

**Mirosław GAJER**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE, KATEDRA AUTOMATYKI  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## Analiza wpływu uczenia stałego na tempo przebiegu procesów ewolucyjnych

Dr inż. Mirosław GAJER

Jest absolwentem Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie. W 1996 roku uzyskał stopień magistra inżyniera w dyscyplinie Elektronika. W roku 2000 uzyskał stopień naukowy doktora w dyscyplinie Informatyka. Od roku 2001 jest zatrudniony w Katedrze Automatyki AGH na stanowisku adiunkta. Jego obszar zainteresowań badawczych koncentruje się głównie wokół systemów sztucznej inteligencji, obliczeń równoległych oraz zagadnień przetwarzania języka naturalnego.

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



### Streszczenie

W artykule rozważono wpływ procesu uczenia na tempo zachodzenia przemian ewolucyjnych. Zjawisko polegające na tym, że wprowadzenie do sytemu ewolucyjnego procesu uczenia może zarówno przyspieszać, jak i spowalniać ewolucję, jest od dawna znane w naukach przyrodniczych i określane jest mianem efektu Baldwina. Natomiast brak jest ogólnej teorii opisującej rozważane zjawiska w sposób ilościowy. W artykule przedstawiono teoretyczną analizę wpływu uczenia stałego na tempo ewolucji. Uzyskane wyniki zostały dodatkowo potwierdzone przeprowadzonymi przez autora symulacjami numerycznymi, z których wynika, że w systemach ewolucyjnych z dodatnią i monotoniczną funkcją celu wprowadzenie uczenia stałego zawsze powoduje spowolnienie ewolucji.

**Słowa kluczowe:** systemy ewolucyjne, proces uczenia, efekt Baldwina.

### Analysis of the impact of constant learning on the evolution rate

#### Abstract

The paper deals with the influence of learning on the evolution rate. It is a well-known fact that learning can under some circumstances accelerate or decelerate evolution, but there is no general theory that could explain these phenomena. The work [11] proposes a mathematical method with use of which one can determine whether the evolution will be accelerated or decelerated by learning for a monotonic and positive fitness function. This mathematical method is based on analysis of the fitness function logarithm second derivative. In the paper there is presented an experimental evolutionary system for which it was proved that the fitness function logarithm second derivative is negative. This fact causes that introduction of the constant learning to such a system must lead to deceleration of evolution. However, the mathematical method presented in [11] does not allow for any quantitative analysis of this phenomenon. Numerical experiments were conducted by the author of this paper in order to confirm the theoretical results obtained before. The simulation results of impact of learning on the evolution rate are shown in Figs. 1- 5. It can be noted that the deceleration of evolution, especially in the case of lower number of evolutionary algorithm generations, is relatively large. The impact of mutation intensity on the evolution rate was also examined. It was shown that increase in the mutation intensity accelerates the evolution significantly. The paper is organised as follows: Section 1 is the introduction, Section 2 presents the outline of the mathematical method based on gain function analysis, Section 3 discusses the results of numerical simulations, Section 4 gives the concluding remarks..

**Keywords:** evolutionary systems, learning process, Baldwin effect.

### 1. Wprowadzenie

Obecnie systemy ewolucyjne stanowią już dobrze zdefiniowaną i szeroką klasę systemów obliczeniowych, których zasady działania są inspirowane i wzorowane na przebiegu procesów związanych z biologiczną ewolucją gatunków organizmów żywych, opartą na mechanizmach dziedziczenia, przypadkowej zmienności

i selekcji informacji zapisanej w kodzie genetycznym, bazującym na sekwencji aminokwasów w łańcuchach cząsteczkowych DNA [1]. Do systemów ewolucyjnych zalicza się algorytmy genetyczne, algorytmy ewolucyjne oraz różnorodne techniki programowania ewolucyjnego [2]. W przypadku algorytmów genetycznych informacja jest kodowana zwykle w postaci ciągów binarnych, które poddawane są cyklicznie sekwencjom operacji genetycznych, takich jak krzyżowanie osobników, mutacja oraz ich selekcja [3]. Z kolei w przypadku algorytmów ewolucyjnych informacja jest najczęściej kodowana w postaci liczb rzeczywistych, a realizacja operacji genetycznych sprowadza się do cyklicznego mutowania osobników wchodzących w skład populacji i ich sukcesywnej selekcji [4]. Natomiast w przypadku technik programowania ewolucyjnego podejmowane są próby znalezienia optymalnego kodu programu realizującego określone zadania na drodze poszukiwań genetycznych sprowadzających się do wzajemnego krzyżowania, mutowania i selekcji populacji kodów programów. Co raz częściej spotykane są także rozwiązania hybrydowe, w przypadku których systemy ewolucyjne wspierane są dodatkowo także innymi procesami inspirowanymi biologicznie, a zwłaszcza procesami różnego rodzaju dodatkowego uczenia osobników tworzących ewoluującą populację [5].

