaniu stopnia doktora, w tym w dwóch jako redaktor),
 - 72 referaty w materiałach konferencyjnych (z czego 39 po uzyskaniu stopnia doktora).
- Sumaryczny Impact Factor publikacji² - **5,504**

¹Wszystkie dane z WoS, Scopus i Google Scholar pochodzą z dnia 5.04.2017

²5 z publikacji jest z lat 2016-2017, dla tych publikacji wyliczono IF w oparciu o listę za rok 2015.

5.2 Publikacje po uzyskaniu stopnia doktora

- Statystyki cytowań

Baza danych	Liczba cytowań	h-indeks
Web of Science	119	7
Web of Science (z wyłączeniem autocytowań)	37	b/d
Scopus	223	10
Scopus (z wyłączeniem autocytowań)	88	5
Scopus (z wyłączeniem cytowań współautorów)	35	4
Google Scholar	413	12

5.2 Publikacje po uzyskaniu stopnia doktora

Książki (autorstwo lub redakcja)

- [1] J. Baranowski. *Odtwarzanie stanu systemów dynamicznych z dyskretnych danych pomiarowych*. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2012.
- [2] J. Baranowski i A. Windak. *Optymalizacja polskiego systemu finansowania podstawowej opieki zdrowotnej*. Warszawa: Ernst & Young Usługi Finansowe Audyt, 2012.
- [3] W. Mitkowski, J. Kacprzyk i J. Baranowski, red. *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems: 5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland*. T. 257. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer, 2013.
- [4] J. Augustyn, P. Bania, J. Baranowski, P. Czubak, M. Długosz, M. Klemiato, M. Pauluk, P. Skruch i A. Tutaj. *Perspektywiczne zagadnienia automatyki i robotyki*. Red. J. Baranowski. NOT Rzeszów, 2015.
- [5] M. Długosz, K. Oprzędkiewicz, P. Skruch, M. Ganobis, J. Baranowski i K. Kołek. *Metody Sterowania Systemów Dynamicznych*. Red. M. Długosz. Wydawnictwa AGH, 2016.

Artykuły w czasopismach

- [1] J. Baranowski. “Modelling of delay in glucose-insulin dynamics”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 6.12 (2010), s. 123–130.
- [2] J. Baranowski, W. Bauer i P. Płuciennik. “Phyton based simulator of ICU patient hyperglycemia”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 7.4 (2011), s. 89–94.
- [3] J. Baranowski, M. Długosz, M. Ganobis, P. Skruch i W. Mitkowski. “Applications of mathematics in selected control and decision processes”. W: *Matematyka Stosowana : pismo Polskiego Towarzystwa Matematycznego* 12/53.nr spec. (2011), s. 65–90.

- [4] J. Baranowski i A. Windak. “Perspectives for aiding the management of primary healthcare with mathematical modelling”. W: *Problemy Medycyny Rodzinnej* 34.1 (2011), s. 27–34.
- [5] M. Długosz, P. Piątek, J. Baranowski i P. Skruch. “Algorytm sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi”. W: *PAR Pomiary Automatyka Robotyka* 16.12 (2011), s. 77–85.
- [6] P. Piątek i J. Baranowski. “Investigation of Fixed-Point Computation Influence on Numerical Solutions of Fractional Differential Equations”. W: *Acta Mechanica et Automatica* 5.2 (2011), s. 101–107.
- [7] J. Baranowski. “Tuning of strongly damped angular velocity observers”. English. W: *Przegląd Elektrotechniczny* 88.6 (2012), 181–187.
- [8] J. Baranowski i W. Bauer. “Trust region based parametric optimisation for non-linear systems”. W: *Automatyka* 16.1 (2012), s. 15–24.
- [9] J. Baranowski, W. Bauer, M. Oleszczyk, P. Piątek i A. Windak. “Metody częstotliwościowe w analizie zachowań pacjentów POZ”. W: *Elektryka* LVIII.3-4 (2012), s. 45–59.
- [10] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Semi-analytical methods for optimal energy transfer in RC ladder networks”. English. W: *Przegląd Elektrotechniczny* 88.9A (2012), 250–254.
- [11] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Stabilisation of LC ladder network with the help of delayed output feedback”. W: *Control and Cybernetics* 41.1 (2012), s. 13–34.
- [12] J. Baranowski i P. Piątek. “Observer-based feedback for the magnetic levitation system”. English. W: *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 34.4 (JUN 2012), 422–435.
- [13] M. Długosz, J. Chronowski, J. Baranowski, P. Piątek, W. Mitkowski i P. Skruch. “Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave”. W: *PAR Pomiary Automatyka Robotyka* 17.7-8 (2013), s. 100–106.
- [14] B. Kania, T. Dziwiński, W. Bauer, M. Zagórska i J. Baranowski. “A comparison between integer order and non-integer order controllers applied to a water levelling system”. W: *Automatyka/Automatics* 18.2 (2014), s. 71–82.
- [15] A. Kawala-Janik, J. Baranowski, M. Podpora, P. Piątek i M. Pelc. “Use Of A Cost-Effective Neuroheadset Emotiv Epor For Pattern Recognition Purposes”. W: *International Journal of Computing* 13.1 (2014), s. 25–33.
- [16] J. Baranowski, M. Zagórska, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Applications of Direct Lyapunov Method in Caputo Non-Integer Order Systems”. W: *Elektronika ir Elektrotehnika* 21.2 (2015), s. 10–13.
- [17] W. Bauer, J. Baranowski, W. Mitkowski i T. Tomasik. “Perspectives of using Markov Chain Monte Carlo for simulation of Primary Health Care patients population behaviour”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 11.2 (2015), eA43–eA44.

