

Na prawach rękopisu

INSTYTUT INFORMATYKI AUTOMATYKI I ROBOTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii PRE nr 21/2006

**KOALA:
interaktywny robot kulisty
do wspomagania terapii
dzieci autystycznych**

Marek Wnuk

Słowa kluczowe: terapia autyzmu, robot społeczny, robot kulisty, sterownik, programowanie, logika rozmyta, mikrokontroler, czujnik, zachowanie.

Wrocław 2006

Spis treści

1	WPROWADZENIE	2
2	KONSTRUKCJA ROBOTA KOALA	2
2.1	Konstrukcja elektroniczna	4
2.2	Budowa mechaniczna	5
3	OBSŁUGA SENSORÓW	6
3.1	Próbkowanie i filtracja sygnałów	6
3.2	Sygnały pochodne	7
4	EFEKTORY ROBOTA	7
4.1	Światło barwne	7
4.2	Dźwięk	7
4.3	Synteza sygnałów wolnozmiennych	8
5	OPROGRAMOWANIE STEROWNIKA	8
5.1	Implementacja rozmytej maszyny wnioskującej	8
6	WYNIKI EKSPERYMENTÓW	9
7	PODSUMOWANIE	10

Interaktywny robot do wspomagania terapii autyzmu u dzieci młodszych posiada zdolność reagowania światłem i dźwiękiem na bodźce (dotyk, ruch, nacisk) pochodzące od dziecka. Terapeuta może zmieniać zachowanie robota (sposób reagowania na działania dziecka) przez wprowadzanie reguł w języku zbliżonym do naturalnego. Łatwość programowania osiągnięto dzięki zastosowaniu sterownika rozmytego, którego baza reguł może być przeprogramowywana. Zarówno forma robota, jak i charakter bodźców i reakcji zostały dostosowane do propozycji specjalistów z zakresu terapii autyzmu. Ważnymi założeniami przy konstruowaniu robota były: odporność mechaniczna, prosta konstrukcja i niska cena.

1 WPROWADZENIE

Interaktywne roboty społeczne są stosowane w celu wspomagania terapii dzieci ze spektrum autyzmu. Na uwagę zasługuje projekt AURORA (*AUtonomous RObotic platform as a Remedial tool for children with Autism*) prowadzony na University of Hertfordshire (W. Brytania) [17], [5]. Przykładem innego ośrodka może być Université de Sherbrooke (Quebec, Kanada), gdzie skonstruowano kilka robotów-zabawek (wśród nich robota kulistego) mających zastosowanie w terapii autyzmu [10].

Całościowa koncepcja prostego robota terapeutycznego o programowalnym zachowaniu została przedstawiona w [1], [8], [14], a pierwsza wersja jego konstrukcji w [2]. Kulisty robot interaktywny KOALA¹, skonstruowany zgodnie z tą koncepcją i w oparciu o wspomniane doświadczenia, jest przeznaczony do terapii autyzmu u dzieci młodszych.² Wstępne założenia robota powstały przy współdziałaniu terapeutów i specjalistów z Dolnośląskiej Szkoły Wyższej Edukacji (Instytut Pedagogiki Specjalnej), Uniwersytetu Wrocławskiego i Centrum Rehabilitacji i Neuropsychiatrii w Mikoszowie, w związku z prowadzonymi w tych ośrodkach badaniami [9].

Forma piłki zapewnia dziecku poczucie bezpieczeństwa dzięki skojarzeniu ze znaną i powszechnie akceptowaną zabawką oraz daje dużą odporność robota na akcje dziecka. Prostota konstrukcji pociąga za sobą niski koszt wytworzenia, co ma niebagatelne znaczenie w przypadku zastosowań terapeutycznych.

