

Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych – profile działalności naukowo-badawczej

Krzysztof Oprzędkiewicz, Janusz Teneta, Mieczysław Zaczyk, Maciej Garbacz, Łukasz Więckowski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

Streszczenie: W pracy przedstawiono profile działalności naukowo-badawczej Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych, działającego w ramach Katedry Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W laboratorium prowadzone są badania z zakresu: modelowania, sterowania i optymalizacji systemów fotowoltaicznych, projektowania i implementacji systemów sterowania robotami, sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach. Prowadzone są także prace związane z praktyczną realizacją systemów sterowania z użyciem sterowników PLC oraz automatyzacją procesów przemysłowych.

Słowa kluczowe: systemy fotowoltaiczne, robotyka, systemy sterowania cyfrowego, automatyka przemysłowa, teoria sterowania

1. Uwagi wstępne

Nasze laboratorium było do 2006 r. kierowane przez dr. hab. inż. Romana Góreckiego, prof. AGH. W latach 2006–2009 pracą zespołu kierował śp. dr hab. inż. Jerzy Chojnacki, prof. AGH (zm. 07.08.2011 r.). Aktualnie zespół pracujący w Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych tworzą: dr hab. inż. Krzysztof Oprzędkiewicz (kie-

rownik od 2010 r.), dr inż. Janusz Teneta, dr inż. Mieczysław Zaczyk, mgr inż. Maciej Garbacz, mgr inż. Łukasz Więckowski, mgr inż. Witold Głowacz (od 01. 09. 2011 r.), mgr inż. Włodzimierz Woźniacki, inż. Marian Kozak oraz mgr inż. Tomasz Augustyniak (słuchacz Studiów Doktoranckich).

W Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych aktualnie są prowadzone prace i badania z następujących dziedzin:

1. Modelowanie, sterowanie i optymalizacja systemów fotowoltaicznych (Janusz Teneta, Łukasz Więckowski, Witold Głowacz),
2. Projektowanie i implementacja systemów sterowania robotami (Mieczysław Zaczyk, Maciej Garbacz),
3. Wyznaczanie maksymalnego błędu w liniowych systemach dynamicznych (Mieczysław Zaczyk),
4. Zagadnienia sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach (Krzysztof Oprzędkiewicz),
5. Systemy sterowania PLC i systemy SCADA – realizacja specjalnych algorytmów sterowania, implementacje w przemyśle (Krzysztof Oprzędkiewicz).

2. Modelowanie, sterowanie i optymalizacja systemów fotowoltaicznych

Od 1993 r. w laboratorium prowadzone są intensywne prace związane z projektowaniem, budową i eksploatacją systemów fotowoltaicznych. Praktycznie w każdym roku akademickim powstaje nowy podsystem, przez co ciągle powiększa się baza badawcza. Obecnie łączna moc nominalna wszystkich działających w laboratorium instalacji fotowoltaicznych wynosi około 6,5 kWp. Laboratorium dysponuje autonomicznymi systemami z bankami energii (off-grid), systemami współpracującymi z siecią energetyczną (on-grid), instalacjami stacjonarnymi i podążającymi za pozornym ruchem Słońca, konstrukcjami wolnostojącymi („ogródek słoneczny”, „drzewo słoneczne”) i zintegrowanymi z budynkiem (BAPV, fasada PV, instalacje dachowe). Oprócz badań, wymiernym skutkiem działalności laboratorium jest redukcja emisji CO₂ (o około 4 t rocznie), przez produkcję „czystej energii” elektrycznej. Dzięki monitoringowi instalacji prowadzonemu od 2006 r. zebrano bogatą bazę danych obrazujących realne możliwości energetyczne fotowoltaiki przy aplikacjach w warunkach wielkomiejskich Polski południowej.

Od 2005 r. na dachu budynku C3 działa (ciągle rozbudowywana) własna stacja rejestrująca parametry pogodowe

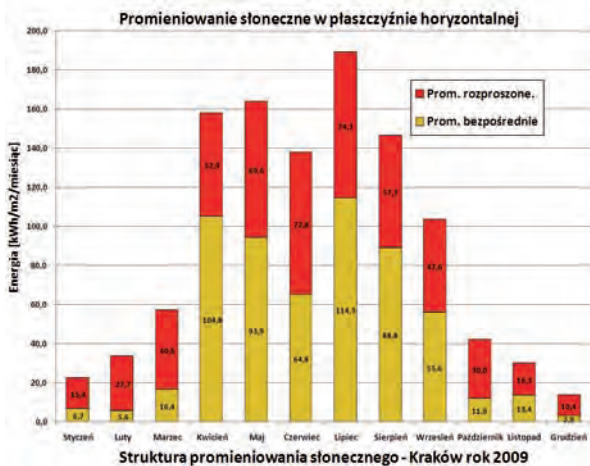


Rys. 1. Zespół Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych (od lewej): Ł. Więckowski, M. Zaczyk, W. Głowacz, M. Garbacz, W. Woźniacki, R. Górecki, K. Oprzędkiewicz, M. Kozak, J. Teneta

