

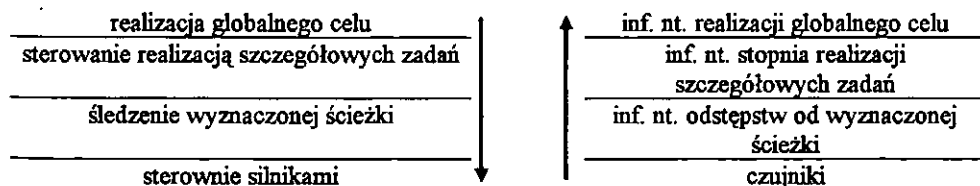
## INTELIGENTNE ZACHOWANIE STEROWNIKA ROBOTA MOBILNEGO JAKO WYNIK WSPÓLPRACY RÓWNOLEGLYCH I NIEZALEŻNYCH ODRUCHÓW

*Streszczenie: W pracy przedstawiona jest praktyczna realizacja własnej, oryginalnej architektury sterownika robota mobilnego opartej na równoległej, jednoczesnej propagacji sygnałów z czujników do silników robota przez warstwy sterownika. Każda warstwa realizuje własne zadania. Jedną z tych warstw jest zbudowana w oparciu o sieć neuronową fuzzy ARTMAP. Sterownik ten jest próbą realizacji idei tzw. „nowej sztucznej inteligencji”. Przedstawione są badania eksperymentalne różnych wariantów warstw opracowanego sterownika, które zostały przeprowadzone z użyciem rzeczywistego robota mobilnego Nomad 200 wykonującego zadania o różnym stopniu złożoności.*

*Abstract: Practical realization of a new architecture for intelligent mobile robot control is described. This architecture is based on parallel signal propagation through the layers of the controller, from the level of sensors, up to the actuators. Each layer is responsible for realization of one task. One of the layers is a fuzzy ARTMAP neural network. This research was an attempt of realization of the „New AI” ideas. Experimental results of research on different versions of layers of a controller are described. Experiments were conducted with the use of Nomad 200 mobile robot performing several tasks.*

### 1. WSTĘP

Współczesne inteligentne sterowniki robotów mobilnych można podzielić na sterowniki o architekturze szeregowej i równoległej. Architektura szeregową to klasyczny już sposób konstrukcji złożonych systemów sterujących. Występuje tu podział sterownika na hierarchiczny układ poziomów (warstw). Powoduje to zaistnienie zjawisk propagacji sygnału: zstępującej (od warstw wyższego rzędu do czujników) i wstępującej (od czujników) (Rys. 1).

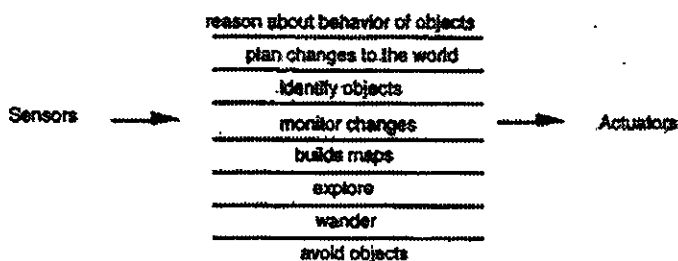


Rys. 1 Przykład architektury szeregowej - propagacja sygnału zstępująca i wstępująca

Architektura szeregową wyróżniają następującymi zaletami: modułowa budowa, klarowna i łatwa w opisie struktura. Wady tego typu sterowników to: długi czas reakcji na szybkie i

dynamiczne zmiany otoczenia (cykl: badanie otoczenia => przetwarzanie informacji => działanie) oraz ograniczona elastyczność i adaptacyjność [1].

