

Na prawach rękopisu

INSTYTUT INFORMATYKI AUTOMATYKI I ROBOTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Raport serii SPR nr 55/2007

Robot Sputnik jako platforma do badania interakcji człowiek–robot

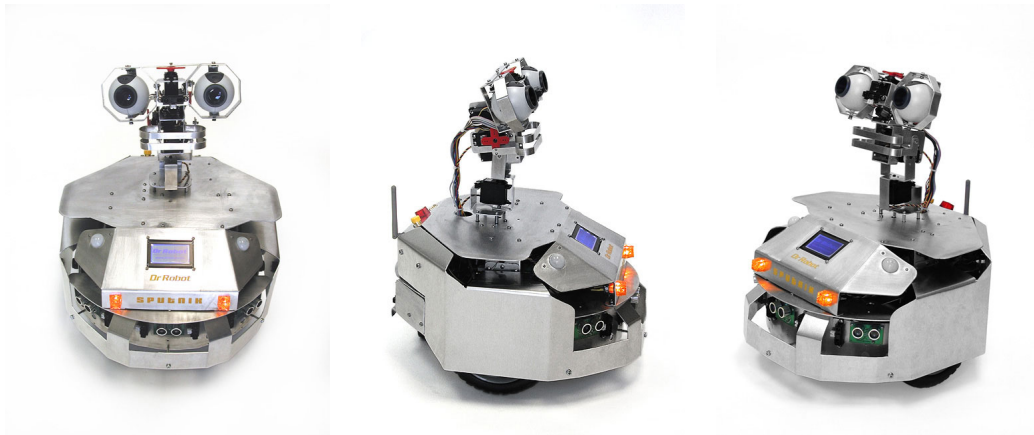
Mariusz Janiak
Robert Lukierski
Robert Muszyński

Słowa kluczowe: robot społeczny, interakcja człowiek-robot,
robot Sputnik, programowanie robota

Wrocław 2007

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Opis budowy robota	2
2.1	Dane techniczne	3
2.2	Konstrukcja mechaniczna robota	3
2.3	Sensory robota	4
2.4	Środki wyrazu robota	4
2.5	Architektura układu sterowania robota	4
3	System oprogramowania robota	5
3.1	Wymagania systemowe	5
3.2	Instalacja oprogramowania	5
3.3	Oprogramowanie uruchomieniowe	6
3.4	Biblioteka narzędziowa WiRobot SDK	8
3.4.1	Przykład wykorzystania biblioteki WiRobot SDK w języku <i>C#</i>	9
4	Sposoby wykorzystania robota	10
5	Podsumowanie	10



Rysunek 1: Robot Sputnik

1 Wstęp

We współczesnych systemach robotycznych coraz większego znaczenia nabiera interfejs pozwalający na ich komunikację z człowiekiem, [2]. Sprawa konstrukcji takiego interfejsu jest szczególnie ważna, gdy systemem tym jest robot społeczny. Na sposób postrzegania takiego robota wpływa nie tylko rodzaj kanałów komunikacyjnych wykorzystywanych przez robota, ale także ich przepustowość, łatwość przepływu informacji oraz atrakcyjność, która o sprawie decyduje w sposób zasadniczy. Nie mniej ważną sprawą wpływającą na odbiór robota przez człowieka jest sposób jego ucieleśnienia, [1].

Opisany robot badawczy Sputnik, [5], produkcji firmy Dr Robot Inc. stanowi doskonałe stanowisko badawcze, pozwalające na badanie postrzegania robota społecznego przez człowieka i interakcji w jakie wchodzi on z nim. Robot dostarcza wystarczających środków wyrazu pozwalających na komunikowanie się z człowiekiem za pomocą kilku kanałów, jest także wyposażony w różnorakie mechanizmy odbioru informacji z otoczenia. Do tego sposób wykonania robota pozwala na łatwą rozbudowę tychże środków w trybie wykonania prototypów w warunkach laboratoryjnych.

2 Opis budowy robota

Przedstawiony na rysunku 1 robot Sputnik powstał w odpowiedzi na zapotrzebowanie na robota, który łączyłby w sobie szybkość ruchu i ładowność robota X80 i możliwości wszechstronnej rozbudowy robota DRK8080. Możliwości robota w wystarczającym stopniu zaspokajają potrzeby środowisk badawczych przy równoczesnym zapewnieniu prostoty jego użytkowania, pozwalającej na wykorzystanie go przez hobbistów i entuzjastów robotyki.