Fig. 1. The laboratory team



Rys. 2. Niektóre z badanych systemów fotowoltaicznych
Fig. 2. Some of tested PV systems



Rys. 3. Przykładowe zestawienie pomiarów struktury promieniowania słonecznego

Fig. 3. An exemplary set of measurements the solar radiation structure

niezbędne przy ocenie pracy systemów PV. Obecnie zestaw rejestrowanych parametrów obejmuje:

- całkowite promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie horyzontalnej,
- rozproszone promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie horyzontalnej,
- temperaturę powietrza,
- wilgotność powietrza,
- ciśnienie atmosferyczne,
- prędkość i porywy wiatru,
- kierunek wiatru.

W stacji pracują czujniki wysokiej klasy np. pyranometry Kipp&Zonen, dlatego zbierane dane są wykorzystywane również przez inne

jednostki badawcze, z którymi laboratorium współpracuje. W oparciu o odpowiednio przetworzone pomiary opracowano pliki wejściowe z danymi pogodowe dla Krakowa do najpopularniejszego europejskiego programu symulacyjnego z dziedziny fotowoltaiki – PV SYST.

Należy dodać, że wiele podsystemów badanych w laboratorium oprócz standardowego oczujnikowania energetycznego ma własne sensory nasłonecznienia i temperatury, co znacznie ułatwia i uściśla późniejszą analizę danych pomiarowych.

Z obserwacji porównawczych można wyciągać ciekawe wnioski co do zachowania modułów fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach (Si-m, Si-mc, a-Si, CIS), z których zbudowane są nasze systemy.

Wykorzystując posiadane cztery solarne systemy nadszające (w tym jeden modelowy, współpracujący z symulatorem ruchu Słońca), można testować różnego rodzaju algorytmy sterowania takimi systemami (algorytmy czujnikowe, zegarowe i hybrydowe).

Laboratorium wyposażone jest w unikatową aparaturę pomiarową, co pozwala na prowadzenie badań w szerokim zakresie tematycznym:

- stanowisko pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych modułów/instalacji PV,
- stanowisko pomiarów termograficznych,
- stanowisko ciągłego monitorowania temperatury modułów PV,
- stanowisko pomiarów spektralnych promieniowania słonecznego,
- stanowisko pomiaru struktury promieniowania słonecznego.

W ostatnich latach dużo uwagi poświęcamy projektowi mobilnego robota zasilanego modułem PV. Jest to przykład autonomicznego systemu wydzielonego, w którym należy przeprowadzić optymalizację pozyskiwania i zużycia zgromadzonej w akumulatorach energii. Ponieważ w tym przypadku nie można mówić o aplikacji mikromocowej, optymalizacji musi podlegać wszystko: od napędów, przez moduł PV, a na zarządzaniu włączaniem/wyłączaniem poszczególnych odbiorników kończąc. W celu prowadzenia badań doświadczalnych w laboratorium zbudowano w pełni funkcjonalny model robota mobilnego zasilanego energią słoneczną (rys. 5).

W każdym roku akademickim tajniki projektowania i eksploatacji systemów fotowoltaicznych poznaje ok. 100 studentów. Oprócz zajęć symulacyjnych mają oni możliwość zdobycia doświadczeń, m.in. uruchamiając rzeczywiste działające systemy.