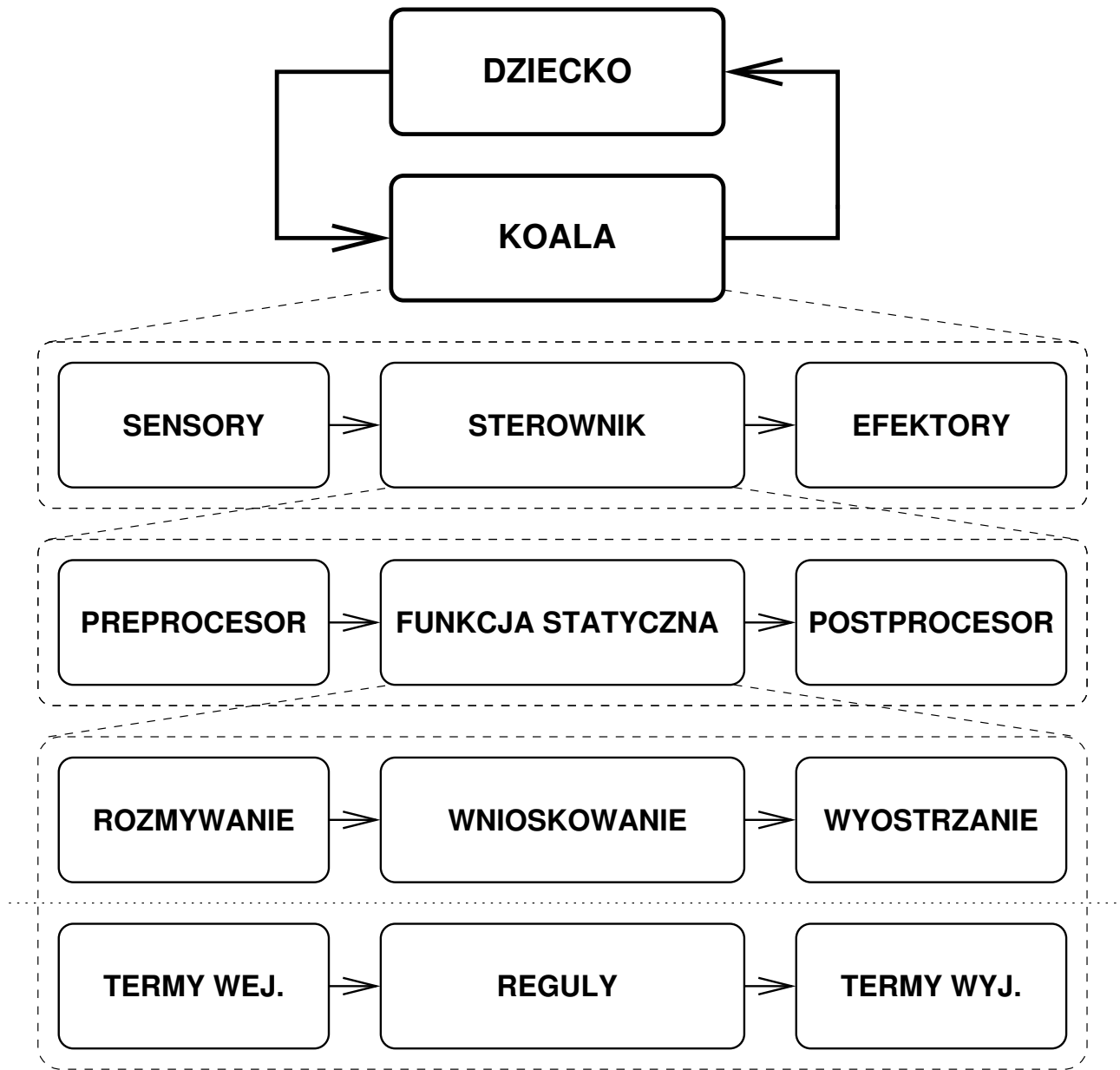
KOALA reaguje na dotyk, ruch i siłę rzutu przy pomocy światła o zmiennym odcieniu, nasyceniu i jasności oraz dźwięku o zmiennej wysokości i natężeniu. Ważną cechą skonstruowanego sterownika jest łatwość definiowania zachowania robota przez terapeutę. Wykorzystano koncepcję sterowania rozmytego, pozwalającą definiować algorytm sterowania przez podanie reguł sformułowanych w języku logiki rozmytej. Sygnały wejściowe i wyjściowe są opisywane przez zmienne lingwistyczne. Bazę wiedzy sterownika rozmytego definiują eksperci (w opisywanym przypadku – terapeuta), przez podanie reguł w formie podobnej do języka potocznego. Taka konstrukcja sterownika nie wymaga od terapeuty posiadania wiedzy na temat budowy robota i szczegółów jego działania.

2 KONSTRUKCJA ROBOTA KOALA

Z punktu widzenia robota, akcje dziecka są bodźcami wejściowymi, a reakcje robota mają na dziecko oddziaływać w sposób założony przez terapeutę. Ideę sterownika przedstawiono na rys. 1. Robot KOALA jest wyposażony w sensory (przyspieszenia, prędkości obrotowej, siły nacisku i powierzchni dotyku). Sygnały pomiarowe z czujników są przetwarzane przez sterownik na sygnały wyjściowe, które wysterowują efekторы (źródła światła barwnego i dźwięku). Sterownik ma postać Mamdaniego

¹ Kulisty Obiekt Autonomiczny do Leczenia Autyzmu

² Konstrukcja robota była częściowo finansowana z grantu statutowego.