Wpływ procesu uczenia na zachowanie się systemów ewolucyjnych był już w przeszłości tematem wielu badań i eksperymentów naukowych. Od dawna już wiadomo, że wprowadzenie procesu uczenia osobników może spowodować zarówno przyspieszenie, jak i spowolnienie tempa zachodzenia przemian ewolucyjnych. Zjawisko to nazywane jest od nazwiska swego odkrywcy efektem Baldwina [6]. Początkowo efekt Baldwina był obserwowany jedynie w przypadku eksperymentów prowadzonych w odniesieniu do systemów biologicznych [7]. Jednak obecnie efekt Baldwina można zaobserwować również w odniesieniu do sztucznych systemów ewolucyjnych [8, 9]. Pierwszym sztucznym systemem ewolucyjnym, w przypadku którego wprowadzenie uczenia osobników wywołało przyspieszenie ewolucji był system obliczeniowy Hintona i Nowlana [10]. W rozważanym przypadku zagadnienie optymalizacji sprowadzało się do odgadnięcia prawidłowej kombinacji kolejnych bitów ciągu kodowego w warunkach ekstremalnie płaskiej funkcji dopasowania z tylko jednym maksimum globalnym. W systemie Hintona i Nowlana uczenie polegało na wprowadzeniu do ciągów kodowych dodatkowego allelu oznaczonego symbolem '?', w przypadku którego prawidłowe wartości reprezentowanych przez niego bitów były następnie odgadywane podczas określonej liczby prób. Przeprowadzone eksperymenty numeryczne pokazały, że wprowadzenie uczenia wydatnie przyspiesza proces znalezienia prawidłowej sekwencji bitów w ciągu kodowym.

Jak dotychczas nie została jednak wypracowana solidna teoria, która byłaby w stanie opisać wpływ procesu uczenia na tempo ewolucji w kategoriach ilościowych. Co gorsze, w ogólnym przypadku nie jest znana metoda, która pozwalałaby nawet na jedynie jakościowe określenie, czy w danym przypadku wprowadzenie uczenia spowoduje przyspieszenie czy też spowolnienie ewolucji. Pewne rezultaty o charakterze jakościowym zostały uzyskane jedynie w przypadku monotonicznych i dodatnich funkcji celu. W pracy [11] została zaprezentowana teoria oparta na tzw. funkcji zysku (ang. *gain function*), która pozwala stwierdzić, czy w danym przypadku ewolucja będzie przyspieszana czy też spowalniana w wyniku uczenia. Niestety teoria ta nie pozwala na wyciągnięcie jakichkolwiek wniosków o charakterze ilościowym, dotyczących stopnia przyspieszenia bądź spowolnienia ewolucji.

## 2. Metoda analizy znaku pochodnej funkcji zysku

W pracy [11] funkcja zysku  $g(x)$  została zdefiniowana jako stosunek wartości funkcji dopasowania wyznaczonej w przypadku zastosowania uczenia  $f(l(x))$  do wartości funkcji dopasowania  $f(x)$  obliczonej dla przypadku braku uczenia. W związku z tym funkcja zysku wyraża się wzorem  $g(x)=f(l(x))/f(x)$ . Okazuje się, że z punktu widzenia analizy wpływu uczenia na tempo ewolucji istotny jest jedynie znak pierwszej pochodnej funkcji zysku  $g'(x)$ . Jeżeli pierwsza pochodna funkcji zysku jest dodatnia, czyli  $sign(g'(x))>0$ , wówczas ewolucja będzie przyspieszana na skutek wprowadzonego do systemu procesu uczenia osobników. Z kolei jeżeli pierwsza pochodna funkcji zysku jest ujemna, czyli  $sign(g'(x))<0$ , wówczas ewolucja będzie spowalniana jako rezultat procesu uczenia. Natomiast jeżeli pierwsza pochodna funkcji zysku jest równa zero, czyli  $sign(g'(x))=0$ , wówczas uczenie nie ma żadnego wpływu na tempo zachodzenia przemian ewolucyjnych.