	Produkcja energii				Nasłonecznienie w płaszcz. PV				Sprawność systemu				Perform. Ratio PR			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Styczeń	33.5	41.0	33.1	28.7	25.3	30.1	26.9	22.2	6.49	6.68	6.03	6.32	65.1	67.0	60.4	63.4
Luty	44.1	66.4	42.8	67.7	29.9	42.2	30.0	43.6	7.23	7.72	6.99	7.62	72.5	77.4	70.0	76.4
Marzec	134.9	134.7	80.2	130.3	82.1	84.8	52.2	82.3	8.05	7.78	7.53	7.76	80.7	78.0	75.5	77.8
Kwiecień	194.0	136.9	233.1	150.8	111.4	86.2	148.0	97.6	8.54	7.78	7.83	7.57	85.6	78.0	78.5	75.9
Maj	178.6	157.4	178.0	89.8	114.1	104.0	117.1	63.1	7.67	7.42	7.45	6.97	76.9	74.3	74.7	69.9
Czerwiec	165.4	160.6	134.5	143.3	110.0	108.9	92.2	97.9	7.37	7.23	7.16	7.18	73.8	72.5	71.7	71.9
Lipiec	186.6	159.1	196.6	155.0	124.6	108.5	132.3	106.3	7.34	7.18	7.23	7.14	73.6	72.0	72.5	71.6
Sierpień	164.0	181.4	191.5	187.1	108.7	121.4	129.3	105.6	7.40	7.33	7.26	7.29	74.1	73.4	72.8	73.1
Wrzesień	136.3	111.9	154.6	114.8	90.3	75.6	103.2	76.3	7.39	7.26	7.34	7.38	74.1	72.7	73.6	74.0
Pozdźmiernik	86.0	109.7	59.0	144.0	56.4	72.3	40.6	90.2	7.48	7.44	7.12	7.82	74.9	74.6	71.4	78.4
Listopad	34.8	45.8	65.3	53.1	26.1	33.3	44.4	37.3	6.52	6.74	7.21	6.97	65.3	67.6	72.3	69.9
Grudzień	23.9	29.4	12.2	20.0	21.7	25.8	14.8	20.4	5.40	5.58	4.01	4.80	54.2	55.9	40.2	48.1
Suma roczna	1381.8	1334.1	1380.9	1254.5	900.7	893.0	930.0	842.9	7.52	7.32	7.28	7.30	75.4	73.4	73.0	73.7
En. Yield	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]												
	719.7	694.8	719.2	653.4												

Rys. 4. Zestawienie parametrów pracy fasady fotowoltaicznej w latach 2007–2010

Fig. 4. A set of work parameters PV facade in years 2007–2010



Rys. 5. Robot mobilny zasilany modułem PV

Fig. 5. A mobile robot powered with the use of PV module

Zespół laboratorium prowadzi szeroką współpracę z innymi podmiotami badawczymi, zarówno w obrębie AGH, jak i na zewnątrz. Do najważniejszych naszych partnerów należą:

- SolarLAB – Politechnika Wroclawska,
- Laboratorium Fotowoltaiczne PAN w Kozach,
- Katedra Elektroniki, Wydział EAIiE AGH.

W latach 2007–2011 w laboratorium (wspólnie z Katedrą Elektroniki) był realizowany obszerny projekt współfinansowany przez MNiSzW oraz Norweski Mechanizm Finansowy: EEA GRANTS PL0081 „Fotowoltaika i sensory w proekologicznym rozwoju Małopolski”.

Aktualnie badania z zakresu sterowania i optymalizacji systemów fotowoltaicznych są przedmiotem projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (umowa nr 6693/B/T02/2011/40).

Wyniki wszystkich wymienionych prac badawczych są opisane w artykułach [1, 2, 4–12, 14–17].

3. Projektowanie i implementacja systemów sterowania robotami

Od wielu lat w laboratorium prowadzone są prace związane z projektowaniem, implementacją i testowaniem algorytmów sterowania robotami. Badania te obejmują dwa główne kierunki:

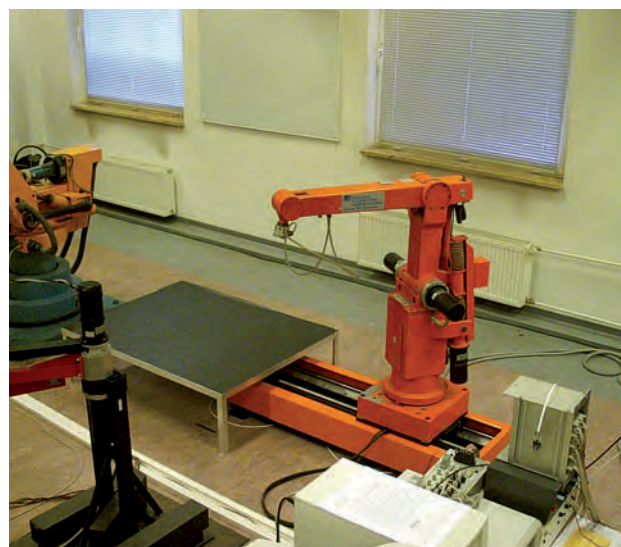
- algorytmy sterowania, pozycjonowania i generowania trajektorii dla robotów stacjonarnych,
- algorytmy ruchu oraz nawigacji w nieznanym otoczeniu dla robotów mobilnych.

W ramach pierwszego z tych kierunków prowadzone były prace związane z projektowaniem i testowaniem algorytmów sterowania dla robotów stacjonarnych (IRp-6, APR-20, Scara) z wykorzystaniem środowiska do szybkiego prototypowania bazującego na systemie dSPACE. Środowisko to pozwala na automatyczne generowanie kodu wykonywalnego (aplikacji sterującej) bezpośrednio ze schematu blokowego zrealizowanego w popularnym programie obliczeniowym MATLAB/Simulink. Dzięki temu proces projektowania, implementacji i testowania algorytmów sterowania realizowany jest w jed-

nym środowisku programistycznym. Przetestowane zostały algorytmy pozycjonowania (regulatory typu PID, regulatory rozmyte), algorytmy wykorzystujące system wizyjny do pozycjonowania oraz generowania i realizacji trajektorii w przestrzeni zadaniowej. Wyniki badań omówiono w [42–48].