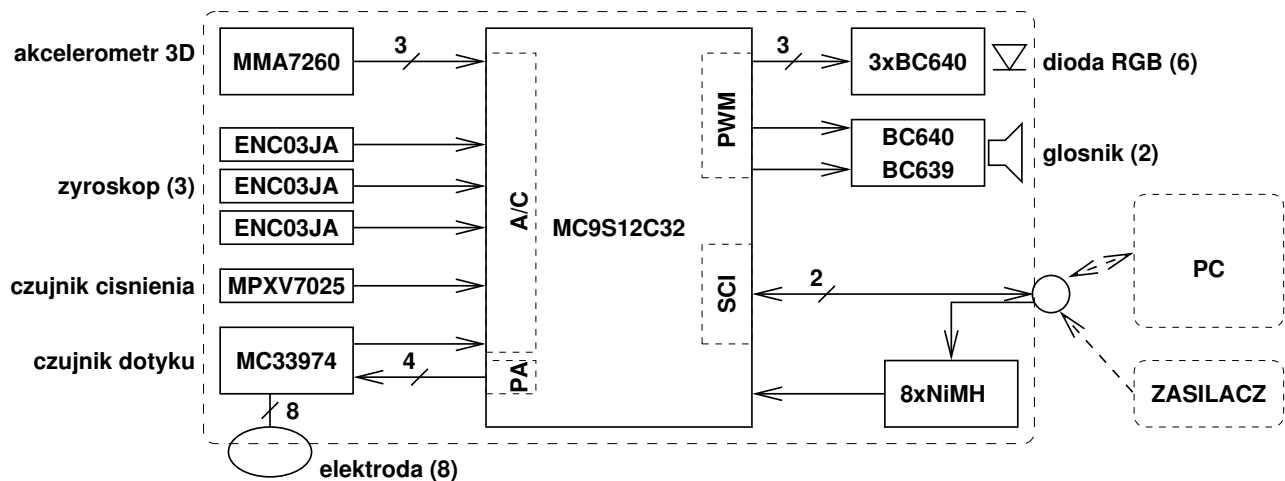


Rysunek 1: Struktura układu sterowania

[15] z dynamicznym preprocesorem, statyczną funkcją odwzorowującą wejścia w wyjścia i dynamicznym postprocesorem. Filtry wejściowe i wyjściowe zapewniają dynamiczne zachowanie sterownika o charakterze całującym (pamięć historii) i różniczkującym (wykrywanie zmian). Statyczna funkcja przejścia jest realizowana przez rozmytą maszynę wnioskującą (*Fuzzy Engine*) w trzech etapach (rozmywanie - *fuzzification*, wnioskowanie - *inference* i wyostrzenie - *defuzzification*). Baza wiedzy zawiera definicje termów wejściowych i wyjściowych oraz reguły wnioskowania w formie zdań **if-then**. Programowanie zachowania robota KOALA przez terapeutę polega na podaniu zbioru reguł wnioskowania wchodzących w skład bazy wiedzy. W szczególnych przypadkach można też zmieniać definicje funkcji przynależności dla poszczególnych termów wejściowych i wyjściowych.

2.1 Konstrukcja elektroniczna

Sterownik robota KOALA zbudowano w oparciu o mikrokontroler MC9S12C32. Poza innymi zaletami (odporność na zakłócenia, wstrząsy i zmiany temperatury), jego 16-bitowa jednostka centralna udostępnia instrukcje pozwalające na efektywne implementowanie wnioskowania rozmytego [3]. Dzięki bogatemu wyposażeniu mikrokontrolera w układy peryferyjne (8-kanalowy, 10-bitowy przetwornik A/C, 6 kanałów PWM, układ transmisji szeregowej SCI i inne) możliwe było znaczne uproszczenie układów elektronicznych robota. Schemat blokowy sterownika przedstawiono na rys. 2. Sensory są podłączone bezpośrednio do wejść przetwornika A/C. Trzy kanały wykorzystano do od-