Koncepcja architektury równoległej doczekała się wielu wersji. Wśród nich można wyróżnić architekturę typu „subsumption” [2, 3] która nazywana jest pierwszym poważnym krokiem w kierunku „nowej sztucznej inteligencji” (ang. New AI) [3]. Budowa takiej struktury wyróżnia się tym, że wszystkie warstwy sterownika mają bezpośredni dostęp do czujników i do silników robota (Rys 2.). Warstwy sterownika wywierają na siebie wzajemnie wpływ (tłumienie i pobudzanie)



Rys. 2. Struktura „subsumption architecture” [3]

Zalety takiego sterownika są następujące: możliwe jest dodawanie bez ograniczeń kolejnych warstw, każda z warstw realizuje swój lokalny cel, a wszystkie razem realizują cel globalny, możliwe jest wobec tej struktury stosowanie technik ewolucyjnych [4], bezpośrednie połączenie wszystkich warstw do czujników i do silników gwarantuje dużą szybkość działania robota, inteligentne zachowanie robota osiągnięte jest nie przez stosowanie zcentralizowanego systemu, lecz przez (potencjalnie dużą) liczbę powiązanych ze sobą procesów. Jej wady są następujące: dodawanie nowych warstw ma jednak zwykle wpływ na połączenia pomiędzy warstwami już istniejącymi; decyzja o tym, które warstwy mają być aktywne w danych sytuacjach musi być podjęta w momencie projektowania systemu, co skutkuje w postaci pewnego braku zdolności adaptacyjnych.

Inne przykłady realizacji idei zaprojektowania architektury równoległej to: architektura holarchiczna [5], roboty Braitenberga [6], oraz systemy odpowiednio połączonych sieci neuronowych ([7], [3]).

Dotychczasowe wyniki badań pokazują że klasyczne podejście do zagadnień sztucznej inteligencji (ang. AI), choć daje dobre efekty w postaci systemów ekspertowych [8], nie sprawdza się w sterowaniu rzeczywistych obiektów (np. robotów mobilnych), gdyż rzeczywisty świat jest bardzo złożony i nie można tu - jak np. w grze w szachy - z góry zdefiniować zasad gry i rozpatrywać wszystkie możliwe ruchy. Świat rzeczywisty jest nieprzewidywalny, a czujniki badające jego stan mają ograniczoną dokładność [3]. Z tego właśnie względu w [3] zaproponowano powstanie odmiany sztucznej inteligencji zwanej „nową sztuczną inteligencją” (ang. New AI). Porównanie cech sztucznej inteligencji i nowej sztucznej inteligencji jest zobrazowane na Tabl. 1.

Architektura typu równoległego doskonale nadaje się do realizacji idei nowej sztucznej inteligencji. Próba takiej praktycznej realizacji jest przedstawiona w niniejszym opracowaniu.

AI	Stary	New AI
programy komputerowe	Narzędzie badań	rzeczywiste roboty
symulowane	Środowisko działania	świat rzeczywisty
budowa złożonych systemów operujących symbolami wg. reguł logiki, posiadających bazy wiedzy	Środek ciężkości badań	koncentracja badań na interakcji rzeczywistego obiektu z otoczeniem
skomplikowana budowa wew. systemu	Przepis na inteligencję	w miarę możliwości prosta budowa wew. systemu, inteligencja wynika z jego interakcji ze złożonym światem rzeczywistym
rozwiązywanie problemów, ekspertyzy	Główne zadanie tworzonych systemów	przetrwanie robota mobilnego w złożonym świecie rzeczywistym

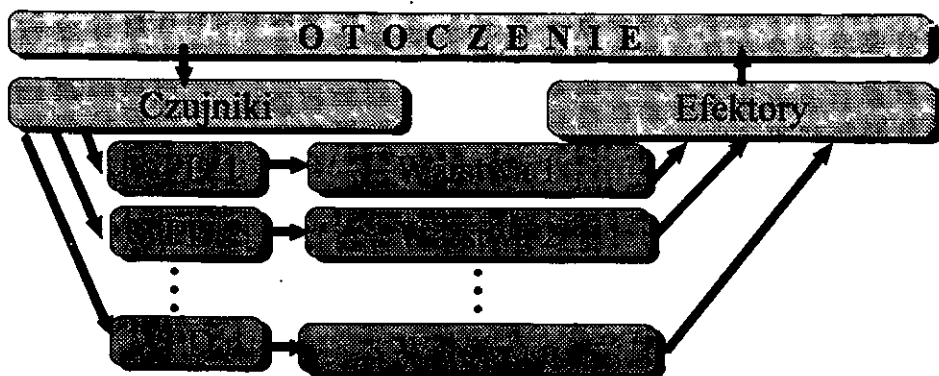
Tabl. 1. Porównanie cech sztucznej inteligencji i nowej sztucznej inteligencji