Drugi kierunek badań związany jest z implementacją i testowaniem algorytmów ruchu i nawigacji dla robotów mobilnych w nieznanym otoczeniu. Prace te realizowane są dla dwukółowych holonomicznych robotów Khepera. Do rozpoznawania otoczenia wykorzystano czujniki zbliżeniowe podczerwieni oraz czujniki odległości. Opracowano też pakiet funkcji dla środowiska MATLAB/Simulink, pozwalających na projektowanie i testowanie algorytmów [22]. Przetestowano algorytmy lokalnej nawigacji: zmodyfikowane algorytmy Braitenberga, algorytmy regulowe, algorytmy rozmyte, algorytm wykorzystujący metodę sztucznych pól potencjałowych [23–27]. Zastosowanie dodatkowego modułu KoreBot dla tych robotów wraz ze środowiskiem KoreBot IDE pozwala na realizację w pełni autonomicznego działania [27].

Na wyposażeniu Laboratorium Robotów Mobilnych jest 5 robotów mobilnych kołowych typu Khepera II oraz Khepera III, a także robot mobilny kroczący typu Hexor. Przedmiotem badań jest m.in. funkcjonalność ruchowa robota mobilnego, rozumiana jako zdolność do realizacji dowolnej trajektorii w różnorodnym otoczeniu. Zależy ona od bardzo wielu czynników, m.in. od konstrukcji robota i sposobów



Rys. 6. Stanowisko z robotem IRp-6

Fig. 6. System with robot IRp-6

jego sterowania. Planowanie trajektorii robota mobilnego, a następnie realizacja tej trajektorii z pożądaną dokładnością wymaga przeanalizowania zarówno zagadnień związanych z rozpoznawaniem otoczenia robota, jak właściwym doбором odpowiednich metod sterowania z uwzględnieniem istniejących ograniczeń.

Można więc postawić pytanie, czy jest uzasadniona rozbudowa robota np. o dodatkowe czujniki położenia, co wiąże się ze zwiększaniem ciężaru robota oraz zwiększeniem zapotrzebowania na energię elektryczną z ograniczonego źródła zasilania (bateria akumulatorów). Czy też właściwsze jest poszukiwanie efektywniejszych algorytmów sterowania suboptymalnego lub optymalnego.



Rys. 7. Ilustracja działania robota Khepera III (algorytm Braitenberga)

Fig. 7. An illustration of work Khepera III robot (Braitenberg's algorithm)

Jednym z celów badań jest analiza konstrukcji robota mobilnego z punktu widzenia celowości powiększania liczby czujników położenia lub konstrukcji odpowiednich, energooszczędnych algorytmów sterowania z wykorzystaniem istniejących układów napędowych.

W trakcie badań nad robotami mobilnymi zrealizowano m.in. następujące aplikacje:

- Wykorzystanie informacji z czujników odległościowych do nawigacji robota (2006 r.);
- Umożliwienie programowania i nawigacji robota Khepera II za pośrednictwem pakietu MATLAB/Simulink (2008 r.);
- Zastosowanie algorytmów opartych o logikę rozmytą do nawigacji robota (2010 r.);
- Zastosowanie metody pól potencjałowych w nawigacji robota (2011 r.).

4. Wyznaczanie maksymalnego błędu w liniowych systemach dynamicznych

Zagadnienie wyznaczania maksymalnej odchyłki oraz czasu jej wystąpienia w liniowych systemach jest istotnym problemem w analizie układów regulacji. Problematyka ta jest od wielu lat przedmiotem badań mających na celu uzyskanie analitycznych zależności pozwalających wyznaczać czas wystąpienia ekstremum. Badania obejmowały analizę przeregulowań w liniowych układach regulacji drugiej klasy (zawierających dwie pary pierwiastków zespolonych) [41], optymalizację parametryczną przy wielomianowych wskaźnikach jakości [44]. Ostatnie prace przyczyniły się do uzyskania istotnych wyników analitycznych, a tym samym na

podanie dwóch analitycznych metod określania czasu wystąpienia ekstremów i ich wartości [28]. Metody te umożliwiają projektowanie układów sterowania dla zadanego czasu wystąpienia ekstremum i jego wartości.