Rysunek 2: Konstrukcja elektroniczna sterownika

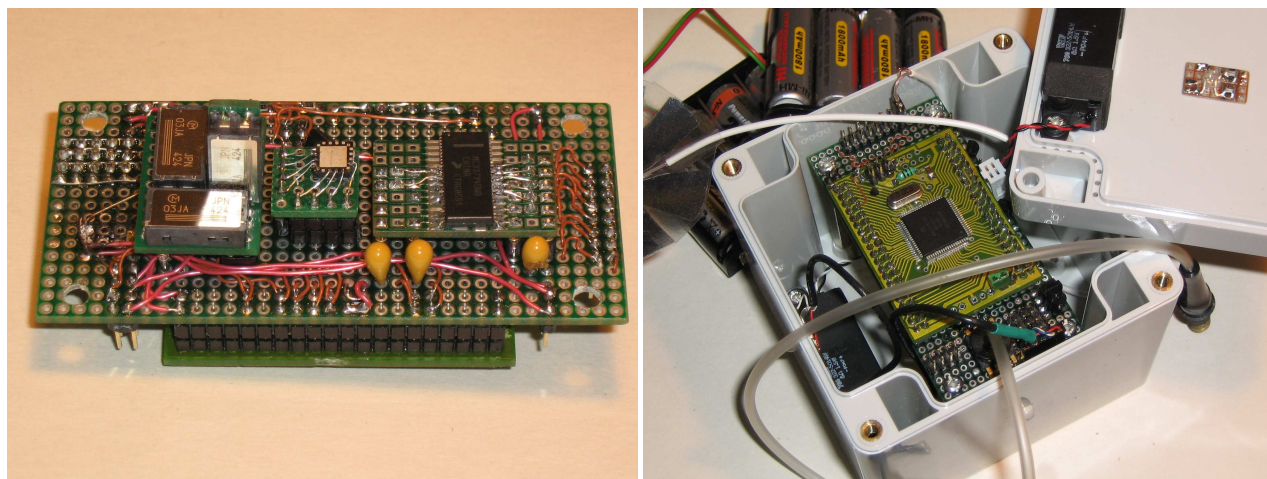
czytu przyspieszeń liniowych z trzyosiowego akcelerometru MMA7260Q [16] o zakresie pomiarowym $\pm 1.5g$ - $6g$. Dalsze trzy kanały służą do odczytywania prędkości kątowych względem trzech wzajemnie prostopadłych osi. Sygnały te pochodzą z żyroskopów piezoelektrycznych ENC03JA [18]. Siłę nacisku na powierzchnię robota można oceniać na podstawie pomiaru ciśnienia w pneumatycznej powłoce robota (czujnik ciśnienia MPXV7025G [7] przyłączony do siódmego kanału przetwornika A/C). Ostatni kanał przetwornika służy do pomiaru powierzchni dotykanej przez dziecko. Wykorzystano układ MC33794 [4], pozwalający mierzyć upływność generowanego sygnału sinusoidalnego (120kHz) spowodowaną przez pasożytniczą pojemność powstającą przy zbliżaniu ręki do elektrody. Układ obsługuje osiem elektrod rozmieszczonych równomiernie pod wierzchnią warstwą powłoki robota. Elektrody są przełączane sygnałami z portu równoległego PA mikrokontrolera.

Świejące elementy wykonawcze stanowi 6 trójkolorowych diod LED o dużej wydajności. Są one sterowane za pośrednictwem kluczy tranzystorowych przez 3 kanały bloku PWM. Średnie natężenie składowych RGB jest zadawane przez odpowiednie wypełnienie przebiegów prostokątnych generowanych w tych kanałach. Dźwięk jest wytwarzany w czwartym kanale PWM jako fala prostokątna o wypełnieniu 50% i programowalnym okresie. Zakres częstotliwości przekracza 3 oktawy. Natężenie dźwięku jest regulowane przy pomocy piątego kanału PWM, który pracuje z częstotliwością ponadakustyczną i zmiennym wypełnieniem. Oba te kanały, za pośrednictwem kluczy tranzystorowych,ysterowują dwa głośniki dynamiczne 8Ω/1.5W.

Komunikacja z komputerem nadrzędnym, wykorzystywana przy przeprogramowywaniu zachowania robota lub badaniu jego charakterystyk, jest zapewniona przez blok SCI. Szeregowa transmisja asynchroniczna (115 kB) pozwala wykorzystać dostępne oprogramowanie [12], [19] do komunikacji z mikrokontrolerem w celu zaprogramowania pamięci FLASH. Przez złącze służące do transmisji można również ładować akumulatory NiMH, które zapewniają zasilanie robota.

2.2 Budowa mechaniczna

Elektroniczne układy robota są zmontowane na płytkach drukowanych i wmontowane do sześcienniej obudowy o boku 100mm (rys. 3). W prototypie zastosowano moduł mikrokontrolera opracowany



Rysunek 3: Widok sterownika i obudowy

do celów laboratoryjnych [13]. Akcelerometr i trzy żyroskopy zamontowano na dwóch oddzielnych płytkach jako moduły. Podobnie zmontowano układ czujnika dotyku (MC33794Q). Wszystkie te moduły połączono w całość na uniwersalnej płytce drukowanej o rozmiarach 90mm x 45mm.³ Płytkę tę jest zamocowana w sześcianie tak, by akcelerometr znalazł się w jego środku.

Na środku ścian obudowy są zamocowane trójkolorowe diody LED. Z wierzchołków sześcianu są wyprowadzone ekranowane przewody zasilające elektrody czujnika dotyku. Elastyczne elektrody są wykonane z folii metalowej laminowanej obustronnie taśmą samoprzylepną. Przewód do komunikacji i ładowania akumulatorów (zakończony złączem PS2) jest wyprowadzony na środku jednej z krawędzi sześcianu wraz z zaworem pneumatycznym służącym do pompowania powłoki.

³Takie rozwiązanie było podyktowane prototypowym charakterem konstrukcji. Zastosowanie specjalnie zaprojektowanej płytki drukowanej pozwoli zmniejszyć gabaryty sterownika o połowę.