Nową cechą robota w stosunku do poprzednich modeli jest wyposażenie go w moduły pozwalające na zdalny dostęp i sterowanie robotem poprzez sieć Internet. Oznacza to możliwość zdalnego nawigowania robotem jak również śledzenia jego otoczenia (poprzez kamerę i mikrofony) czy prowadzenia dwukierunkowej komunikacji werbalnej z jego pośrednictwem.

2.1 Dane techniczne

Parametry mechaniczne robota i jego system sterowania:

- wymiary:
 - średnica: 40,5 cm,
 - wysokość: 47 cm,
- waga: 6,1 kg,
- ładowność: 10 kg,
- liczba kół napędzanych: 2,
- średnica kół napędzanych: 18 cm,
- moment obrotowy: 2,1 Nm na każde koło,
- prędkość maksymalna: 1 m/s,
- zasilanie: dwie dziewięciocelowe baterie 10,8 V, 3,8 Ah (3 godziny standardowej pracy lub do 10. godzin w trybie stand-by),
- dwa enkodery kwadraturowe o rozdzielczości 1200 impulsów na obrót koła,
- wstępnie zaprogramowane procedury kontroli prędkości i położenia
- punkty montażowe przeznaczone na zamontowanie dodatkowego wyposażenia,
- w pełni zintegrowany moduł transmisji bezprzewodowej WiFi (802.11g) z dwoma kanałami komunikacji szeregowej (maks. 912,6 Kbps na kanał) wykorzystujący protokoły TCP/IP oraz UDP,
- w pełni zintegrowany moduł dwukierunkowej transmisji dźwięku i jednokierunkowej transmisji obrazu kolorowego,
- moduł detekcji kolizji wyposażony w 3 dalmierze ultradźwiękowe i 7 sensorów podczerwieni,
- 2 detektory piroelektryczne wykorzystywane do wyczuwania obecności człowieka.

2.2 Konstrukcja mechaniczna robota

Podobnie jak to miało miejsce w przypadku robota X80, Sputnik jest konstrukcją o wystarczającej wytrzymałości i prędkości przemieszczania się zapewniającą równocześnie odpowiednią precyzję ruchu i łatwość do przenoszenia. Zamontowane w platformie kołowej robota dwa dwunastowoltowe silniki prądu stałego zapewniają maksymalny moment napędowy o wartości 2,1 Nm, przenoszony na powierzchnię ruchu poprzez osiemnastocentymetrowe koła, co pozwala na ruch z prędkością maksymalną 1 m/s. Pomiar tego ruchu realizowane są za pomocą dwóch enkoderów kwadraturowych o rozdzielczości 1200 impulsów na obrót koła. Kompletny robot waży jedynie 6,1 kg, co pozwala na łatwe manipulowanie nim, przy równoczesnej maksymalnej obciążalności równej 10 kg.

2.3 Sensory robota

Układy elektroniczne robota Sputnik pozwalają na pełne wykorzystanie transmisji bezprzewodowej w standardzie WiFi, detekcję otoczenia i kontrolę przemieszczania a także wykorzystanie zamontowanych na robocie sensorów, kamery i modułów audio w szerokiej gamie aplikacji. Robot fabrycznie wyposażony został w 3 dalmierze ultradźwiękowe i 7 sensorów podczerwieni, 2 detektory piroelektryczne, mikrofon i kolorową kamerę. Kamera ta umieszczona jest na robocie w specjalnie skonstruowanej głowicy, która dzięki zamontowanym serwomechanizmom jest w stanie poruszać się w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach. Łatwość rozbudowy robota o dodatkowe sensory czy specjalizowane moduły jeszcze bardziej zwiększa jego uniwersalność.

2.4 Środki wyrazu robota

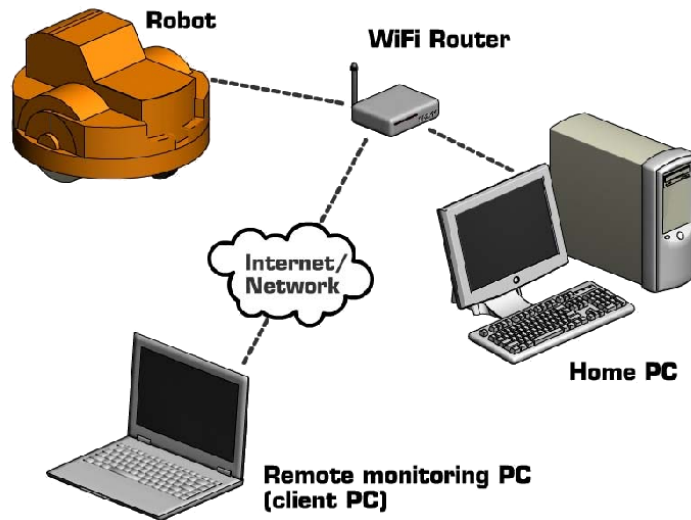
W celu oddziaływania na otoczenie robot Sputnik został wyposażony w głośnik, ruchome „gałki oczne”, „usta”, panel LCD oraz lampki. Dzięki właściwie dobranemu rozmieszczeniu tych elementów odnosi się wrażenie, jakoby robot posiadał głowę.