5. Zagadnienia sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach

W Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych prowadzone są także badania z zakresu sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach. W szczególności badania te obejmują zagadnienia związane z klasą systemów dynamicznych, których niepewność jest opisana dwoma parametrami przedziałowymi. Dwuwymiarowa przestrzeń niepewnych parametrów implikuje prostą geometryczną interpretację wielu fundamentalnych parametrów tych systemów, co znacznie ułatwia ich analizę, zarówno w przypadku systemów skończenie wymiarowych, jak i nieskończenie wymiarowych.

Przykładowo, zbiór wartości własnych macierzy stanu (widmo) rozważanego systemu może być interpretowany jako zbiór powierzchni w przestrzeni \mathbf{R}^3 . Ta interpretacja widma ułatwia sformułowanie prostych warunków sterowalności i obserwowalności dla rozważanej klasy systemów.

Podjęcie geometryczne umożliwia też zdefiniowanie formalnych miar niepewności i odporności systemu sterowania na niepewność parametrów obiektu, co z kolei pozwala na syntezę odpornego systemu sterowania z regulatorem PID lub regulatorem specjalnym. Przykład syntezy układu regulacji z regulatorem PID dla rozważanej klasy systemów dynamicznych można znaleźć w pracy [36].

Podsumowanie i zebranie powyższej problematyki jest zaprezentowane w monografii Oprzędkiewicz [33], najnowsze wyniki z tego zakresu można też znaleźć w pracy [38].

Przedmiotem aktualnych prac z omawianego obszaru jest opracowanie algorytmów sterowania optymalnego zespołem orientowanych ogniw słonecznych. Tematyka ta jest przedmiotem projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki Nr 6693/B/T02/2011/40.

6. Systemy sterowania PLC i systemy SCADA – realizacja specjalnych algorytmów sterowania, implementacje w przemyśle

W Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych od wielu lat są prowadzone badania i prace związane z praktyczną realizacją cyfrowych systemów sterowania, ukierunkowane na dwa obszary:

- Problemy implementacji specjalnych algorytmów sterowania na platformach przemysłowych.
- Projektowanie, realizacja i wdrożenie systemów sterowania PLC i systemów SCADA w przemyśle.

W ramach badań pierwszego z kierunków opracowano metody implementacji specjalnych, bazujących na modelu obiektu, algorytmów sterowania na typowych platformach

PLC: SIEMENS i GE FANUC, a także na platformach programowych „soft PLC” na sprzęcie i oprogramowaniu firmy SIEMENS (oprogramowanie WinAC MP oraz panel wielofunkcyjny MP 370 Touch).

Opracowano także nowe metody programowego testowania spełnienia wymagań czasu rzeczywistego w systemach PLC, niewymagające ingerencji w sprzęt i firmware sterowników, i możliwe do stosowania przez użytkowników gotowych systemów.

Powższe zagadnienia były przedmiotem badań w ramach realizacji dwóch kierowanych przez Krzysztofa Oprędkiewicza projektów badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych: nr 7T11A 02221 realizowany w latach 2001–2002, oraz nr 3T11A 00730 realizowany w latach 2005–2007. Wyniki realizacji tych projektów są omówione w pracach [29–37].

Pod opieką Krzysztofa Oprędkiewicza zrealizowano kilkanaście aplikacji wdrożonych praktycznie w przemyśle, m.in.:

- System zdalnego monitorowania i nadzoru stacji redukcyjno-pomiarowych gazu ziemnego w województwie podkarpackim (2006 r.);
- System monitorowania i nadzoru systemu dostarczania węgla w elektrociepłowni Żerań (2006 r.);
- Układ sterowania PLC dla linii ciśnieniowego odlewania aluminium (2007 r.);
- System sterowania PLC dla młyna kołowego w zakładach ceramiki budowlanej w Niedomicach (2009 r.);
- Oprogramowanie do automatycznego generowania kodów programowych dla systemu PLC SIEMENS, sterującego układami kriogeniki w akceleratorze w CERN (2008 r.).
- System sterowania PLC dla nawijarki kablowej w zakładach Manex Sp. z o. o. (2009 r.);
- System sterowania PLC dla maszyny do cięcia odkuwek zaworów silnikowych w zakładzie branży motoryzacyjnej (2009 r.);
- Projekt i realizacja układu sterowania piecem wielokomorowym do suszenia wyrobów w zakładzie produkcyjnym wyrobów gumowych (2009 r.);
- System zdalnego monitorowania i nadzoru górniczego kombajnu ścianowego (2008 r.);
- System monitorowania i nadzoru wielkoseryjnej linii produkcyjnej opakowań blaszanych w firmie Can-Pack w Brzesku (praca dyplomowa wyróżniona II nagrodą w konkursie firmy ASTOR na najlepszą pracę dyplomową w 2010 r.);
- System zdalnej konfiguracji maszyn obróbczych w zakładzie produkcyjnym pokryć dachowych Blachotrapez w Rabce-Zaborni (2011 r.).