Zewnętrzna warstwa powłoki stanowi sferę o średnicy ok. 200mm wykonaną z dwóch płatów przezrystej, elastycznej tkaniny (o kształcie inspirowanym konstrukcją piłek tenisowych)⁴. Przestrzeń pomiędzy sześcianiem a sferą jest wypełniona dwoma dętkami wykonanymi z podłużnych balonów lateksowych. Są one połączone elastycznymi rurkami z wentylem i czujnikiem ciśnienia zamontowanym na głównej płycie sterownika.

3 OBSŁUGA SENSORÓW

Przetwarzanie sygnałów z sensorów odbywa się w bloku preprocesora. W każdym cyklu pracy sterownika, na podstawie chwilowych wartości składowych wektora przyspieszenia mierzonych akcelerometrem trzyosiowym, jest wyliczany wypadkowy sygnał reprezentujący przyspieszenie, jakiemu robot jest poddawany przez dziecko. Ponieważ zastosowane akcelerometry mierzą również stałą składową przyspieszenia ziemskiego g , wynikowy sygnał jest poddawany kompensacji tak, by robot pozostający w bezruchu odbierał zerową wartość tego bodźca:

$$a = \left| \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g \right| \quad (1)$$

Podobnie, na podstawie prędkości obrotowych mierzonych trzema żyroskopami, jest wyliczany wypadkowy sygnał prędkości obrotowej:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} \quad (2)$$

O nacisku wywieranym na powłokę robota świadczy sygnał ciśnienia p_i mierzonego w dętkach. Ze względu na możliwość występowania powolnego spadku ciśnienia na skutek minimalnych nieuszczelności, zastosowano kroczącą autokalibrację pomiaru do najmniejszego zanotowanego ciśnienia p_0 :

$$p = p_i - p_0 \text{ gdzie } p_0 = \min\{p_i\} \quad (3)$$

3.1 Próbkowanie i filtracja sygnałów

Wszystkie sygnały z czujników mają widmo ograniczone do nie więcej niż 250Hz. Próbkowanie sygnałów pomiarowych a, ω, p odbywa się w obsłudze przzerwiania cyklicznego o okresie $\tau_p=1\text{ms}$, co zapewnia ich prawidłową dyskretyzację. Z drugiej strony, ze względu na niewielką szybkość zmian otoczenia, przyjęto jako długość cyklu pracy sterownika $\tau_c=10\text{ms}$. Wykorzystując nadmiar danych pomiarowych w stosunku do potrzeb, zastosowano mieszaną filtrację pozycyjno-liniową. Łączy ona zalety filtracji liniowej (uśrednianie, zwiększanie rozdzielczości) oraz pozycyjnej (skuteczne tłumienie zakłóceń impulsowych - ang. *shot noise*). W sterowniku przyjęto, jako graniczne, kwantyle rzędu 0.1 i 0.9, co daje prosty algorytm filtracji:

$$x = \frac{1}{8} \left(\sum_{i=0}^9 x_i - \max\{x_i\} - \min\{x_i\} \right) \quad (4)$$

Sygnał dotyku s nie jest filtrowany. Pomiaru chwilowe z 8 elektrod są sumowane w celu uzyskania informacji o łącznej powierzchni dotyku w danym cyklu.

⁴W rozwiązaniu docelowym należy zapewnić wykonanie odpowiedniej powłoki z elastycznego tworzywa sztucznego.

3.2 Sygnały pochodne

Do określania reguł zachowania robota przydatna jest znajomość nie tylko chwilowych wartości sygnałów, ale również ich historii i tendencji zmian. W tym celu dla wszystkich sygnałów (a, ω, p, s) w każdym cyklu sterowania wyliczane są dwa sygnały pochodne:

$$ix_n = (1 - \varepsilon)ix_{n-1} + \varepsilon x_n, \quad (5)$$

oraz:

$$dx_n = x_n - ix_n. \quad (6)$$

Pierwszy z nich reprezentuje odpowiedź członu inercyjnego o stałej czasowej:

$$T = -\frac{\tau_c}{\ln(1 - \varepsilon)}, \quad (7)$$

zaś drugi przedstawia trend zmiany.

4 EFEKTORY ROBOTA

Robot może oddziaływać na dziecko przy pomocy dwóch podstawowych bodźców (światło i dźwięk)⁵. Oba zaimplementowane efektory (trójkolorowe diody LED i głośniki) pozwalają na sterowanie kilkoma parametrami emitowanych sygnałów. Wprowadzona w postprocesorze dynamiczna korekcja sygnałów wyjściowych dodatkowo zwiększa możliwości ekspresji robota.