Ponadto w pracy [11] rozpatrzono przypadek tzw. uczenia stałego (ang. *constant learning*), w przypadku którego wartość reprezentowana przez genotyp osobnika podlegającego procesowi uczenia jest każdorazowo powiększana o stałą wartość  $\delta>0$ . Dla przypadku uczenia stałego wykazano, że znak pierwszej pochodnej funkcji zysku jest zgodny ze znakiem drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania, czyli  $sign(g'(x))=sign(\ln(f(x)))'$ .

Zgodnie z teorią zaprezentowaną w pracy [11] w przypadku asymptotycznych funkcji dopasowania wprowadzenie do systemu uczenia stałego powinno prowadzić do spowolnienia tempa przebiegu ewolucji. Jednak opisana w pracy [11] metoda analizy znaku drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania nie pozwalała na wyciągnięcie żadnych wniosków odnośnie skali przewidywanego spowolnienia tempa ewolucji. W tym wypadku odpowiedź może dać tylko przeprowadzenie odpowiednich eksperymentów numerycznych.

## 3. Wyniki eksperymentów numerycznych

W celu realizacji eksperymentów numerycznych mających dać odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu wprowadzenie uczenia stałego w systemie z asymptotyczną funkcją dopasowania spowoduje spowolnienie ewolucji, przyjęto następujące założenia.

W badanym systemie ewoluująca populacja składa się ze 100 osobników, przy czym liczebność populacji jest stała i nie zmienia się z pokolenia na pokolenie. Populacja początkowa została zainicjalizowana w sposób losowy, tak aby początkowe wartości genotypów wszystkich osobników mieściły się w przedziale  $(-20, -10)$ . Ponadto przyjęto, że genotyp osobnika składa się wyłącznie z jednej liczby rzeczywistej  $x \in (-\infty, \infty)$ . Jako funkcję dopasowania dla rozważanego systemu ewolucyjnego obrano funkcję  $f(x)=\pi/2+\arctg(x)$ . Funkcja dopasowania  $f(x)$  jest funkcją monotoniczną rosnącą, która przyjmuje wartości dodatnie z przedziału  $(0, \pi)$ .

Podlegająca ewolucji populacja osobników poddawana jest operacji mutacji, której intensywność jest parametrem  $o$  z góry zadanej wartości. Wpływ intensywności mutacji na tempo zbieżności algorytmu ewolucyjnego jest także przedmiotem badań opisanych w niniejszym artykule. Realizacja operacji mutacji polegała na dodaniu do wartości genotypu osobnika losowej wartości z przedziału  $(-0,01, 0,01)$ . Ponadto podlegające ewolucji osobniki poddawane są operacji selekcji, która została zrealizowana w postaci selekcji turniejowej. Wymieniony rodzaj selekcji polega na tym, że osobniki łączone są losowo w pary, w ramach których porównywane są wartości ich funkcji dopasowania. W wyniku tego osobnik o większej wartości funkcji dopasowania zawsze przechodzi do kolejnego pokolenia.

W celu wykazania, że wprowadzenie do rozważanego systemu uczenia stałego osobników powinno prowadzić do spowolnienia ewolucji należy przeprowadzić analizę znaku drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania, czyli  $(\ln(\pi/2+\arctg(x)))'$ . Po przeprowadzeniu elementarnych rachunków można wykazać, że

rozważana druga pochodna logarytmu funkcji dopasowania dana jest następującym wzorem

$$\frac{-\left[2x\left(\frac{\pi}{2}+\arctg(x)\right)+1\right]}{\left[\left(1+x^2\right)\left(\frac{\pi}{2}+\arctg(x)\right)\right]^2}. \quad (1)$$

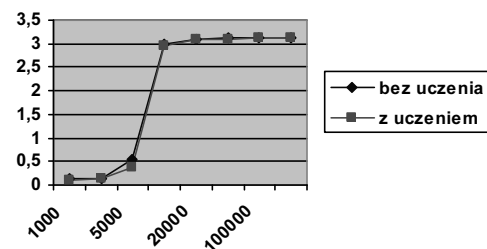
Mianownik drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania jest liczbą dodatnią dla każdego  $x \in \mathbb{R}$ , ponieważ jest kwadratem iloczynu dwóch czynników dodatnich. W związku z tym znak drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania zależy tylko i wyłącznie od znaku jej licznika. W szczególności druga pochodna logarytmu funkcji dopasowania jest ujemna, gdy spełniona jest następująca nierówność

$$1+2x\left(\frac{\pi}{2}+\arctg(x)\right)>0. \quad (2)$$

Ponieważ nierówność (2) jest spełniona dla każdego  $x>-0,42$ , wprowadzenie do rozważanego systemu ewolucyjnego uczenia stałego powinno prowadzić, zgodnie z teorią przedstawioną w pracy [11], do spowolnienia ewolucji.