2.5 Architektura układu sterowania robota

Układ sterowania robota Sputnik został opracowany w oparciu o rozproszoną architekturę sterowania robotem DCRA (Distributed Computation Robotic Architecture). W tym podejściu sterownik wysokiego poziomu jest nadzorowany przez lokalny lub zdalny komputer klasy PC/serwer, który komunikuje się z nim za pośrednictwem kodowanego łącza bezprzewodowego. Sterowanie na niskim poziomie jest realizowane przez zamontowane na robocie układy DSP. Ich zadaniem jest jedynie nadzorowanie pracy układów wykonawczych – wszystkie złożone obliczeniowo operacje muszą być wykonywane na sprzęcie zewnętrznym. Takie podejście pozwoliło na znaczące obniżenie masy robota oraz wydłużenie czasu jego działania bez potrzeby ładowania baterii.

Zastosowanie w robocie szerokoprzepustowej transmisji bezprzewodowej (11Mbps) pozwala na przekazywanie z robota do jednostki nadrzędnej wszystkich danych sensorycznych (włączając w to odczyty z zamontowanych na kołach enkoderów) z częstotliwością przekraczającą 10 Hz. Możliwe jest także przekazywanie tym kanałem strumienia audio (8kHz, 16 bitów) i wideo (do 4. ramek na sekundę) w celu monitorowania terenu lub przetwarzania tychże danych dowolnymi metodami. Polecenia z zewnętrznego komputera do Sputnika są przesyłane również z częstotliwością przekraczającą 10 Hz, co pozwala na sterowanie robotem w czasie rzeczywistym.

Robot Sputnik pozwala badaczom na swobodne opracowywanie szerokiego wachlarza inteligentnych robotów serwisowych, asystujących czy społecznych, a także wykorzystanie go jako jednostkę w badaniach dotyczących interakcji człowiek-maszyna, nawigacji systemów mobilnych, zachowań, przetwarzania obrazów, rozpoznawanie obiektów, rozpoznawania mowy, teleoperacji, budowania map, lokalizacji itp.



Rysunek 2: Standardowa konfiguracja środowiska pracy dla robota Sputnik

3 System oprogramowania robota

Robot badawczy Sputnik dostarczany jest wraz z dedykowanym oprogramowaniem uruchomieniowym oraz biblioteką narzędziową WiRobot SDK, [4]. Jest to komplet narzędzi umożliwiający sterowanie robotem z poziomu komputera PC oraz w oparciu o bibliotekę, pozwalający na budowanie, testowanie i uruchamianie własnego oprogramowania. Dzięki temu projektant zamiast poświęcać czas na opracowywanie oprogramowania dla własnej platformy badawczej może skoncentrować swoją uwagę wyłącznie na docelowym zadaniu.

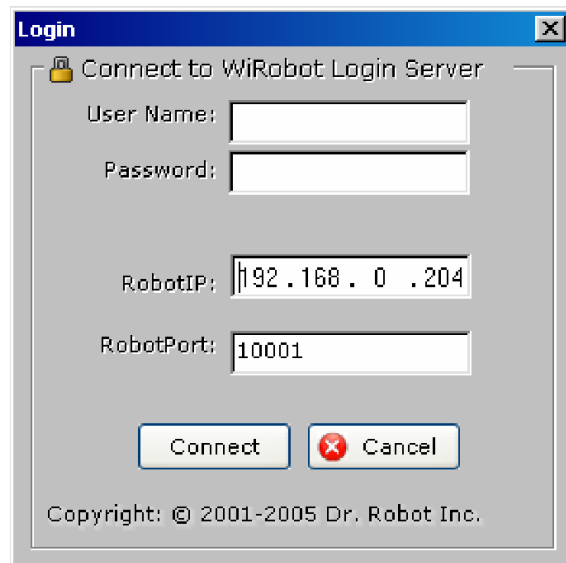
Standardowa konfiguracja środowiska pracy dla robota Sputnik pokazana jest na rysunku 2. Komputer PC komunikuje się z robotem za pośrednictwem radiowego routera WiFi. W celu nawiązania połączenia należy zainstalować na komputerze PC oprogramowanie serwera *robot server*. Umożliwia ona sterowanie robotem oraz odczyt danych sensorycznych. Istnieje możliwość połączenia robota z dodatkowym komputerem PC, którego zadaniem będzie jedynie gromadzenie i przetwarzanie danych pomiarowych. W tym celu na wspomnianym komputerze należy zainstalować oprogramowanie klienta *robot client*.