7. Uwagi końcowe

Podsumowując, w naszym laboratorium prowadzone są badania i prace z wielu dziedzin związanych z szeroko rozumianym sterowaniem systemami dynamicznymi. Prowadzone są prace o charakterze teoretycznym (sterowanie systemami przedziałowymi skończenie wymiarowymi i nieskończenie wymiarowymi, szacowanie maksymalnych błędów w systemach dynamicznych, zagadnienia sterowania robotami mobilnymi)

oraz prace o charakterze doświadczalnym i aplikacyjnym z zakresu fotowoltaiki, sterowania robotami przemysłowymi i aplikacji przemysłowych systemów sterowania cyfrowego.

Bibliografia

1. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Analysis of application opportunities of programmable controllers in photovoltaic automated control systems*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany 4–8 September 2006. Poortmans J. (et al.): *WIP-Renewable Energies* – Munchen: 2006, 2324–2327.
2. Chojnacki J.A., Teneta J., Gąsiorowski M.: *Automated system for analysing the charge/discharge characteristics of accumulators*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany 4–8 September 2006. Poortmans J. (et al.): *WIP-Renewable Energies* – Munchen: 2006, 2320–2323.
3. Chojnacki J.A., Teneta J.: *Circuit for automated analysis of charge/discharge characteristics of batteries*, XXX International Conference of IMAPS Poland Chapter 2006 : Kraków 24–27 September 2006: proceedings/eds. Zaraska W., Cichoński A., Szwiagierczak D.; Institute of Electron Technology. Cracow Division – Kraków: 2006, 395–398.
4. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Development of PV systems and research studies on photovoltaics at the AGH University of Science and Technology in Krakow*, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 3–7 September 2007, (eds.) Willeke G., Ossenbrink H., Helm P. — Munchen: *WIP-Renewable Energies*, cop. 2007, 3049–3052.
5. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Influence of the way of integration of the PV system with the facade of a building on the quantity of the produced electric power*, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 3–7 September 2007, (red.) Willeke G., Ossenbrink H., Helm P. — Munchen: *WIP-Renewable Energies*, cop. 2007 + CD-ROM. 3249–3252.
6. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *The BIPV Grid connected installation project, set-up and exploitation problems*, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 3–7 September 2007, (eds.) Willeke G., Ossenbrink H., Helm P. – Munchen: *WIP-Renewable Energies*, cop. 2007 + CD-ROM. 3245–3248.
7. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Fasadowa elektrownia fotowoltaiczna o mocy 2 kWp (BIPV facade): projektowanie budowa uruchomienie oraz pomiary*, „Energia ze źródeł odnawialnych w krajach Grupy Wyszehradzkiej”: 18–20 października 2007, Zakopane, 1–3.
8. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *System pomiaru parametrów środowiskowych na potrzeby monitorowania instalacji fotowoltaicznych*, „Pomiary, Automatyka, Kontrola”, 2007, vol. 53, nr 9bis, 338 – 341.
9. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Influence of the accuracy of positioning of the photovoltaic system on electrical parameters and on the quantity of produced electric power*, 23rd European photovoltaic solar energy conference, Valencia, Spain, 1–5 September 2008, 3558–3561.

10. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł. (2008b) *The thermographic research of the PV arrays*, 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference Valencia, Spain, 1–5 September 2008, 3384–3387.
11. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Potential of application of photovoltaic systems in urban environments example of the city of Krakow*, 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference Valencia, Spain, 1–5 September 2008, 3374–3377.
12. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Osiągnięcia i potencjał badawczy laboratorium systemów fotowoltaicznych w Katedrze Automatyki na Wydziale EAIIE AGH*, I Krajowa Konferencja Fotowoltaiki, Krynica Zdrój, 9–11 października 2009.
13. Projekt nr UDA-POKL.04.02.00-00-053/08-00 *Upowszechnianie osiągnięć polskiej oraz światowej fotowoltaiki w procesie kształcenia na poziomie wyższym*, 1–12.
14. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł., Kowalczyk A., Kulesza J.: *Solar powered, Linux brained autonomous mobile robot*, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21–25 September 2009, 3955–3962.
15. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł. Suhecki M.: *The embedded ARM 9-based data logger for photovoltaic system control and Monitoring*, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21–25 September 2009, 4057–4060.
16. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Two years' experience in monitoring of a small Grid-connected photovoltaic power station*, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21–25 September 2009, 4061–4064.
17. Chojnacki J.A., Teneta J., Więckowski Ł.: *Intelligent power management algorithms for solar-powered, autonomous mobile robot*, Renewable Energy 2010 Conference joint with 4th International Solar Energy Society Conference, Asia Pacific Region : 27 June–2 July, 2010, Yokohama, Japan, 1–4.
18. Garbac M.: *Algorytmy wyznaczania trajektorii dla robotów mobilnych*, Archiwum Konferencji Polskiego Towarzystwa Elektroniki Teoretycznej i Stosowanej. V Ogólnopolskie Warsztaty Doktoranckie: Istebna – Zaolzie, 18–21 października 2003, vol. 17, Warszawa: PTETiS, 2003, s. 57–62.
19. Garbac M., Zaczyk M.: *Wykorzystanie obrazu z kamery do pozycjonowania robota IRp-6*, „Automatyka”, półrocznik AGH w Krakowie; 2004, t. 8, z. 3, 139–150.
20. Garbac M.: *Laboratoryjny robot mobilny Khepera II*, „Automatyka” półrocznik AGH w Krakowie; 2005, t. 9, z. 3, 393–400.
21. Garbac M.: *Planowanie ścieżki dla robota mobilnego na podstawie informacji z czujników odległościowych*, „Automatyka” półrocznik AGH w Krakowie, 2006, t. 10, z. 3, 135–141.
22. Garbac M., Zaczyk M.: *Robot mobilny Khepera III – oprogramowanie dla środowiska MATLAB*, „Automatyka” półrocznik AGH w Krakowie; 2008, t. 12, z. 3, 759–767.
23. Garbac M., Zaczyk M.: *Algorytmy ruchu w nieznanym otoczeniu dla robota Khepera III*, „Automatyka”, półrocznik AGH w Krakowie; 2009, t. 13, z. 3, cz. 1, 1085–1094.
24. Garbac M., Zaczyk M.: *Mobile robot Khepera III – programming for MATLAB/Simulink environment*, Proceedings of the RiE 2010, Bratislava, Slovakia; 123–125.
25. Garbac M., Zaczyk M.: *Algorytmy rozmyte w nawigacji kołowego robota mobilnego*, „Automatyka” półrocznik AGH w Krakowie; 2010, t. 14, z. 3/1, 429–438.
26. Garbac M., Zaczyk M.: *Mobile robot Khepera III : programming for MATLAB/Simulink environment*, Proceedings of the 1st International Conference on Robotics in Education: Sept. 16–17, 2010 Bratislava, Slovakia, (eds.) Hubinsk'y P., Balogh R., 123–125.
27. Garbac M., Zaczyk M.: *Metoda pól potencjałowych w nawigacji kołowego robota mobilnego*, „Automatyka” AGH 2011 (w druku).
28. Górecki H., Zaczyk M.: *Extremal dynamic errors in linear dynamic systems*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, 2010, vol. 58, no. 1, 99–105.
29. Oprzędkiewicz K.: *Realizacja kompensatora dynamicznego na sterowniku PLC*, „Pomiary Automatyka, Robotyka”, nr 12/2000, 5–10.
30. Oprzędkiewicz K.: *Praktyczna realizacja predyktora Smitha na sterowniku PLC*, „Automatyka”, t. 5, z. 1/2, 2001, 457–464.
31. Oprzędkiewicz K.: *Dyskretny regulator redukcijny i jego praktyczna implementacja*, „Pomiary, Automatyka, Robotyka” nr 11/2001, 8–15.
32. Oprzędkiewicz K.: *Problemy realizacji cyfrowej predyktora Smitha w środowisku sterownika PLC*, „Automatyka” 2002, t. 6 z. 2, 139–150.
33. Oprzędkiewicz K.: *Praktyczne sterowanie systemami dynamicznymi z widmem punktowym i parametrami prędkościami*, Wyd. AGH, 2008.
34. Oprzędkiewicz K.: *Dyskretny system paraboliczny o niepewnych parametrach*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 9, 2008, 179–187.
35. Oprzędkiewicz K.: *Problemy implementacji specjalnych algorytmów regulacji ciągłej na platformach sprzętowo-programowych PLC*, Sterowanie i automatyzacja: aktualne problemy i ich rozwiązania (red.) Malinowski K., Rutkowski L., Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Komitet Automatyki i Robotyki PAN, Polskie Towarzystwo Sieci Neuronowych, cop. 2008 (Problemy Współczesnej Nauki. Sterowanie i Automatyzacja). Artykuł wyselekcjonowany do prezentacji podczas XVI Krajowej konferencji automatyki, 622–632.
36. Oprzędkiewicz K.: *Odporny regulator PID dla systemu dynamicznego o niepewnych parametrach*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 3, 2009, 22–27.
37. Oprzędkiewicz K.: *Programowe metody diagnostyki spełnienia wymagań czasu rzeczywistego w systemach PLC [w:]* (red.) Trybus L., Samolej S.: *Metody wytwarzania i zastosowania systemów czasu rzeczywistego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010, 163–172.
38. Oprzędkiewicz K.: *Sterowalność systemu liniowego stacjonarnego z niepewnością stanu i sterowania*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 3, 2011, 286–292.