- [18] S. Gawron, J. Baranowski, P. Piątek i J. Ossa. “Bezszcotkowa wysokomomentowa zakrętarka elektromechaniczna – Brushless electric torque tool”. W: *Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe* 106.2 (2015), s. 113–116.
- [19] A. Kawala-Janik, J. Baranowski, W. Bauer, M. Podpora i P. Schneider. “Implementation of fractional calculus-based methods for the purpose of analysis of EEG signals”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 11.2 (2015), eA43.
- [20] J. Kolecki, M. Prochaska, P. Piątek, J. Baranowski i Z. Kurczyński. “Stabilizacja systemu pomiarowego dla wiatrakowca w aspekcie jakości danych lidar”. W: *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 27 (2015), s. 71–82.
- [21] P. Bania, J. Baranowski i M. Zagórska. “Convergence of Laguerre Impulse Response Approximation for Non-Integer Order Systems”. W: *Mathematical Problems in Engineering* 2016.Article ID 9258437 (2016), s. 13.
- [22] J. Baranowski. “Stabilization of a Second Order System with a Time Delay Controller”. W: *Control Engineering and Applied Informatics* 18.2 (2016), s. 11–19.
- [23] J. Baranowski, W. Bauer, M. Zagórska i P. Piątek. “On Digital Realizations of Non-integer Order Filters”. W: *Circuits Syst Signal Process* 35.6 (2016), s. 2083–2107.
- [24] J. Baranowski, B. Garbarz-Glos, H. Noga, D. Pauluk i M. Pauluk. “Platforma Maple T.A. : zastosowanie w edukacji matematycznej”. pol. W: *Edukacja Ustawiczna Dorosłych = Polish Journal of Continuing Education* 1 (92) (2016), s. 132–140.
- [25] Ł. Cyganik, E. Król, J. Baranowski, T. Drabek, T. Dziwiński i P. Piątek. “Koncepcja Bezszcotkowego Silnika Do Zakrętarki Elektromechanicznej”. W: *Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe* 111.3 (2016), s. 113–116.
- [26] A. Kawala-Janik, W. Bauer, M. Żołubak i J. Baranowski. “Early-Stage Pilot Study on Using Fractional-Order Calculus-Based Filtering for the Purpose of Analysis of Electroencephalography Signals”. W: *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric* 47.1 (2016).
- [27] J. Kolecki, M. Prochaska, Z. Kurczyński, P. Piątek i J. Baranowski. “Developing the stabilized mapping system for the gyrocopter - Report from the first tests”. W: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives XLI-B1.6* (2016), s. 31–36.
- [28] P. Bania i J. Baranowski. “Approximation of optimal filter for Ornstein-Uhlenbeck process with quantised discrete time observation”. W: *International Journal of Control* (2017), s. 1–15. eprint: <http://dx.doi.org/10.1080/00207179.2017.1282627>.
- [29] J. Baranowski i P. Piątek. “Fractional Band-pass Filters: Design, Implementation and Application to EEG Signal Processing”. W: *Journal of Circuits, Systems and Computers* 26.11 (2017). doi: 10.1142/S0218126617501705.