3.1 Wymagania systemowe

Komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows 2000 lub Windows XP, wyposażony w kartę sieciową.

3.2 Instalacja oprogramowania

Przed przystąpieniem do instalacji oprogramowania dostarczonego z robotem warto sprawdzić na stronie producenta www.drrobot.com czy dysponujemy najnowszą wersją oprogramowania właściwego dla naszego robota. Jeśli tak jest w pierwszej kolejności



Rysunek 3: Okno logowania

należy zainstalować program serwera *robot server*, [3]. Wraz z nim instaluje się na komputerze biblioteka narzędziowa WiRobot SDK. Warto również zainstalować przykładową aplikację sterującą robotem napisaną w języku Visual Basic. Jeżeli komputer ma pracować jedynie w roli jednostki gromadzącej dane pomiarowe to zamiast oprogramowania serwera instalujemy program klienta *robot client*.

Komputer na którym zainstalowano oprogramowanie serwera powinien posiadać następującą konfigurację interfejsu sieciowego:

IP: 192.168.0.104
MASK: 255.255.255.0
GATEWAY: 192.168.0.200

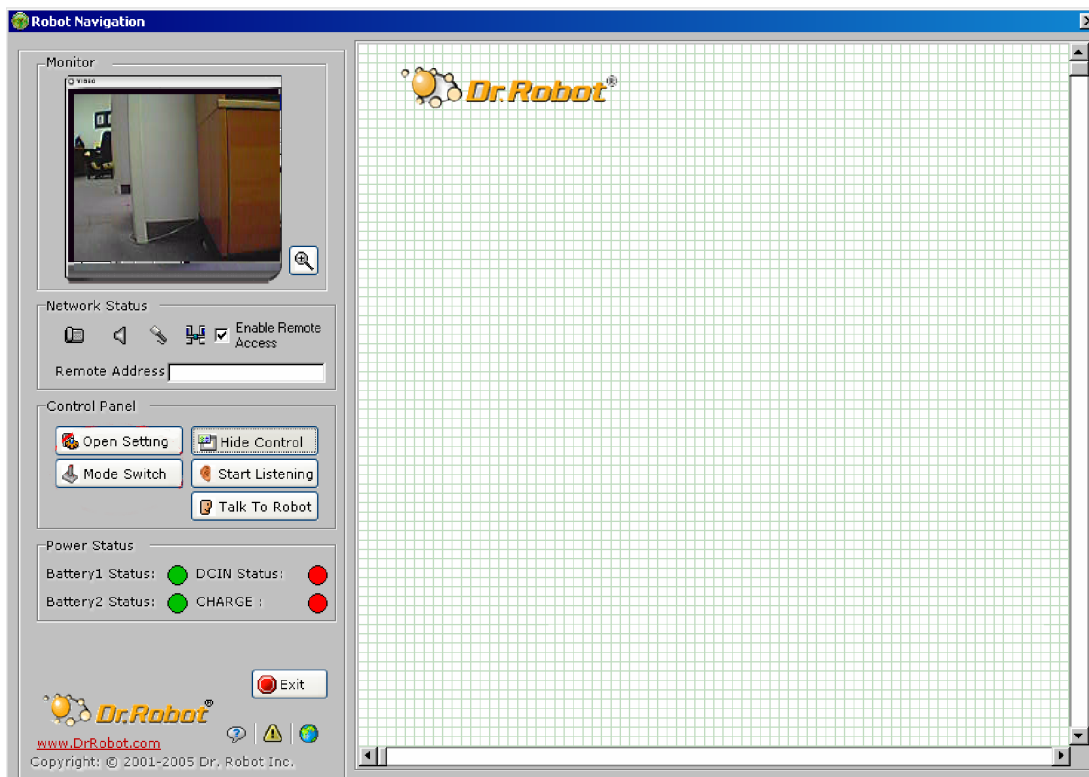
Istnieje możliwość innej konfiguracji adresu sieciowego serwera jednak wymaga to przekonfigurowania routera poprzez zmianę ustawień *Virtual Server*.

Chcąc sterować robotem za pośrednictwem joysticka, należy zainstalować dedykowane oprogramowanie dostarczone przez jego producenta (Logitech).