39. Teneta J.: *Fotowoltaiczne systemy zasilania*, Zielone prądy w edukacji, 2 (red.) Śliwka M., Jakubiak M.: Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Oddz. Kraków, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, 2006, 9–19.
40. Teneta J., Maksymowicz L.J., Chojnacki J.A. (et al.): *PV powered distributed environmental monitoring system*, Renewable Energy 2010 Conference joint with 4th International Solar Energy Society Conference, Asia Pacific Region: 27 June–2 July, 2010, Yokohama, Japa, 1–4.
41. Zaczek M.: *Overshoots in 2-nd class of linear control systems*, „Archives of Control Sciences”, vol. 6(XLII), 1997, no. 3–4, 197–227.
42. Zaczek M.: *Porównanie dwóch środowisk do szybkiego prototypowania na przykładzie sterowania dla robota IRp-6*, Materiały Konferencyjne III Konf. MSK'2001, Kraków ONT 2001, 409–414.
43. Zaczek M.: *Układ sterowania robotów APR-20 oraz IRp-6 we wspólnej przestrzeni z wykorzystaniem kart systemu dSPACE*, Materiały Konferencyjne III Konf. MSK'2001, Kraków ONT 2001, 415–420.
44. Zaczek M.: *Optymalizacja parametryczna przy wielomianowych wskaźnikach jakości*, Materiały XIV KKA, 2002, 433–438.
45. Zaczek M.: *Wykorzystanie obrazu z kamery do analizy przestrzeni roboczej i pozycjonowania robota APR-20*, Materiały Konf. IV Konf. MSK'2003, Kraków ONT 2003, 517–522.
46. Zaczek M.: *Wykorzystanie obrazu z kamery w procesie śledzenia trajektorii przez robota IRp*; Materiały Konf. IV Konf. MSK'2003, Kraków ONT 2003, 443–448.
47. Zaczek M.: *Regulatory rozmyte w sterowaniu robota przemysłowego IRp-6*, XV Krajowa Konf. Automatyki KKA 2005, Warszawa IBS PAN 2005, 239–244.
48. Zaczek M.: *Prototypowanie sterowników dla robotów z wykorzystaniem systemu dSPACE*, „Napędy i Sterowanie”, r. 9, nr 6, 2007, 116–120. ■

Laboratory of Automatics, Robotics and PV systems – areas of research

Abstract: In the paper areas of research run in Laboratory of Automatics, Robotics and PV systems are presented. Our Laboratory is a part of Department of Automatics, which works in Faculty of Electrotechnics, Automatics, Informatics and Electronics at AGH University of Science and Technology. In our laboratory research from following areas are run: modeling, control and optimization of PV systems, projects and implementation of control systems for robots and control of uncertain-parameter dynamic systems. Research from area of practical implementation of PLC-based digital control systems and industrial automation are also run.

Keywords: PV systems, robotics, digital control systems, industrial automation, control theory

dr hab. inż. Krzysztof Oprzędkiewicz

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie z 1988 r. (Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki, kierunek studiów: Elektronika, specjalność Automatyka). Aktualnie zatrudniony w Katedrze Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH na stanowisku adiunkta oraz w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Tarnowie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Zainteresowania naukowe: problemy sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach, sterowanie cyfrowe, automatyka przemysłowa.

e-mail: kop@agh.edu.pl



dr inż. Mieczysław Zaczek

Absolwent Wydziału EAIe AGH. Obecnie zatrudniony w Katedrze Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH. Zainteresowania naukowe: wyznaczanie maksymalnego błędu w liniowych systemach dynamicznych, szybkie prototypowanie sterowników robotów, algorytmy nawigacji dla robotów mobilnych.

e-mail: mza@ia.agh.edu.pl



mgr inż. Maciej Garbacz

Absolwent Wydziału EAIe AGH kierunku Automatyka i Robotyka. Od 2005 r. pracuje w Katedrze Automatyki na stanowisku asystenta. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się wokół zagadnień programowania stacjonarnych robotów przemysłowych oraz zagadnień nawigacji robotów mobilnych.

e-mail: mgarbacz@agh.edu.pl



mgr inż. Łukasz Więckowski

Absolwent Wydziału EAIe AGH specjalność Automatyka i Robotyka. Od 2006 r. pracuje w Katedrze Automatyki na stanowisku asystenta. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się wokół zagadnień sterowania systemów fotowoltaicznych.

e-mail: wieckow@regent.uci.agh.edu.pl



dr inż. Janusz Teneta

absolwent AGH od 1995 zatrudniony w Katedrze Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie. Obecnie na stanowisku adiunkta. Zainteresowania badawcze: systemy fotowoltaiczne, monitoring wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, systemy automatyki i pomiarów przemysłowych.

e-mail: romus@agh.edu.pl