Rozdziały w książkach

- [1] J. Baranowski. “Odtwarzanie stanu systemów dynamicznych z dyskretnych danych pomiarowych — Dynamical system state estimation from discrete output measurements”. W: *Innowacyjne rozwiązania w obszarze automatyki, robotyki i pomiarów : młodzi innowacyjni 2011 : praca zbiorowa*. Red. J. Kacprzyk. Warszawa: Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, 2011.
- [2] J. Baranowski. “Optimal state and parameter estimation in the context of diabetes population”. W: *Postępy Automatyki i Robotyki*. Red. K. Malinowski i R. Dindorf. T. 1. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 23–33.
- [3] J. Baranowski, M. Długosz, M. Ganobis, W. Mitkowski, A. Obrączka i P. Skruch. “Modelowanie i sterowanie wybranych procesów energetycznych z wykorzystaniem układów łańcuchowych”. W: *Postępy Automatyki i Robotyki*. Red. K. Malinowski i R. Dindorf. T. 2. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 211–223.
- [4] J. Baranowski i P. Piątek. “Zastosowanie dedykowanych architektur sprzętowych do rozwiązywania ułamkowych równań różniczkowych liniowych - Application of dedicated hardware architectures for solving linear fractional differential equations”. W: *Postępy Automatyki i Robotyki*. Red. K. Malinowski i R. Dindorf. T. 2. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 224–235.
- [5] J. Baranowski, P. Piątek, A. Kawala-Janik, M. Pelc i R. J. Anthony. “Application of Kernel density estimators for analysis of EEG signals”. W: *Ubiquitous computing and ambient intelligence : 6th international conference, UCAml 2012 : Vitoria-Gasteiz, Spain, December 2012 : proceedings*. Red. J. Bravo, D. López-de-Ipiña i F. Moya. Berlin-Heidelberg: Springer, 2012.
- [6] P. Bania i J. Baranowski. “Laguerre Polynomial approximation of fractional order linear systems”. W: *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems: 5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland*. Red. W. Mitkowski, J. Kacprzyk i J. Baranowski. Springer, 2013, s. 171–182.
- [7] W. Bauer, J. Baranowski i W. Mitkowski. “Non-integer order $PI^{\alpha}D^{\mu}$ control ICU-MM”. W: *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems: 5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland*. Red. W. Mitkowski, J. Kacprzyk i J. Baranowski. Springer, 2013, s. 171–182.
- [8] J. Baranowski, P. Piątek, A. Kawala-Janik, M. Zagórska, W. Bauer i T. Dziwiński. “Non-integer order filtration of electromyographic signals”. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015.

- [9] W. Bauer, T. Dziwiński, J. Baranowski, P. Piątek i M. Zagórska. “Comparison of performance indices for tuning of $PI^{\lambda}D^{\mu}$ controller for magnetic levitation system”. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015.
- [10] T. Dziwiński, W. Bauer, J. Baranowski, P. Piątek i M. Zagórska. “Robust non-integer order controller for air heating process trainer”. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015.
- [11] P. Piątek, J. Baranowski, M. Zagórska, W. Bauer i T. Dziwiński. “Bi-Fractional Filters, Part 1: Left half-plane case”. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015.
- [12] M. Zagórska, J. Baranowski, P. Bania, P. Piątek, W. Bauer i T. Dziwiński. “Impulse response approximation method for ”fractional order lag””. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015.
- [13] M. Zagórska, J. Baranowski, W. Bauer, T. Dziwiński, P. Piątek i W. Mitkowski. “Lyapunov Direct Method for Non-integer Order Systems”. English. W: *Advances in modelling and control of non-integer order systems*. Red. K. J. Latawiec, M. Łukaniszyn i R. Stanisławski. Springer, 2015, s. 221–228.
- [14] J. Baranowski, W. Bauer i M. Zagórska. “Stability Properties of Discrete Time-Domain Oustaloup Approximation”. English. W: *Theoretical Developments and Applications of Non-Integer Order Systems*. Red. S. Domek i P. Dworak. T. 357. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, 2016, s. 93–103.
- [15] J. Baranowski, W. Bauer, M. Zagórska, A. Kawala-Janik, T. Dziwiński i P. Piątek. “Adaptive Non-Integer Controller for Water Tank System”. English. W: *Theoretical Developments and Applications of Non-Integer Order Systems*. Red. S. Domek i P. Dworak. T. 357. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, 2016, s. 271–280.
- [16] J. Baranowski. “Quadrature based approximations of non-integer order integrator on finite integration interval”. W: *Theory and Applications of Non-integer Order Systems*. Red. A. Babiarz, A. Czornik, J. Klamka i M. Niezabitowski. T. 407. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, 2017, s. 11–20.

Referaty w materiałach konferencyjnych

- [1] J. Baranowski. “Legendre polynomial approximations of time delay systems”. W: *Materiały XII Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD*. Wisła, 23–26. 10. 2010, s. 15–20.