3.3 Oprogramowanie uruchomieniowe

Pracę z robotem rozpoczynamy od jego włączenia za pomocą żółtego przełącznika umieszczonego na tylnym panelu urządzenia. Następnie na komputerze pracującym w roli serwera, uruchamiamy program *Navigation Server* (Start > Programy > Dr Robot System > NavigationServer). W oknie, które pojawi się na ekranie komputera (rysunek 3) należy wpisać login użytkownika, hasło oraz adres sieciowy IP robota. Wszystkie niezbędne informacje są dostarczone wraz z dokumentacją robota – są one umieszczone na stronie tytułowej podręcznika użytkownika robota. W polu *RobotPort* należy wpisać wartość 10001.

Po nawiązaniu połączenia z robotem oraz udanej autoryzacji na ekranie komputera pojawi się okno programu *Navigation Server* – rysunek 4. Za jego pośrednictwem można



Rysunek 4: Okno programu *Navigation Server*

sterować robotem, odczytywać stan czujników oraz oglądać obraz z zainstalowanej na pokładzie robota kamery. Ponadto w tym przypadku robot automatycznie przełącza się w tryb patrolowania.

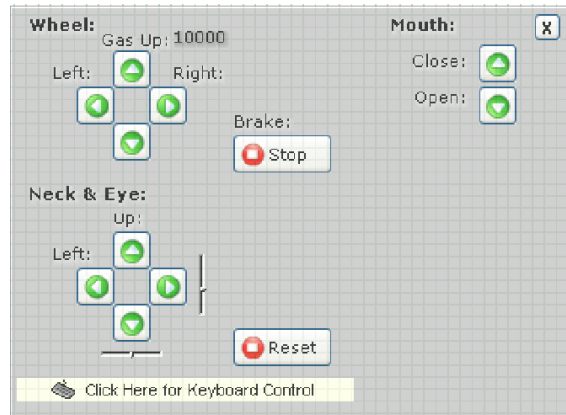
Robot Sputnik może pracować w trzech trybach: manualnym (Manual), patrolowania (Auto Patrol), uśpienia (Idle).

W trybie manualnym robot wykonuje polecenia operatora wydawane z wykorzystaniem opisanego wcześniej oprogramowania. Aby przejść w tryb sterowania ręcznego należy nacisnąć przycisk *Show Control* w sekcji *Control Panel* programu *Navigation Server*. Na ekranie monitora powinno pojawić się okno (rysunek 5), umożliwiające nawigowanie robotem za pomocą przycisków. Aby sterować robotem za pośrednictwem joysticka należy równocześnie nadusić znajdujące się na nim przyciski **FN** i **B1**.

W trybie patrolowania robot przemierza nieznanne pomieszczenie oraz, dzięki wbudowanemu systemowi unikania kolizji, bezpiecznie omija przeszkody.

W trybie uśpienia robot wyłącza większość swoich podsystemów w celu zmniejszenia zużycia energii. W takim stanie robot może pozostać nawet przez dziesięć godzin aż do całkowitego rozładowania baterii. Robot w każdej chwili może przejść w któryś z pozostałych trybów pracy. Do przełączania się pomiędzy trybami pracy służy przycisk *Mode Switch* znajdujący się w sekcji *Control Panel* programu *Navigation Server*.

Oprogramowanie uruchomieniowe umożliwia ponadto nagrywanie i odsłuchiwanie dźwięków zarejestrowanych przez mikrofon robota (przycisk *Start Listening*). Robot może również odtwarzać dźwięki, zarejestrowane przez mikrofon zainstalowany na kom-