W celu weryfikacji rezultatu uzyskanego podczas rozważań teoretycznych oraz dla potrzeb oceny stopnia spowolnienia ewolucji wskutek wprowadzenia procesu uczenia osobników przeprowadzono kilka serii eksperymentów numerycznych, podczas których badano także wpływ intensywności realizacji mutacji na zbieżność systemu ewolucyjnego zarówno w przypadku wprowadzenia dodatkowego uczenia osobników, jak i w przypadku braku procesu uczenia. Jako proces uczenia osobników wybrano uczenie stałe, polegające na tym, że wartość genotypu osobników podlegających uczeniu była przesuwana w stronę wartości optymalnej o stałą wartość  $\delta=0.25$ .

Pierwszą serię eksperymentów przeprowadzono dla takiej intensywności mutacji, że podlegało jej 5 osobników wchodzących w skład populacji. Uzyskane wartości funkcji dopasowania dla różnej liczby pokoleń zostały przedstawione w formie wykresu na rys. 1.



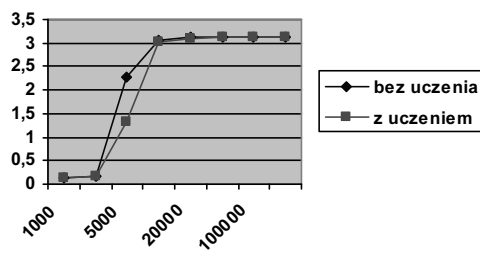
Rys. 1. Wykres wartości funkcji dopasowania w zależności od liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego dla przypadku mutacji 5 osobników

Fig. 1. Fitness function vs. the number of generations of the evolutionary algorithm for mutation of 5 individuals

Kolejną serię eksperymentów przeprowadzono dla takiej intensywności mutacji, że podlegało jej 10 osobników wchodzących w skład populacji. Uzyskane wartości funkcji dopasowania dla różnej liczby pokoleń zostały przedstawione w formie wykresu na rys. 2.

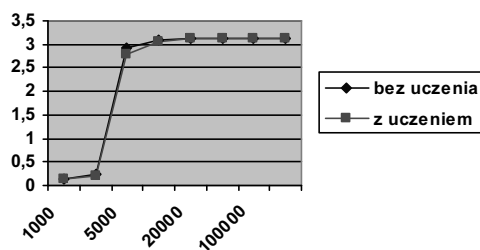
Trzecia z kolei seria eksperymentów została przeprowadzona dla takiej intensywności mutacji, że podlegało jej 20 osobników wchodzących w skład populacji. Uzyskane wartości funkcji dopasowania dla różnej liczby pokoleń zostały przedstawione w formie wykresu na rys. 3.

Następna seria eksperymentów została przeprowadzona dla takiej intensywności mutacji, że podlegało jej 50 osobników wchodzących w skład populacji. Uzyskane wartości funkcji dopasowania dla różnej liczby pokoleń zostały przedstawione w formie wykresu na rys. 4.



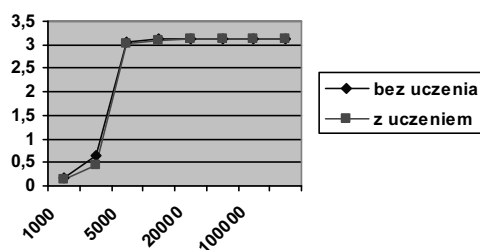
Rys. 2. Wykres wartości funkcji dopasowania w zależności od liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego dla przypadku mutacji 10 osobników

Fig. 2. Fitness function vs. the number of generations of the evolutionary algorithm for mutation of 10 individuals



Rys. 3. Wykres wartości funkcji dopasowania w zależności od liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego dla przypadku mutacji 20 osobników