- [2] J. Baranowski. “Nonlinear velocity observer for separately excited DC motor”. W: *Materiały XXXIV Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 18–21. 05. 2011, s. 93–94.
- [3] J. Baranowski. “Optymalna estymacja stanu i parametrów w kontekście populacji cukrzyków - Optimal state and parameter estimation in the context of diabetes population”. W: *KKA 2011 : XVII Krajowa Konferencja Automatyki : Kielce-Cedzyna, 19–22.06.2011 r. : streszczenia referatów*. Red. R. Dindorf. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 43–44.
- [4] J. Baranowski i W. Bauer. “Trust region based parametric optimisation for nonlinear systems”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 125–128.
- [5] J. Baranowski, W. Bauer, M. Oleszczyk, P. Piątek i A. Windak. “Metody częstotliwościowe w analizie zachowań pacjentów POZ”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 129–134.
- [6] J. Baranowski, M. Długosz, M. Ganobis, W. Mitkowski, A. Obrączka i P. Skruch. “Modelowanie i sterowanie wybranych procesów energetycznych z wykorzystaniem układów łańcuchowych — Modeling and control of selected energy processes using ladder networks”. W: *KKA 2011 : XVII Krajowa Konferencja Automatyki : Kielce-Cedzyna, 19–22.06.2011 r. : streszczenia referatów*. Red. R. Dindorf. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 169–170.
- [7] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Analytical methods for optimal energy transfer in RC ladder networks”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 48–53.
- [8] J. Baranowski i P. Piątek. “Zastosowanie dedykowanych architektur sprzętowych do rozwiązywania ułamkowych równań różniczkowych liniowych - Application of dedicated hardware architectures for solving linear fractional differential equations”. W: *KKA 2011 : XVII Krajowa Konferencja Automatyki : Kielce-Cedzyna, 19–22.06.2011 r. : streszczenia referatów*. Red. R. Dindorf. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011, s. 171–172.
- [9] J. Baranowski, P. Piątek, M. Długosz, W. Mitkowski i P. Skruch. “Zagadnienia rachunku niecałkowitego rzędu w problemach sterowania budynków mieszkalnych”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 145–148.
- [10] M. Długosz, W. Mitkowski, J. Baranowski, P. Piątek i P. Skruch. “Układy obwodowe w modelowaniu procesów cieplnych budynków”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 149–152.

- [11] J. Zagórski, P. Piątek, J. Baranowski i M. Długosz. “Projekt rozproszonego systemu pomiaru i kontroli zużycia energii elektrycznej”. W: *Materiały XIV sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, wrz. 2011, s. 42–47.
- [12] J. Baranowski. “Identification of thermal processes with fractional models”. W: *Materiały XXXV Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 23–26. 05. 2012, s. 59–60.
- [13] P. Piątek, J. Baranowski i M. Długosz. “Z-Wave technology education and presentation system”. W: *Materiały XXXV Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 23–26. 05. 2012, s. 169–170.
- [14] J. Baranowski, W. Bauer, M. Hutnik-Baranowska i A. Windak. “Projekt aplikacji do analizy zachowania pacjentów POZ w kontekście klasyfikacji ICD-10”. W: *Materiały XXXVI Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 22–25. 05. 2013, s. 135–136.
- [15] J. Baranowski, W. Bauer, M. Oleszczyk, P. Piątek i A. Windak. “Analiza widmowa zachowania populacji pacjentów podstawowej opieki zdrowotnej”. W: *Materiały XXXVI Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 22–25. 05. 2013, s. 133–134.
- [16] J. Baranowski, M. Długosz, W. Mitkowski i P. Piątek. “Zastosowanie pierścieniowych układów RC do modelowania domowych systemów grzewczych”. W: *Materiały XXXVI Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 22–25. 05. 2013, s. 97–98.
- [17] J. Baranowski, P. Piątek i W. Bauer. “Remarks about stability of fractional system approximations”. W: *Materiały XXXVI Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 22–25. 05. 2013, s. 99–100.
- [18] A. Kawala-Janik, M. Podpora, M. Pelc, J. Baranowski i P. Piątek. “Implementation of an Inexpensive EEG Headset for the Pattern Recognition Purpose”. W: *The 7th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 2013.
- [19] J. Baranowski, P. Piątek, W. Bauer, T. Dziwiński i M. Zagórska. “Bi-Fractional Filters, Part 2: Right half-plane case”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference on*. IEEE. 2014, s. 369–373.
- [20] J. Baranowski, M. Zagórska, P. Bania, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Impulse response approximation method for bi-fractional filter”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference On*. IEEE. 2014, s. 379–383.