## 2. BUDOWA STEROWNIKA ROBOTA MOBILNEGO

### 2.1. Wstęp

W ramach pracy badawczej opracowany został sterownik robota mobilnego, którego budowa opiera się na koncepcji współpracy niezależnych równoległych warstw, z których każda realizuje swoje własne zadania (Rys. 3.). W niniejszym opracowaniu przykładowym zadaniem sterownika jest śledzenie źródła światła z jednoczesnym omijaniem przeszkód.

Moduły WPD (Rys. 3.) są to moduły wstępnego przetwarzania danych. Ich zadaniem jest przygotowanie danych z czujników dla potrzeb poszczególnych warstw sterownika. Dzięki ich działaniu, każda warstwa jest aktywowana do działania tylko w sytuacji, w której jej praca jest potrzebna.



Rys. 3. Architektura sterownika robota mobilnego

### 2.2. Warstwy sterownika

Pierwszą i najbardziej złożoną warstwą odrukową składającą się na opisywany sterownik jest warstwa odpowiedzialna za śledzenie źródła światła. Moduł wstępnego przetwarzania danych

dla tej warstwy dokonuje binaryzacji [9] i redukcji obrazu z kamery do rozmiarów 24 x 4 punkty. Przykładowy efekt takiej obróbki obrazu jest pokazany na Rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy widok źródła światła po wstępnej obróbce obrazu

Decyzje co do kierunku w którym powinien poruszać się robot, podejmuje sieć neuronowa typu fuzzy ARTMAP na podstawie otrzymanego obrazu. Dokładny algorytm działania takiego systemu neuronowego można znaleźć w literaturze, w szczególności w [10]. Sieć neuronowa jest uczona za pomocą zbioru uczącego pozwalającego skojarzyć położenie śledzonego źródła światła z takimi nastawami prędkości obrotowej wieży robota, które gwarantują zachowanie śledzonego źródła światła w polu widzenia kamery.

Drugą warstwę sterownika stanowi warstwa odruchu zatrzymywania się przed przeszkodą. Działanie tej warstwy sprowadza się do zatrzymywania ruchu postępowego robota w przypadku wykrycia na jego drodze przeszkód, oraz do uruchamiania ruchu postępowego bazy mobilnej robota kiedy droga przed nim jest od wolna przeszkód. Do wykrywania przeszkód warstwa ta używa dalmierzy podczerwonych umieszczonych w przedniej części robota oraz części dalmierzy umieszczonych po jego bokach.

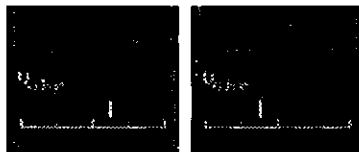
Pamięć kierunku do źródła światła jest elementem sterownika odpowiedzialnym za przechowanie informacji z której strony (z lewej czy z prawej) było ostatnio lub jest obecnie widziane źródło światła. Informacja ta jest wykorzystywana przez niektóre warstwy sterownika do decydowania o kierunku obrotu bazy mobilnej robota. Opis wykorzystania tej informacji jest zamieszczony w późniejszych akapitach przy okazji opisu dalszych warstw sterownika.

Następna warstwa opracowanego sterownika jest odpowiedzialna za wyszukiwanie drogi wolnej od przeszkód. Działanie tej warstwy powoduje że robot znajdujący się przed przeszkodą zaczyna się obracać do czasu, aż odwróci się w kierunku, w którym czujniki odległości wykryją brak przeszkód na jego drodze. Zanim jednak robot zacznie obracać się w poszukiwaniu wolnej drogi, odczeka pewną zadaną przez regulowany parametr ilość odczytów z czujników. Robot mógł się natknąć na przeszkodę ruchomą i wtedy omijanie takiej przeszkody nie jest celowe jeśli ona sama usunie się z drogi.