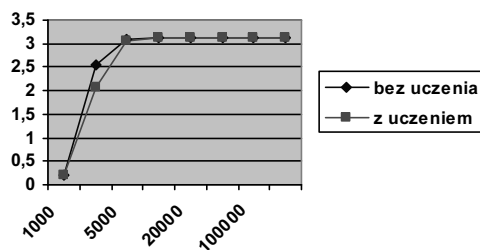
Fig. 3. Fitness function vs. the number of generations of the evolutionary algorithm for mutation of 20 individuals



Rys. 4. Wykres wartości funkcji dopasowania w zależności od liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego dla przypadku mutacji 50 osobników

Fig. 4. Fitness function vs. the number of generations of the evolutionary algorithm for mutation of 50 individuals

Ostatnia z serii eksperymentów została przeprowadzona dla takiej intensywności mutacji, że podlegało jej 100 osobników wchodzących w skład populacji. Uzyskane wartości funkcji dopasowania dla różnej liczby pokoleń zostały przedstawione w formie wykresu na rys. 5.



Rys. 5. Wykres wartości funkcji dopasowania w zależności od liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego dla przypadku mutacji 100 osobników

Fig. 5. Fitness function vs. the number of generations of the evolutionary algorithm for mutation of 100 individuals

## 4. Wnioski

Jak wynika z rezultatów przeprowadzonych eksperymentów numerycznych, których wyniki zostały zaprezentowane w formie wykresów zamieszczonych na rys. 1 – 5, w każdym przypadku wprowadzenie uczenia osobników powodowało widoczne spowolnienie tempa przebiegu procesów ewolucyjnych. Spowolnienie to było widoczne zwłaszcza dla niewielkiej liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego (poniżej 5000 pokoleń). Gdy liczba pokoleń algorytmu ewolucyjnego wzrastała, system z wprowadzonym uczeniem osobników dość szybko nadrobił wcześniejsze straty, podążając w kierunku poszukiwanej optymalnej wartości funkcji dopasowania. W praktyce już po upływie około 10000 pokoleń algorytmu ewolucyjnego różnice w uzyskiwanych średnich wartościach funkcji celu, liczonych dla całej populacji, stawały się na tyle niewielkie, że mimo iż wykres dla przypadku z wprowadzonym uczeniem osobników znajdował się cały czas pod wykresem uzyskanym dla przypadku bez uczenia, to fakt ten nie był już niestety widoczny na zamieszczonych rys. 1 – 5, ponieważ występujące pomiędzy wykresami różnice są bardzo małe (wartości funkcji dopasowania są mniejsze o kilka setnych).

Innym ważnym zjawiskiem, które można zaobserwować analizując wykresy zamieszczone na rys. 1 – 5, jest zależność zbieżności algorytmu ewolucyjnego od nasilenia mutacji. Ogólnie rzecz ujmując, w badanym systemie mutacje wywierają pozytywny wpływ na zbieżność algorytmu ewolucyjnego i im częściej występowania mutacji jest większa, tym tempo przebiegu ewolucji jest większe. Efekt ten jest szczególnie dobrze widoczny, gdy porówna się wykres zamieszczony na rys. 2 z wykresem zamieszczonym na rys. 3. W pierwszym z rozważanych przypadków mutacji podlegało jedynie 10 osobników wchodzących w skład populacji, natomiast w drugim liczba mutowanych osobników była dwukrotnie większa. Takie podwojenie częstości realizacji mutacji spowodowało, że cel ewolucyjny był osiągnięty prawie dwukrotnie szybciej, ponieważ począwszy już od 5000 pokoleń algorytmu ewolucyjnego obserwujemy efekt nasycenia uzyskiwanych wartości funkcji dopasowania (zarówno dla przypadku z uczeniem, jak i bez uczenia), które już tylko w bardzo niewielkim stopniu różnią się od pożądanej wartości optymalnej.

Uzyskane podczas symulacji komputerowych rezultaty bardzo dobrze potwierdzają przewidywania wynikające z uprzednio przeprowadzonych analiz teoretycznych opartych na badaniu znaku drugiej pochodnej logarytmu funkcji dopasowania. Jak zostało uprzednio pokazane, druga pochodna logarytmu funkcji dopasowania jest zawsze ujemna, z czego wynika, że wprowadzenie uczenia powinno powodować spowolnienie tempa przebiegu ewolucji. Przeprowadzone przez autora eksperymenty numeryczne nie tylko potwierdziły ten fakt, ale pokazały jeszcze, że rozważane spowolnienie tempa przebiegu ewolucji jest istotne, zwłaszcza w przypadku niewielkiej liczby pokoleń algorytmu ewolucyjnego.