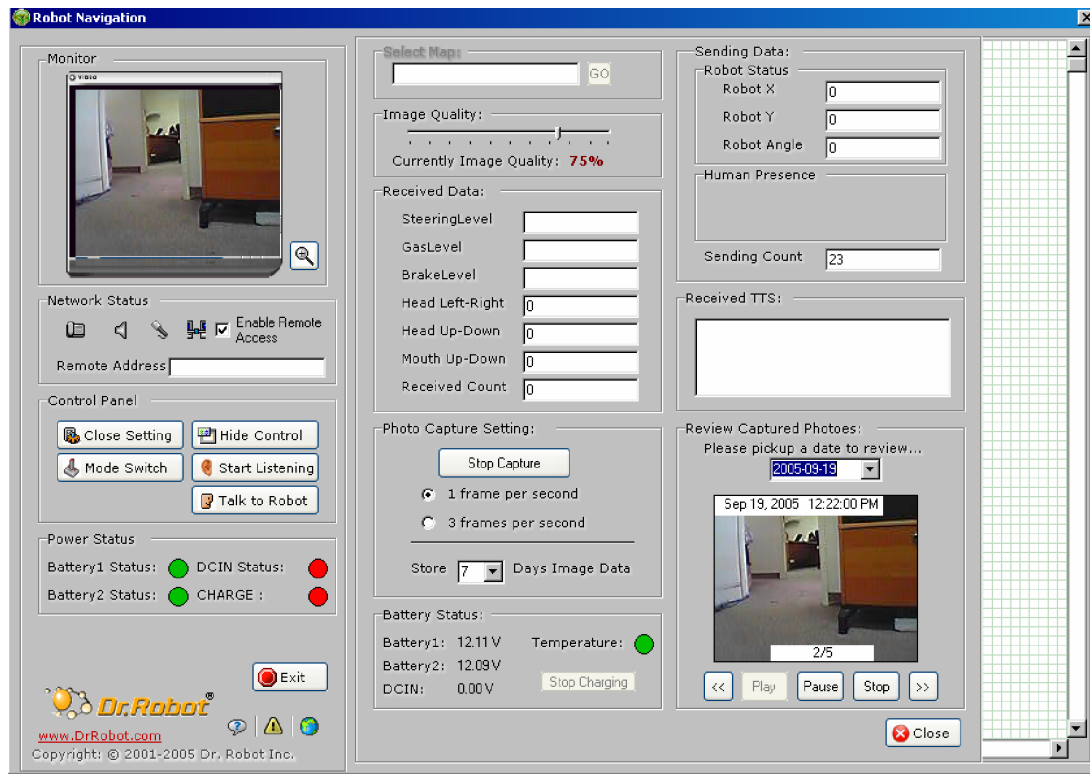
Rysunek 5: Okno z przyciskami sterującymi

puterze PC (przycisk *Talk To Robot*). Co więcej, oprogramowanie to pozwala na odtwarzanie przez robot nagranych plików dźwiękowych oraz wypowiadanie przez niego słów zapisanych za pomocą tekstu. Robot daje również możliwość ciągłej rejestracji i składowania na komputerze naderżnym obrazów rejestrowanych przez kamerę, z szybkością 1. do 3. klatek na sekundę (rysunek 6). Aktywowanie tej funkcji odbywa się w oknie *Setting* otwieranym za pomocą przycisku *Open Setting* znajdującego się w sekcji *Control Panel* programu *Navigation Server*.

3.4 Biblioteka narzędziowa WiRobot SDK

Biblioteka narzędziowa WiRobot SDK, [4], zawiera komplet narzędzi umożliwiających tworzenie oprogramowania sterującego robotem Sputnik z poziomu komputera PC. W jej skład wchodzi funkcje pozwalające na zarządzanie pamięcią, komunikację komputer-robot, interfejsy użytkownika, przetwarzanie dźwięków i obrazów, obsługę wejść/wyjść, akwizycję danych sensorycznych oraz sterowanie ruchem. Biblioteka ta stanowi pomost pomiędzy oprogramowaniem sterującym, na poziomie aplikacji, pracującym na komputerze PC a warstwą sprzętową robota odpowiedzialna za niskopoziomowe zadania tj. sterowanie, regulację, gromadzenie danych sensorycznych, komunikację itp. Struktura oprogramowania budowanego w oparciu o bibliotekę *WiRobot SDK* pokazana jest na rysunku 7.

Biblioteka dostarczana jest w postaci kontrolki *ActiveX* o nazwie *WiRobot SDK ActiveX Module*. Dzięki temu mamy do niej dostęp z poziomu różnych języków np. *Visual Basic*, *Visual C++* czy *C#*. Za przesyłanie danych pomiędzy robotem a kontrolką *WiRobot SDK ActiveX Module* odpowiedzialny jest program pośredniczący *Gateway* (*WiRobotGateway.exe*). Komunikuje się on z wysokopoziomowymi aplikacjami użytkownika poprzez pamięć dzieloną *WiRobot System Shared Memory* – szczegóły pokazano na rysunku 7.