Ciekawy jest efekt wspólnego działania tej warstwy i warstwy odruchu zatrzymywania się przed przeszkodą: robot zatrzymuje się przed przeszkodą, obraca się do momentu aż znajdzie się na wprost wolnej drogi i rusza dalej. Mimo niezależnego od siebie działania i mimo braku bezpośredniej wymiany informacji pomiędzy obiema warstwami, wytwarzają one wspólny efekt w postaci omijania przeszkód.

Warstwa odruchu poszukiwania źródła światła steruje zachowaniem robota mobilnego, kiedy w polu widzenia kamery brak jest poszukiwanego źródła światła, oraz kiedy robot nie trafia na przeszkodę. W takiej sytuacji robot porusza się do przodu (efekt działania warstwy odruchu zatrzymywania się przed przeszkodą kiedy droga przed robotem jest wolna od przeszkód) i powoli obraca się. Kierunek tego obrotu jest zgodny z kierunkiem zapamiętanym przez pamięć kierunku do źródła światła (opis powyżej). Sens wyboru takiego kierunku jest następujący: jeśli poszukiwane źródło światła jest ruchome, to należy poszukiwać go w kierunku w którym było ono ostatnio widziane. Zwiększa to skuteczność robota w docieraniu do celu (znalezienie

lampki). Zachowanie to jest pokazane na Rys. 5. Lewy kadr pokazuje przypadek kiedy obraz źródła światła był ostatnio obserwowany z prawej strony (a nie jest widoczny obecnie), więc robot zakręca w prawo (patrz skala  $V_{obr}$  na Rys. 5. - środek skali oznacza jazdę bez zakręcania).



Rys. 5. Zachowanie sterownika w różnych przypadkach zgubienia śledzonego źródła światła z pola widzenia

Warstwa ta posiada również pewną dodatkową cechę. Jeśli przez pewien czas zakręcanie w danym kierunku nie daje efektu w postaci znalezienia śledzonego źródła światła przez sieć neuronową, robot na chwilę przyspiesza swój obrót. Dzięki temu, jeśli poszukiwane źródło światła jest ruchome i dotychczasowa prędkość obrotowa nie dała efektu w postaci dogonienia go, przyspieszenie takie daje większe szanse na osiągnięcie sukcesu.

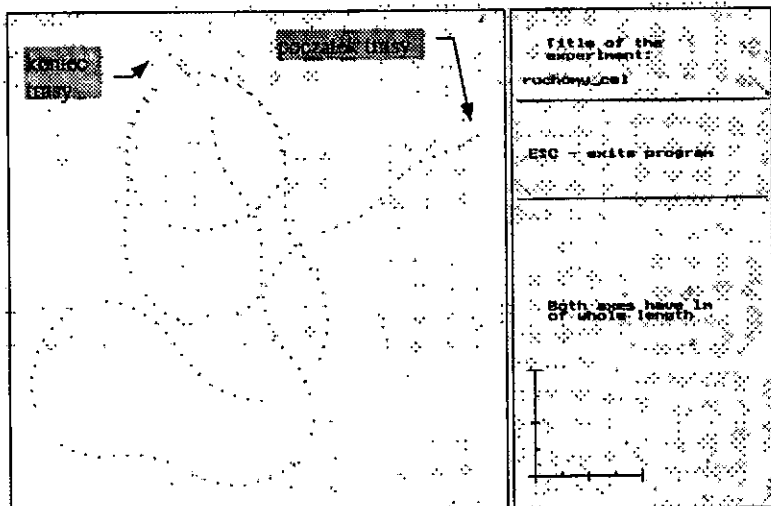
Warstwa odruchu ucieczki ze ślepego zaułka jest odpowiedzialna za podjęcie działań awaryjnych w przypadku kiedy robot przez dłuższy czas znajduje się w tym samym obszarze. Zwykle świadczy to o tym, że sterownik stanął przed problemem którego nie może rozwiązać i przez to robot wpadł w oscylacje. Na przykład jest to próba omięcia szerokiej przeszkody i robot podejżdża do niej stale w dwu oddalonych od siebie miejscach, ale jej nie omija. Wtedy podejmowane jest działanie nazwane tu „ucieczką ze ślepego zaułka”. Ucieczka ta polega na tym, że robot obraca się o ok.  $130^\circ$  w kierunku wybranym w następujący sposób: sprawdzane są trzy przednie czujniki podczerwone z prawej i z lewej strony robota i wybierany jest kierunek w którym stwierdzone zostanie więcej przestrzeni wolnej od przeszkód. Działanie to nie jest w żaden sposób logicznie związane z wykonywanym zadaniem. Jego celem jest przerwanie łańcucha kolejnych zdarzeń prowadzących do oscylacji robota stale w pobliżu tej samej pozycji. Jest to analogia odruchu paniki i ucieczki w systemach biologicznych.