Mimo że wyniki eksperymentów potwierdziły teorię, cała sprawa wymaga jeszcze kilku słów komentarza, ponieważ wcale nie jest sprawą oczywistą, dlaczego właściwie tak się dzieje, tzn. dlaczego wprowadzenie uczenia osobników powoduje spowolnienie tempa przebiegu ewolucji. W tym celu należy zwrócić uwagę, że osobniki wchodzące w skład populacji podlegają operacji selekcji turniejowej, polegającej na tym, że poszczególne osobniki są losowo łączone w pary i z każdej takiej pary do następnego pokolenia przechodzi jedynie osobnik posiadający większą wartość funkcji dopasowania. Z kolei proces uczenia polega na sztucznym podwyższeniu wartości funkcji dopasowania osobnika, jednak bez modyfikowania jego genotypu. Wskutek tego osobnik gorzej dopasowany, który w wyniku uczenia uzyskał wyższą wartość funkcji dopasowania może wygrać turniej z osobnikiem lepiej dopasowanym, który jednakże wcześniej nie był poddawany uczeniu. Tak więc na skutek uczenia może się tak zdarzyć, że osobniki o gorszej jakości genotypów będą wygrywały podczas selekcji turniejowej z osobnikami o lepszej jakości materiału genetycznego. Zjawisko to powoduje obniżenie presji selekcyjnej

działającej na populację, ponieważ gorzej dopasowane osobniki są wolniej eliminowane z puli populacyjnej, co skutkuje widocznym obniżeniem tempa przebiegu ewolucji.

## 5. Literatura

- [1] Goldberg D. E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
- [2] Arabas J.: Wykłady z algorytmów ewolucyjnych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
- [3] Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
- [4] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź 1997.
- [5] Gras R., Devaurs D., Wozniak A., Aspinall A.: An individual-based evolving predator-prey ecosystem simulation using a fuzzy cognitive map as the behavior model, *Artificial Life*, vol. 15, 2009, ss. 423 – 463.
- [6] Bull L.: On the Baldwin effect, *Artificial Life*, vol. 5, 1999, ss. 241 – 246.
- [7] Bullinaria J. A.: Lifetime learning as a factor in life history evolution, *Artificial Life*, vol. 15, 2009, ss. 389 – 409.
- [8] Stanley K. O., D'Ambrosio D. B., Gauci J.: A hypercube-based encoding for evolving large-scale neural networks, *Artificial Life*, vol. 15, 2009, ss. 185 – 212.
- [9] Ampatzis C., Tuci E., Trianni V., Christensen A. L., Dorigo M.: Evolving self-assembly in autonomous homogeneous robots: Experiments with two physical robots. *Artificial Life*, vol. 15, 2009, ss. 465 – 484.
- [10] Hinton G., Nowlan S.: How learning can guide evolution. *Complex systems*, vol. 1, 1987, ss. 495-502.
- [11] Paenke I., Kawecki T. J., Sendhoff B.: The influence of learning on evolution: A mathematical framework, *Artificial Life*, vol. 15, 2009, ss. 227 – 245.

otrzymano / received: 18.11.2009

przyjęto do druku / accepted: 12.04.2010

artykuł recenzowany

## INFORMACJE

c.d. ze str. 380

Eng. Eric Boeren przedstawił projekt badawczy, realizowany przez FUJI FILM COMPANY wspólnie z Katedrą Mechatroniki na Politechnice Śląskiej, dotyczący projektu i konstrukcji wyspecjalizowanego skanera krawędzi płyt offsetowych, zaś dr inż. Lech Długiewicz poprowadził niezwykle interesujący panel dyskusyjny, poświęcony projektom i grantom międzynarodowym (formy aplikacji, kryteria oceny i zasady kwalifikacji, korzyści naukowe i finansowe, trudności techniczne i formalne, nowatorskie i pionierskie pola badawcze itp.). Nową cechą - mocno zarysowaną podczas obecnej edycji - jest integracja międzypokoleniowa, wynikająca z licznego udziału dziekanów, profesorów i ekspertów oraz szerokiego grona młodych badaczy różnych środowisk akademickich w Polsce (a wśród nich - wielu uczestników odbywających się wcześniej Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD). Wiele uczelni reprezentowanych było przez kilkusobowe grupy badawcze, złożone z doświadczonego lidera oraz team'u młodych i pełnych zapału reprezentantów młodego pokolenia (m.in. z Politechniki Opolskiej, Politechniki Łódzkiej, AGH w Krakowie, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Śląskiej itd.). Organizatorów cieszyły częste i bardzo żywe dyskusje naukowe już poza salą obrad (w czasie przerw na kawę) pomiędzy znanymi profesorami oraz młodymi adeptami nauki.