- [21] J. Baranowski, M. Zagórska, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Remarks on impulse response of non-integer order systems”. W: *Materiały XXXVII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 21–24. 05. 2014, s. 50–54.
- [22] T. Dziwiński, W. Bauer, J. Baranowski, P. Piątek i M. Zagórska. “Robust non-integer order controller for air heater”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference On*. IEEE. 2014, s. 434–438.
- [23] A. Kawala-Janik, M. Podpora, J. Baranowski, W. Bauer i M. Pelc. “Innovative Approach in Analysis of EEG and EMG Signals - Comparison of the Two Novel Methods”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference on*. IEEE. 2014, s. 804–807.
- [24] P. Piątek, M. Zagórska, J. Baranowski, W. Bauer i T. Dziwiński. “Discretisation of different non-integer order system approximations”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference on*. IEEE. 2014, s. 429–433.
- [25] M. Zagórska, J. Baranowski, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Lyapunov direct method for non-integer order systems”. W: *Materiały XXXVII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 21–24. 05. 2014, s. 64–65.
- [26] M. Zagórska, J. Baranowski, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Simulation analysis of non-integer order system behaviour under relay control”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference On*. IEEE. 2014, s. 374–378.
- [27] J. Baranowski, W. Bauer, M. Zagórska, T. Dziwiński i P. Piątek. “Time-domain Oustaloup Approximation”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 116–120.
- [28] W. Bauer, J. Baranowski, T. Dziwiński, P. Piątek i M. Zagórska. “Oustaloup parallel approximation”. W: *Materiały XXXVIII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. 2015, s. 51–52.
- [29] W. Bauer, J. Baranowski, T. Dziwiński, P. Piątek i M. Zagórska. “Stabilisation of Magnetic Levitation with a $PI^{\lambda}D^{\mu}$ Controller”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 638–642.
- [30] W. Bauer, J. Baranowski, W. Mitkowski i T. Tomasik. “Perspectives of using Markov Chain Monte Carlo for simulation of Primary Health Care patients population behaviour”. W: *MCSB 2015 : international conference Cybernetic Modelling of Biological Systems : Kraków (Poland), 14–15 May 2015*. 2015, s. 43–44.

- [31] T. Dziwiński, P. Piątek, J. Baranowski, W. Bauer i M. Zagórska. “On the practical implementation of non-integer order filters”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 921–924.
- [32] A. Kawala-Janik, M. Podpora, A. Gardecki, W. Czuczvara, J. Baranowski i P. Piątek. “Game controller based on biomedical signals”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 934–939.
- [33] M. Zagórska, J. Baranowski, P. Bania, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Parametric optimization of PD controller using Laguerre Approximation”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015 20th International Conference On*. IEEE. 2015, s. 104–109.
- [34] M. Zagórska, J. Baranowski, W. Bauer, T. Dziwiński i P. Piątek. “Hurwitz-like criterion for nonlinear non-integer order systems”. W: *Materiały XXXVIII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 20–23. 05. 2015, s. 53–54.
- [35] P. Bania i J. Baranowski. “Field Kalman Filter and its approximation”. W: *2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC)*. Grud. 2016, s. 2875–2880.
- [36] J. Baranowski. “Remarks on distributed frequency model of non-integer integrator”. W: *Materiały XXXIX Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 18–21. 05. 2016, s. 2.
- [37] J. Baranowski, P. Piątek i K. Niemczyk. “Design and Implementation of Non-Integer Band Pass Filters for EEG Processing”. W: *Proceedings of 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*. 2016, s. 625–629.
- [38] J. Baranowski i M. Zagórska. “Quadrature Based Approximations of Non-Integer Order Integrator on Infinite Integration Interval”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2016 21st International Conference On*. 2016.
- [39] J. Chiliński, W. Bauer i J. Baranowski. “Bayesian analysis of EEG signal frequency components”. W: *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2016 21st International Conference On*. 29.08-1.09 2016, s. 767–771.

5.3 Publikacje przed uzyskaniem stopnia doktora

Książki

- [1] J. Baranowski, K. Hajduk, A. Korytowski, W. Mitkowski i A. Tutaj. *Teoria sterowania. Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych*. Red. W. Mitkowski.

Wyd. 2 popr. 2015. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2007.