4.1 Światło barwne

Światło jest emitowane przez diody sterowane w przestrzeni barw RGB (co wynika z konstrukcji LED). Taki system parametryzacji nie jest wygodny dla terapeuty. W robocie zastosowano jeden ze znanych sposobów parametryzacji koloru, zaproponowany w [11]. System HSV (odcień - *Hue*, nasycenie - *Saturation* i jasność - *Value*) pozwala w intuicyjny sposób zadać parametry światła. Dodatkową jego zaletą jest przedziałowa linearyzacja zależności składowych RGB od odcienia, co pozwala na efektywną implementację konwersji HSV \rightarrow RGB. Odcienie dla danej jasności są definiowane jako kierunki wewnątrz sześciokąta rozpiętego przez barwy podstawowe i dopełniające (Red-Yellow-Green-Cyan-Blue-Magenta). Barwie czerwonej odpowiada kierunek 0° , żółtej 60° itd. Nasycenie jest reprezentowane przez odległość punktu od środka sześciokąta (któremu odpowiada światło białe).

4.2 Dźwięk

Dźwięk jest określony przez dwie wartości chwilowe (wysokość - *Ton* i głośność - *Vol*). Wysokość jest związana z okresem generowanej fali prostokątnej o wypełnieniu 50%. W robocie KOALA przyjęto parametryzację tonu w zakresie 0-255 dającą przybliżenie skali logarytmicznej w zakresie ponad 3 oktaw (od 300Hz do 3326Hz). Głośność jest sterowana liniowo przez zmianę wypełnienia przebiegu kluczującego głośniki z częstotliwością około 47kHz.

⁵Ze względu na założenia odnośnie odporności i niskiej ceny robota, świadomie zrezygnowano z wyposażenia go w możliwości ruchowe.

4.3 Synteza sygnałów wolnozmiennych

Wszystkie parametry reakcji robota są poddawane korekcji dynamicznej (całkowaniu). W rezultacie, wynikowa wartość sygnału y zależy od dwóch zmiennych wyjściowych: wartości bieżącej i przyrostu dy . Wyliczona przez blok wnioskowania wartość zmiennej wyjściowej jest w postprocesorze zwiększana o wyliczoną wartość przyrostu: $y += dy$. W przypadku, gdy w czasie wnioskowania nie została uruchomiona żadna reguła definiująca w swym następniku y , wartość zmiennej jest modyfikowana tylko przez postprocesor. Pozwala to na definiowanie w bazie reguł wolnozmiennych sygnałów dźwiękowych i świetlnych (“zanikanie”, mienienie się tęczo” itp.).

5 OPROGRAMOWANIE STEROWNIKA

Na oprogramowanie sterownika składają się procedury inicjalizacji sprzętu (portu równoległego, przetwornika A/C, bloku PWM i przzerwania cyklicznego), procedura obsługi przzerwania cyklicznego i pętla główna programu. W procedurze obsługi przzerwania cyklicznego następuje próbkowanie sygnałów wejściowych z czujników (8 kanałów A/C) co 1ms i filtrowanie pomiarów oraz inicjacja cyklu sterownika (ustawienie flagi) co 10ms. Wykonywanie właściwego kroku sterowania może być przerywane przez kolejne takty próbkowania, co nie zakłóca żadnego z tych procesów. W kroku sterowania wykonuje się kolejno:

- wywołanie preprocesora wyliczającego wartości 12 zmiennych wejściowych (4 podstawowe, 4 inercyjne i 4 przyrostowe);
- wywołanie rozmytej maszyny wnioskującej, która wylicza nowe wartości dla 10 zmiennych wyjściowych (5 wartości bieżących i 5 przyrostów);
- wywołanie postprocesora przetwarzającego zmienne wyjściowe na sygnały sterujące bezpośrednio efektorami (5 kanałów PWM).

5.1 Implementacja rozmytej maszyny wnioskującej

Rozmyta maszyna wnioskująca (*Fuzzy Engine*) jest procedurą napisaną w asemblerze CPU12 [3], [2], co zapewnia właściwe wykorzystanie rozkazów: MEM, REV i WAV, realizujących odpowiednio: wyliczanie trapezoidalnej funkcji przynależności dla termów wejściowych, wnioskowanie na podstawie ciągu reguł i obliczanie ważonej średniej dla termów wyjściowych. Korzysta ona z bazy wiedzy, zapisanej jako struktura zawierająca: deskryptory trapezów dla wejść, reguły wnioskowania w normalnej postaci dysjunktywnej oraz deskryptory singletonów dla wyjść.

Konstruowanie bazy wiedzy zostało znacznie uproszczone dzięki opracowaniu programu *fcl2kb12* konwertującego definicję sterownika rozmytego napisaną w FCL (*Fuzzy Control Language*) [6] do postaci wymaganej przez CPU12. Język FCL stanowi standard w programowaniu sterowników rozmytych, dzięki czemu oprogramowanie robota KOALA jest zgodne z obowiązującymi normami.⁶ Wygenerowana baza wiedzy ma postać modułu w języku C. Należy ją skompilować i sprowadzić do postaci binarnej (w przykładzie użyto narzędzi GNU dla HC11/12). Dla przykładowej bazy wiedzy *kb.fcl* kompletny ciąg poleceń ma postać:

```
fcl2kb12 kb.fcl kb.c
m6811-elf-gcc -mshort -c kb.c
m6811-elf-objcopy -O srec --change-addresses 0x8000 kb.o kb.s19
```

⁶Z dokładnością do ograniczeń narzucanych przez CPU12 na postać termów i reguł.