### 3. PRZYKŁADOWE WYNIKI EKSPERYMENTÓW

#### 3.1. Docieranie do ruchomego źródła światła

Celem doświadczenia było sprawdzenie skuteczności działania warstwy odruchu śledzenia źródła światła w przypadku, kiedy śledzone źródło światła jest ruchomym celem. Przebieg doświadczenia jest pokazany na Rys. 6. Każda kropka na rysunku oznacza miejsce w którym sterownik podejmował decyzję co do dalszego postępowania. Decyzje takie są generowane przez program symulatora sterownika działający na komputerze robota co około 0.4 sek.

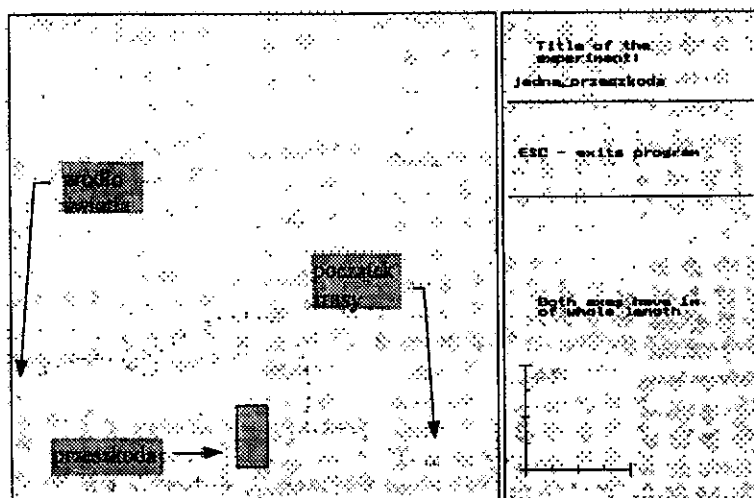
Śledzona lampka poruszała się nieco szybciej niż mógł za nią nadążyć robot. Na Rys. 6. widać miejsca w których na zakrętach ślad ścieżki robot ma pewną przerwę. Są to miejsca w których zadziałała funkcja przyspieszania obrotu robota. Widać również, że mimo braku obrazu śledzonego źródła światła w kadrze, robot zawsze obracał się we właściwym kierunku. Kiedy śledzona lampka przemieszczała się z jednej strony kadru na drugą, lub nawet zniknęła za drugą stroną pola widzenia kamery, robot odpowiednio zmieniał kierunek ruchu. W końcu, kiedy lampka poruszała się z prędkością mniejszą od prędkości ruchu robota, robot ją dogonił.



Rys. 6. Trasa robota przy śledzeniu  
 ruchomego źródła światła

### 3.2. Docieranie do statycznego źródła światła z ominięciem pojedynczej przeszkody

Kolejne doświadczenie zmuszało robota mobilnego do ominięcia pojedynczej przeszkody przed dotarciem do celu. Przebieg eksperymentu jest pokazany na Rys. 7.