Artykuły w czasopismach

- [1] J. Baranowski. “Projektowanie obserwatora dla silnika szeregowego prądu stałego”. W: *Automatyka (półrocznik AGH)* 10.1 (2006), s. 33–52.
- [2] J. Baranowski. “State estimation in linear multi output systems - design example and discussion of optimality”. W: *Automatyka (półrocznik AGH)* 10.2 (2006), s. 119–131.
- [3] J. Baranowski. “Output Collocation Method For Continuous State Estimation From Discrete Output Measurements In Linear Dynamical Systems”. W: *Automatyka (półrocznik AGH)* 12.2 (2008), s. 183–195.
- [4] J. Baranowski, M. Długosz i W. Mitkowski. “Remarks about DC motor control”. W: *Archives of Control Sciences* 18(LIV).3 (2008), s. 289–322.
- [5] J. Baranowski. “Modelowanie opóźnień występujących w dynamice glukoza-insulina — Modelling of delays in glucose-insulin dynamics”. W: *Bio-Algorithms and Med-Systems* 6.12 Supplement 1 (2010), s. 43–44.
- [6] P. Skruch, J. Baranowski i W. Mitkowski. “Dynamic feedback stabilization of nonlinear RC ladder network - Stabilizacja nieliniowych obwodów drabinkowych RC za pomocą dynamicznego sprzężenia zwrotnego”. W: *Elektryka* 56.1 (2010), s. 119–133.

Rozdziały w książkach

- [1] J. Baranowski i M. Długosz. “Sterowanie czasooptymalne silnikiem obcowzbudnym prądu stałego”. W: *Sterowanie i Automatyzacja: Aktualne problemy i ich rozwiązania*. Red. K. Malinowski i L. Rutkowski. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2008. Rozd. 2, s. 87–96.
- [2] J. Baranowski, P. Piątek i A. Piłat. “Nonlinear Observer Design for the Magnetic Levitation System”. W: *Recent advances in control and automation*. Red. K. Malinowski i L. Rutkowski. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2008, s. 73–82.
- [3] J. Baranowski i A. Tutaj. “Comparison of Continuous State Estimation Algorithms in a Water Tank System”. W: *Recent advances in control and automation*. Red. K. Malinowski i L. Rutkowski. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2008. Rozd. 2, s. 63–72.

Referaty w materiałach konferencyjnych

- [1] J. Baranowski. "Projektowanie obserwatora dla serwomechanizmu prądu stałego". W: *Materiały VIII Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2006*. T. 2. 2006, s. 373–378.
- [2] J. Baranowski i W. Mitkowski. "Optimal discretization step for second order SISO systems". W: *Materiały XXIX Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 2006, s. 415–418.
- [3] J. Baranowski. "Approximate continuous state estimation in linear dynamical systems". W: *Materiały IX Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2007*. T. 1. Wisła, 20–23.10. 2007, s. 11–16.
- [4] J. Baranowski. "Approximate continuous state estimation in linear dynamical systems". W: *PPEEm'2007 : materiały XII sympozjum „Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i mechatroniki”*. T. 2. Wisła, wrz. 2007, s. 293–298.
- [5] J. Baranowski. "Continuous state estimation from discrete output measurements in a linear parabolic system". W: *Materiały IX Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2006*. Wisła, 20–23.10. 2007, s. 17–22.
- [6] J. Baranowski. "CSEDOM for water tank system". W: *PPEEm'2007 : materiały XII sympozjum „Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i mechatroniki”*. T. 2. Wisła, wrz. 2007, s. 299–304.
- [7] J. Baranowski, M. Ganobis i W. Mitkowski. "Observer design for variable moment of inertia system". W: *CMS'07 : Computer Methods and Systems, 21–23 November 2007, Kraków, Poland*. Kraków, 21–23.11 2007, s. 367–372.
- [8] J. Baranowski i A. Tutaj. "Continuous state estimation in water tank system". W: *CMS'07 : Computer Methods and Systems*. Kraków, 21–23.11 2007, s. 373–378.
- [9] W. Mitkowski i J. Baranowski. "Estimation of continuous state in linear dynamical systems from discrete output measurements". W: *Materiały XXX Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 23–26.05. 2007, s. 193–194.
- [10] W. Mitkowski i J. Baranowski. "Observer design for series DC motor – multi output approach". W: *Materiały XXX Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 23–26.05. 2007, s. 135–136.
- [11] J. Baranowski. "Adaptive Output Collocations". W: *Materiały X Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2008*. Wisła, 18–21.10. 2008, s. 519–524.
- [12] J. Baranowski. "Continuous moving horizon estimation in a hydraulic system". W: *Materiały X Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2008*. Wisła, 18–21.10. 2008, s. 525–530.