Rysunek 6: Okno konfiguracji rejestratora obrazów

3.4.1 Przykład wykorzystania biblioteki WiRobot SDK w języku C#

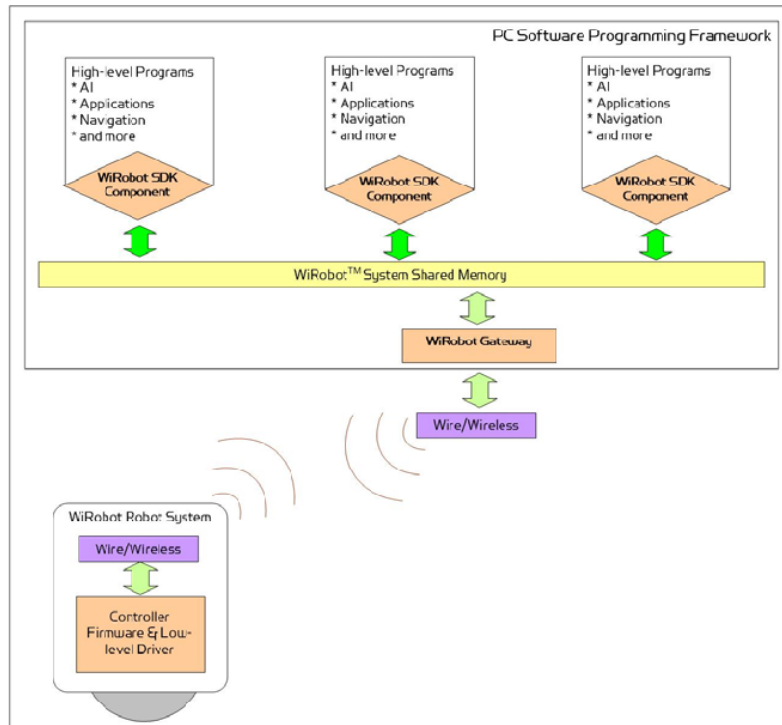
Po zainstalowaniu *WiRobot SDK* odpowiednia kontrolka OCX jest już zarejestrowana w systemie. Zaimportowanie kontrolki do środowiska *VisualStudio* wymaga wykonania następujących kroków:

- w zakładce *Common Controls* okna *Toolbox* należy nacisnąć prawy klawisz myszy,
- z menu kontekstowego należy wybrać *Choose Items...* – rysunek 8,
- w oknie *Choose Toolbox Items* (rysunek 9) zaznaczyć moduł *WiRobot SDK ActiveX Module*.

Od tego momentu odpowiednia kontrolka jest dostępna w oknie *Toolbox*. Umieszczamy ją w budowanej aplikacji poprzez przeciągnięcie kontrolki na formatkę aplikacji. Spowoduje to inicjalizację klasy z modułu OCX oraz umożliwi dostęp do funkcji z biblioteki WiRobot SDK. Odwołujemy się do nich przez klasę kontrolki, np.

```
axWiRobotSDK1.SetDcMotorVelocityControlPID(0, 30, 10, 0);
```

Należy pamiętać aby przed wywoływaniem jakichkolwiek metod kontrolki wpierw wywołać metodę *connectRobot* z parametrem „motcom” bądź „ticom”. Najlepiej jest to uczynić w zdarzeniu *OnLoad* okna budowanej aplikacji. Pozwoli to jej na połączenie się z programem *Gateway* (niestety szczegół ten nie jest opisany w dokumentacji biblioteki WiRobot SDK).



Rysunek 7: Struktura oprogramowania WiRobot

4 Sposoby wykorzystania robota

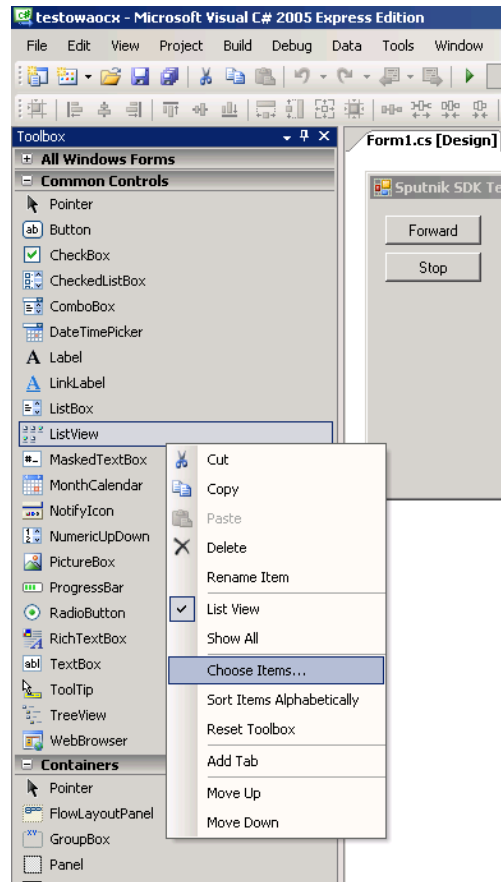
Robot Sputnik doskonale nadaje się do realizacji badań w zakresie standardowych zagadnień dotyczących kołowych platform mobilnych, tj. nawigacji, planowania ruchu, unikania przeszkód, budowania map, eksploracji terenu, samolokalizacji, sterowania w oparciu o modele kinematyki i dynamiki robota. Dzięki wyposażeniu robota w kamerę oraz mikrofon i głośnik możliwa jest realizacja dodatkowych zadań dotyczących przetwarzania obrazów, rozpoznawania obiektów, lokalizacji źródeł dźwięku, rozpoznawania poleceń, rozpoznawania i syntezy mowy.