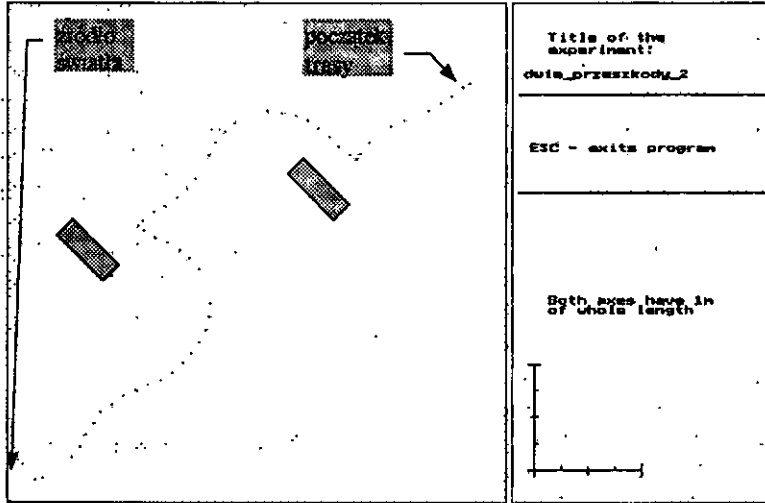


Rys. 7. Trasa robota przy docieraniu do statycznego  
 źródła światła z ominięciem jednej przeszkody

Początek eksperymentu przebiegał podobnie jak opisano w paragrafie 3.1. Później jednak robot natknął się na przeszkodę. W tym momencie jednocześnie zostały pobudzone do działania warstwy odruchów zatrzymywania się przed przeszkodami oraz odruch poszukiwania wolnej drogi. Robot w rezultacie ich działania zatrzymał się i obracał się w prawo do momentu, aż

znalazł się naprzeciwko drogi wolnej od przeszkód. Ruszył wtedy do przodu. Obraz jaki otrzymywała warstwa odruchu poszukiwania źródła światła nie zawierał śladów obecności w kadrze śledzonej lampki, więc robot zaczął obracać się w kierunku, w którym ostatnio widziana była śledzona lampka. W rezultacie źródło światła z powrotem znalazło się w polu widzenia kamery, sterowanie przejęła sieć neuronowa i robot dotarł do celu.

### 3.3. Docieranie do statycznego źródła światła z ominięciem dwóch przeszkód



Rys. 8. Trasa robota przy docieraniu do statycznego źródła światła z ominięciem dwóch przeszkód

Przebieg eksperymentu pokazanego na Rys. 8. był podobny jak w przypadku opisanym w paragrafie 3.2. z tą jednak różnicą, że robot dwa razy znalazł się w sytuacji kiedy na jego drodze znalazły się losowo ustawione przeszkody.

### 3.4. Docieranie do statycznego źródła światła przy niekorzystnej konfiguracji dwóch przeszkód

W opisywanym tu eksperymencie zadanie sterownika było bardzo utrudnione ze względu na to, że konfiguracja przeszkód na drodze do śledzonego źródła światła była celowo dobrana tak, że robot wpadał w oscylacje. Rys. 9. obrazuje tę sytuację. Robot parokrotnie napotykał raz jedną, raz drugą przeszkodę i w rezultacie poruszał się stale w jednym obszarze. Taki stan rzeczy jest wykrywany przez procedury wstępnego przetwarzania danych połączone z czujnikami odometrycznymi i powoduje aktywację warstwy odruchu ucieczki ze ślepego zaułka.

Moment w którym zadziałała warstwa odruchu ucieczki ze ślepego zaułka jest zaznaczony na Rys. 9. wskaźnikiem zatytułowanym „punkt ucieczki”. W punkcie tym, w momencie stwierdzenia poruszania się stale w ograniczonym obszarze, robot skrzył w kierunku, w którym za pomocą lewych i prawych czujników podczerwonych wykryte zostało więcej wolnej przestrzeni. Dzięki temu robot znalazł się w nowej sytuacji, poza obszarem oscylacji i mógł ponownie podróż w kierunku do źródła światła. W końcowym efekcie robot dotarł do celu.