Sympozjum odbyło się w grudniu, a więc w okresie przedświątecznym, stąd też ważnym wątkiem przewodnim programu kulturalnego, towarzyszącego Sympozjum, było nadchodzące Boże Narodzenie. W pogodny nastrój przedświąteczny wprowadziły uczestników konferencji dwie artystki: Małgorzata Komorowska (harfa) i Anna Zmarzły (flet), które zaprezentowały koncert, wypełniony w pierwszej części muzyką irlandzką i celtycką, a w drugiej - południowoamerykańską. Na bis zabrzmiały koledy. Następnego dnia „spotkanie opłatkowe” poprzedziła krótka prezentacja: „Boże Narodzenie w malarstwie wielkich mistrzów” (Krzysztof Kluszczyński), a uroczystą i podniosłą wigilię (w trakcie której dochowano tradycji wszystkim staropolskim obyczajom) poprowadził ks. dr prałat Stanisław Puchała. (proboszcz Archikatedry p.w. Chrystusa Króla w Katowicach). Zakończeniem programu kulturalnego był wykład mgr inż. arch. Marka Kluszczyńskiego, zatytułowany: „Dwa tysiące lat później - współczesna architektura Bliskiego Wschodu”. Z pełnym przekonaniem można podkreślić, że te dodatkowe kulturalne wieczory przeżywane wspólnie w podniosłych i przedświątecznych nastro-

jach, bardzo dobrze służyły budowaniu wspólnoty akademickiej i jej integracji, jak też - zacieśnianiu osobistych kontaktów, ważnych dla efektywnej i nacechowanej zaufaniem współpracy w środowisku akademickim.

Trwałym śladem dorobku naukowego XIII Sympozjum PPEm'09 są Materiały Konferencyjne, wydane w formie zwartej książki (ISBN 83-922242-6-4) oraz CD-ROM. Najciekawsze referaty, prezentowane przez młodych twórców, zostały nagrodzone przez Komitet Naukowy, pracujący pod egidą prof. dr hab. inż. Andrzeja Demeński z Politechniki Poznańskiej:

1. mgr inż. Marek Długosz - pt. „Metody sterowania w obwodzie elektrycznym Chuy”
2. mgr inż. Krzysztof Kulikowski - pt. „Sterowanie trójpoziomego przekształtnika AC/DC współpracującego z siecią metodą DPC-3A”
3. mgr inż. Roman Kroczek i mgr inż. Jarosław Domin - pt. „Wyrzutnia elektromagnetyczna o napędzie reluktancyjnym szynowym ze wspomaganie pneumatycznym, aspekt mechaniczny konstrukcji prototypu - materiały konstrukcyjne”
4. mgr inż. Marcin Piątek i dr inż. Paweł Piątek - pt. „Cyfrowa filtracja sygnału położenia kątownego w aplikacji robota szescionożnego”
5. dr inż. Piotr Pietrzak - pt. „Bezprzewodowy rozproszony system pomiarowy do modalnych badań struktur mechanicznych”

Wszystkie nagrodzone i wyróżnione referaty, jak i te, które wzbudziły największe zainteresowanie i odznaczały się wysokim poziomem naukowym, zostaną dodatkowo opublikowane w Zeszytach Naukowych Politechniki Śląskiej „Elektryka”.

Sympozjum jest organizowane przez Katedrę Mechatroniki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej (Komitetowi Organizacyjnemu przewodniczył mgr inż. Marcin Szczygieł), Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej PTETiS, oraz Centrum Edukacji w Mechatronice CEM na Politechnice Śląskiej. Ważne znaczenie dla pomyślnego rozwoju Sympozjum i zachowania wysokiego poziomu naukowego ma patronat Komitetu Elektrotechniki PAN, którego członkowie aktywnie uczestniczą w pracach Komitetu Naukowego, recenzując referaty i przewodnicząc wybranym sesjom.

Opracowanie: Prof. dr hab. inż. Krzysztof KLUSZCZYŃSKI