- [13] J. Baranowski i W. Mitkowski. “New output approximation method for continuous state estimation”. W: *Materiały XXXI Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Rozszerzona wersja na płycie CD. Ustroń, 28–31.05. 2008, s. 95–96.
- [14] J. Baranowski i P. Piątek. “Nonlinear Dynamical Feedback for Motion Control of Magnetic Levitation System”. W: *Proceedings of 13th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC*. Poznań, sty. 2008, s. 1469–1476.
- [15] J. Baranowski i A. Tutaj. “State and Parameter Estimation in a Hydraulic System — Moving Horizon Approach”. W: *Proceedings of 13th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC*. Poznań, sty. 2008, s. 1455–1462.
- [16] J. Baranowski. “Modele obwodowe do estymacji stopnia naładowania akumulatora samochodowego”. W: *Kierunki działalności i współpraca naukowa Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki*. 2009, s. 251–252.
- [17] J. Baranowski. “Optimal continuous estimation of diabetes population dynamics”. W: *Materiały XI Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2008*. Wisła, 17–20 October 2009, s. 146–151.
- [18] J. Baranowski. “Patient glycemie state estimation in Intensive Care Units”. W: *Materiały XI Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2008*. Wisła, 17–20 October 2009, s. 152–157.
- [19] J. Baranowski, M. Długosz i W. Mitkowski. “Nonlinear observer based control of DC servo”. W: *Materiały XXXII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 20–23.05 2009, s. 115–116.
- [20] J. Baranowski i M. Długosz. “Tuning of angular velocity observers”. W: *Materiały XIII sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, 14–17 grudnia 2009, s. 212–217.
- [21] J. Baranowski, M. Długosz, M. Ganobis, W. Mitkowski i P. Skruch. “Systemy Dynamiczne w Układach Elektrycznych”. W: *Kierunki działalności i współpraca naukowa Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki*. 2009, s. 45–46.
- [22] J. Baranowski, M. Długosz i W. Mitkowski. “Parametric optimization of nonlinear system controller”. W: *Materiały XIII sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, 14–17 grudnia 2009, s. 206–211.
- [23] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Optimal glucose level regulation for Intensive Care Unit patients: CSEDOM approach.” W: *Papers. 24th IFIP TC7 Conference on System Modelling and Optimization*. Herramientas Gerenciales. Palais Rouge, Buenos Aires, Argentina, lip. 2009, s. 46–47.

- [24] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Stabilisation of the second order system with a time delay controller”. W: *Papers. 24th IFIP TC7 Conference on System Modeling and Optimization*. Organized by: Herramientas Gerenciales. Palais Rouge, Buenos Aires, Argentina, lip. 2009, s. 48–49.
- [25] J. Baranowski, W. Mitkowski i P. Skruch. “Stability regions of time delay controller for LC ladder network”. W: *Materiały XXXII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 20–23.05 2009, s. 103–104.
- [26] J. Baranowski i P. Skruch. “State-of-charge estimation in a car battery – problems and possible solutions”. W: *Materiały XIII symposium Podstawowe Problemy Ergoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, 14–17 grudnia 2009, s. 101–106.
- [27] W. Bauer, P. Płuciennik, J. Baranowski i W. Mitkowski. “LQ based glucose stabilisation for Intensive Care Unit patients”. W: *CMS’09: Computer Methods And Systems*. Red. R. Tadeusiewicz, A. Ligęza, W. Mitkowski i M. Szymkat. Kraków, Poland, 26–27 November 2009, s. 307–312.
- [28] A. Nowak, A. Obrączka, J. Baranowski i W. Mitkowski. “Control of cancer immunotherapy: the LQ approach”. W: *CMS’09: Computer Methods And Systems*. Red. R. Tadeusiewicz, A. Ligęza, W. Mitkowski i M. Szymkat. Kraków, Poland, 26–27 November 2009, s. 313–318.
- [29] P. Skruch i J. Baranowski. “Determination of battery parameters during vehicle drive cycle”. W: *CMS’09: Computer Methods And Systems*. Red. R. Tadeusiewicz, A. Ligęza, W. Mitkowski i M. Szymkat. Kraków, Poland, 26–27 November 2009, s. 277–282.
- [30] P. Skruch i J. Baranowski. “Linear feedback control of a nonlinear RLC circuit”. W: *Materiały XXXII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 20–23.05 2009, s. 75–76.
- [31] P. Skruch i J. Baranowski. “Nonlinear feedback control of a nonlinear RLC circuit”. W: *Materiały XXXII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 20–23.05 2009, s. 77–78.
- [32] P. Skruch, J. Baranowski i W. Mitkowski. “Dynamic feedback stabilization of nonlinear RC ladder network”. W: *Materiały XIII symposium Podstawowe Problemy Ergoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki*. Wisła, 14–17 grudnia 2009, s. 136–141.
- [33] J. Baranowski i W. Mitkowski. “Stabilisation of LC ladder network: delayed output feedback”. W: *Materiały XXXIII Międzynarodowej konferencji z podstaw elektrotechniki i teorii obwodów IC-SPETO*. Ustroń, 26–29. 05. 2010, s. 49–50.