Dodatkowo, dzięki odpowiedniej konstrukcji robota może on z powodzeniem pełnić rolę robota społecznego. Pozwala to na prowadzenie badań w zakresie interakcji człowiek-robot czy postrzegania i odbioru robotów przez ludzi. Konstrukcja robota pozwala na łatwą zmianę i rozbudowę posiadanych środków wyrazu oraz zmianę jego cielesności.

Robot posłuży do przeprowadzenia serii testów ankietowych, których celem będzie analiza wpływu środków wyrazu i cielesności robota na jego odbiór przez człowieka.

5 Podsumowanie

Robot Sputnik jest uniwersalnym robotem mobilnym, wyposażonym w różnorodne interfejsy, sensory i środki wyrazu. Charakterystyczna konstrukcja robota, pozwalająca na jego antropomorficzne postrzeganie, szczególnie predysponuje go do badań w zakre-



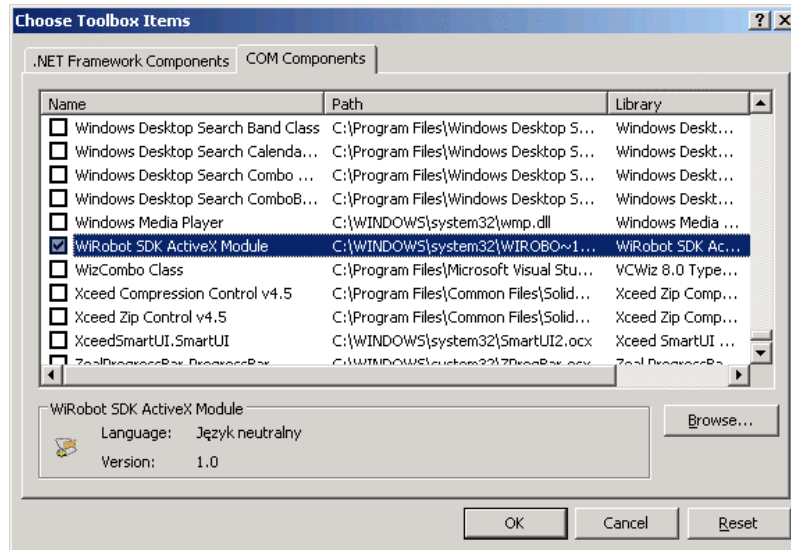
Rysunek 8: Importowanie kontrolki ActiveX do środowiska *Visual Studio*

się nowatorskiej, nabierającej w szybkim tempie coraz większego znaczenia tematyki robotów społecznych.

Dzięki dostarczonemu wraz z robotem oprogramowaniu możliwe jest łatwe przeprowadzanie różnorodnych badań w wymienionym w poprzednim rozdziale zakresie. Ponieważ robot stanowi kompletne stanowisko badawcze uczonej w swojej pracy może w pełni poświęcić się meritum badanych z jego pomocą zjawisk. Dodatkowo, funkcjonalność robota pozwala na łatwe opracowanie na jego bazie stanowiska dydaktyczno-laboratoryjnego.

Literatura

- [1] Aris Alissandrakis, Chrystopher L. Nehaniv, and Kerstin Dautenhahn. Solving the correspondence problem in robotic imitation across embodiments: Synchrony, perception, and culture in artifacts. In Chrystopher L. Nehaniv and Kerstin Dautenhahn, editors, *Imitation and Social Learning in Robots, Humans and Animals: Behavioural, Social and Communicative Dimensions*. Cambridge University Press, 2007.



Rysunek 9: Okno wyboru kontrolki

- [2] Kerstin Dautenhahn. Socially intelligent robots: Dimensions of human-robot interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1480):679–704, 2007.
- [3] Sputnik, Quick User Guide. Dr Robot Inc., 2007.
- [4] WiRobot SDK application programming interface (API) reference manual. Dr Robot Inc., 2007.
- [5] http://www.drrobot.com/products_item.asp?itemNumber=SPUTNIK.

mgr inż. Mariusz Janiak
Robert Lukierski
dr inż. Robert Muszyński
Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki
Politechniki Wrocławskiej
ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław

Niniejszy raport otrzymują:

1. OINT	– 1 egz.
2. Autorzy	– 6 egz.
	<hr/>
	Razem: 7 egz.

Raport wpłynął do redakcji I-6
w listopadzie 2007 roku.