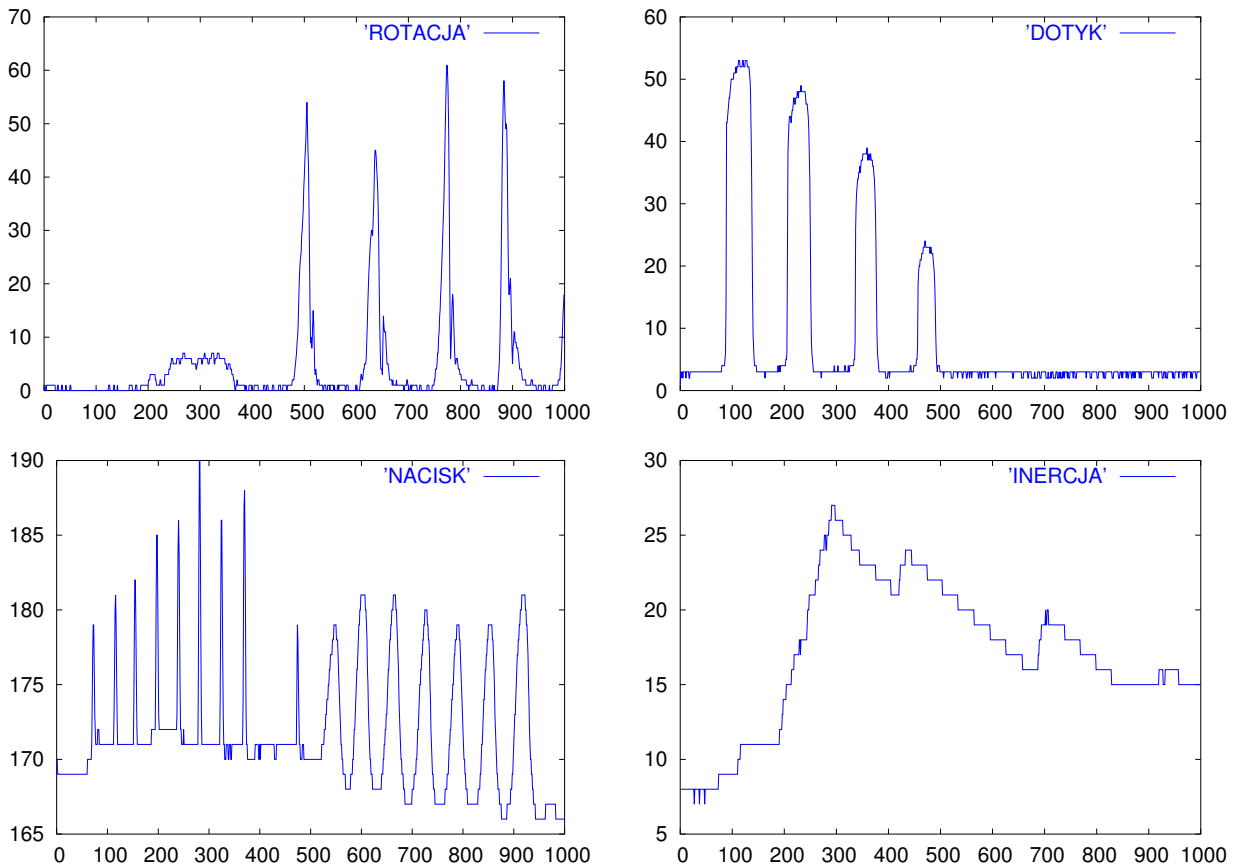
Do wpisania bazy do pamięci FLASH mikrokontrolera MC9S12C32 można użyć polecenia:

```
hc12mem -i sm -t mc9s12c32 -o 8MHz -p ttyS0 -Z -E -H kb.s19
```

W powyższej wersji program *hc12mem* [19] współpracuje przez port szeregowy z monitorem [12] rezydującym w zabezpieczonym przed skasowaniem obszarze pamięci FLASH (0xF800-0xFFFF).

6 WYNIKI EKSPERYMENTÓW

Czujniki robota KOALA zostały zbadane pod kątem skuteczności działania, a zwłaszcza możliwości rozpoznawania stanu robota na podstawie ich sygnałów. Na rys. 4 przedstawiono wybrane wykresy. Skala czasu jest wyrażona w cyklach sterownika ($\tau_c=10\text{ms}$). Czujniki rotacji działają poprawnie



Rysunek 4: Wykresy przykładowych pomiarów z czujników robota KOALA

(1 powolny obrót i 4 kołysania). Eksperyment z czujnikiem dotyku pokazuje zależność sygnału wyjściowego od wielkości powierzchni dotykanej (4, 3, 2 i 1 palec). Czujnik nacisku wykazuje różnicę pomiędzy uderzeniem robota (lewa część) a jego ścisaniem (prawa część). Widoczne są też wyniki pracy preprocesora (inercyjna korekcja sygnału przyspieszenia).