6 Działalność dydaktyczna

6.1 Kształcenie kadr

Prace inżynierskie:

1. Łukasz Żywiec - Implementacja regulatora PI niecałkowitego rzędu na sterowniku PLC z wykorzystaniem dyskretnej aproksymacji Oustaloupa w dziedzinie czasu
2. Kamelia Niemczyk - Zastosowanie układów niecałkowitego rzędu do przetwarzania sygnałów EEG
3. Jędrzej Chiliński - Analiza Bayesowska częstotliwościowych składowych sygnału EEG
4. Marcin Bylica - Projekt systemu ładowania i testowania baterii akumulatorowych
5. Waldemar Bauer i Paweł Płuciennik - Symulator glikemii pacjenta oddziału intensywnej opieki medycznej (OIOM)

Prace magisterskie:

1. Dariusz Mindur - Metoda rozszerzonego lagrangianu w zastosowaniach automatyki
2. Waldemar Bauer - Zastosowanie metod optymalizacyjnych typu trust-region do optymalizacji parametrycznej systemów dynamicznych
3. Filip Krajewski - Regulator typu sliding mode dla układu zbiorników wodnych
4. Jan Zawadzki - Adaptacyjne linearyzujące sprzężenie zwrotne dla układu zbiorników wodnych
5. Piotr Czerwiec - Optymalizacja parametryczna regulatorów dla systemu zbiorników wodnych

Prace doktorskie:

- Promotor pomocniczy w trwającym przewodzie doktorskim mgr inż. Rafała Prońko w dyscyplinie Informatyka - „Zastosowanie sieci neuronowych do optymalizacji polskiego systemu finansowania podstawowej opieki zdrowotnej”. Promotorem przewodu jest Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz.

6.2 Prowadzone przedmioty

Wykłady:

1. Metody numeryczne (Inżynieria Biomedyczna I stopień I rok, WEAIiB AGH, Automatyka i Robotyka I stopień II rok niestacjonarne, WEAIiB AGH)

Referaty w materiałach konferencyjnych

2. Modelowanie układów biologicznych (Inżynieria Biomedyczna III stopień III rok, WEAIiB AGH)
3. Statystyka i procesy stochastyczne (Automatyka i Robotyka I stopień II rok)

Laboratoria i ćwiczenia:

1. Systemy dynamiczne (Informatyka I stopień II rok, WEAIiB AGH)
2. Projektowanie układów automatyki przemysłowej (Automatyka i robotyka II stopień II rok, WEAIiB AGH)
3. Teoria sterowania (Automatyka i robotyka I stopień III rok i II stopień I rok, WEAIiB AGH)
4. Metody optymalizacji (Informatyka stosowana I stopień III rok, WEAIiB AGH)

6.3 Dodatkowa działalność dydaktyczna

- Współautorstwo skryptu „Teoria Sterowania. Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych”.
- Opracowanie materiałów do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu „Systemy dynamiczne”.
- Udział w Festiwalu Nauki 2013.
- Wielokrotny udział w dniach otwartych AGH i dniach otwartych wydziału.

7 Działalność organizacyjna

- Członek Rady Wydziału EAIiE w latach 2007-2010 (przedstawiciel doktorantów)
- Członek Rady Wydziału EAIiB na kadencję 2012-2016 (wybrany jako przedstawiciel nauczycieli akademickich niebędących samodzielnymi pracownikami naukowymi),
- Członek komisji ds. jakości kształcenia RW EAIiB (2012-2013)
- Pełnomocnik Dziekana ds. Jakości Kształcenia i przewodniczący Wydziałowego Zespołu ds. Jakości Kształcenia (od 2013)
- Członek Rady Wydziału EAIiB na kadencję 2016-2020 (wybrany jako przedstawiciel nauczycieli akademickich nie będących samodzielnymi pracownikami naukowymi),
- Członek Wydziałowego Kolegium Elektorów EAIiB na kadencję 2016-2020 (wybrany jako przedstawiciel nauczycieli akademickich nie będących samodzielnymi pracownikami naukowymi),

- Członek Uczelnianego Kolegium Elektorów AGH na kadencję 2016-2020 (wybrany jako przedstawiciel nauczycieli akademickich nie będących samodzielnyimi pracownikami naukowymi),
- Członek komitetu organizacyjnego konferencji CMS 2009
- Członek komitetu organizacyjnego konferencji z okazji jubileuszu 90-lecia AGH
- Sekretarz komitetu organizacyjnego konferencji RRNR 2013 – V Konferencja Naukowa Rachunek Różniczkowy Niecałkowitego Rzędu i Jego Zastosowania
- Członek komitetu programowego i współprzewodniczący sesji specjalnej dotyczącej układów niecałkowitego rzędu na konferencji 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)

Jana Banaś
(10.04.2017)