7 PODSUMOWANIE

Opisany robot interaktywny został zaprojektowany i wykonany zgodnie ze wstępnymi założeniami ustalonymi ze specjalistami z dziedziny terapii autyzmu u dzieci młodszych. Forma robota (piłka), jego prosta konstrukcja i niski koszt elementów dają nadzieję na zastosowanie go jako pomocy terapeutycznej. Zasadnicze znaczenie ma łatwość programowania zachowania robota, uzyskana dzięki wykorzystaniu w sterowniku mechanizmu wnioskowania rozmytego. Eksploatacja i programowanie robota nie wymaga stosowania żadnego oprogramowania komercyjnego.

Dalsze prace nad robotem KOALA będą zmierzały do przeprowadzenia serii doświadczeń z udziałem terapeutów i dzieci, co pozwoli na wprowadzenie niezbędnych poprawek. Ewentualne przyszłe wdrożenie wymaga dopracowania szczegółów o charakterze technologicznym.

Literatura

- [1] K. Arent. Interfejs terapeuty kulistego robota wspomagającego terapię dzieci autystycznych. In: *Postępy robotyki*. Red. K. Tchoń. Warszawa, WKŁ 2005.
- [2] K. Arent, M. Kabała, M. Wnuk. *Programowanie i konstrukcja kulistego robota społecznego wspomagającego terapię dzieci autystycznych*. Raport SPR 3/05, Inst. Cyb. Techn. PWr, 2005.
- [3] *CPU 12 Reference Manual*. CPU12RM/AD, Rev. 1, Motorola Inc., 1996, 1997.
- [4] *Electric Field Imaging Device*. MC33794 Technical Data Rev. 8.0. Freescale Semiconductor, Inc. 2005.
- [5] T. Fong, I. Nourbakhsh, K. Dautenhahn. A Survey of Socially Interactive Robots: Concepts, Design, and Applications. In: *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, 2003.
- [6] *IEC 1131 - Programmable Controllers. Part 7 - Fuzzy Control Programming*. Committee Draft CD 1.0 (Rel. 19 Jan 97).
- [7] *Integrated Silicon Pressure Sensor*. MPXV7025G Technical Data Rev. 0. Freescale Semiconductor, Inc. 2005.
- [8] M. Kabała. Układy sensoryczne i wykonawcze w robocie kulistym wspierającym terapię dzieci autystycznych. In: *Postępy robotyki*. Red. K. Tchoń. Warszawa, WKŁ 2005.
- [9] J. Kruk-Lasocka. *Autyzm czy nie autyzm. Problemy diagnostyki i terapii pedagogicznej małych dzieci*. Dolnośląska Wyższa Szkoła Edukacji. Wrocław, 1999.
- [10] F. Micheaud, S. Carron. Roball - An autonomous toy-rolling robot. In: *Proceedings of the Workshop Interactive Robot Entertainment*. 2000.
- [11] D. Travis. *Effective Color Displays. Theory and Practice*. Academic Press 1991.
- [12] J. Williams. *Serial Monitor Program for HCS12 MCUs*. AN2548/D Application Note. Motorola, Inc. 2003.
- [13] M. Wnuk. *Moduł z mikrokontrolerem MC9S12C32*. Raport SPR 19/2004, Inst. Cyb. Techn. PWr. 2004.

- [14] M. Wnuk. Programowalny sterownik interaktywnego robota kulistego wspomagającego terapię dzieci autystycznych. In: *Postępy robotyki*. Red. K. Tchoń. Warszawa, WKŁ 2005.
- [15] R. R. Yager, D. P. Filev. *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*. Warszawa, WNT 1995.
- [16] $\pm 1.5g - 6g$ Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer. MMA7260Q Technical Data Rev. 1. Freescale Semiconductor, Inc. 2005.
- [17] AURORA. *Autonomous robotic platform as a remedial tool for children with autism*, <http://www.aurora-project.com/>
- [18] ENC03JA. *Piezoelectric Gyroscopes*, <http://www.murata-europe.com/>
- [19] HC12MEM. *HC12 memory reader/writer*, <http://cml.mfk.net.pl/hc12mem/>

dr inż. Marek Wnuk
Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki
Politechniki Wrocławskiej
ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław

Niniejszy raport otrzymują:

- 1. OINT - 1 egz.
- 2. Zleceniodawca - 2 egz.
- 2. Autor - 2 egz.

Razem : 5 egz.

Raport wpłynął do redakcji I-6
w maju 2006 roku.