

WYKORZYSTANIE PLATFORM ARDUINO UNO ORAZ DE2-115 DO STEROWANIA MODELAMI AUT

Krystyna Maria NOGA

Uniwersytet Morski Gdynia, Katedra Automatyki Okrętowej
tel.: 58 55 86 471, e-mail: k.noga@we.umg.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono nowe stanowisko badawcze i dydaktyczne którym jest zestaw składający się z dwóch odpowiednio zmodernizowanych modeli aut sterowanych radiowo. Zaprojektowane specjalnie na potrzeby laboratorium Techniki Cyfrowej przykładowe cyfrowe sterowanie wykorzystuje platformy DE2-115 oraz Arduino Uno. Modele aut zostały dodatkowo wyposażone w sygnalizację świetlną i dźwiękową oraz po 3 ultradźwiękowe czujniki odległości HC-SR04, które umożliwiają detekcję przeszkody. Modele poruszają się we wspólnej przestrzeni tak, aby unikać kolizji pomiędzy sobą oraz z innymi przeszkodami.

Słowa kluczowe: technika cyfrowa, dydaktyka, cyfrowe sterowanie, układy programowalne, FPGA, język opisu sprzętu VHDL.

1. WSTĘP

W laboratorium Techniki Cyfrowej w Katedrze Automatyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni do dydaktyki oraz prac naukowo-badawczych wykorzystywane są modele sterowane cyfrowo. Część z nich została zbudowana samodzielnie i zaprezentowana w ramach poprzednich edycji seminarium „Zastosowanie Komputerów w Nauce i Technice”, przykładowo przedstawiono model robota kroczącego, wciągarki okrętowej, przenośnika taśmowego, wielozadaniowego pojazdu. W laboratorium wykorzystywane są także inne modele, przykładowo model autonomicznego robota – człowieka *Robowisdom*, koparki, sztaplarki, dźwigu, które zostały odpowiednio przystosowane do potrzeb dydaktyki i badań [1-5].

W artykule zostanie przedstawione nowe, zaawansowane stanowisko badawcze i dydaktyczne którym jest zestaw składający się z dwóch modeli pojazdów, odpowiednio zmodernizowanych, sterowanych radiowo [6]. Zaprojektowane specjalnie na potrzeby laboratorium Techniki Cyfrowej przykładowe cyfrowe sterowanie wykorzystuje platformy *DE2_115* oraz *Arduino Uno* [7]. Pojazd *A* jest sterowany zdalnie za pomocą zestawu *DE2-115*, algorytm sterowania został opracowany w języku programowania sprzętu *VHDL* [8-10], którego polecenia interpretuje procesor *FPGA* z rodziny *Cyclone IV* firmy *Altera*. Drugi model - pojazd *B* działa autonomicznie. Dla tego pojazdu sekwencję ruchów zaprogramowano w języku *C*, przy czym algorytm sterowania został zaimplementowany w procesorze znajdującym się na platformie *Arduino Uno* zainstalowanej wewnątrz każdego modelu pojazdu. Modele pojazdów zostały dodatkowo wyposażone w sygnalizację świetlną (diody), dźwiękową (buzzery) oraz po 3 ultradźwiękowe czujniki odległości *HC-SR04*, które umożliwiają detekcję przeszkody. Modele poru-

szają się we wspólnej przestrzeni tak, aby unikać kolizji pomiędzy sobą oraz z innymi przeszkodami. Sekwencje ruchów oraz unikanie kolizji z przeszkodami przez obydwie modele są wykonywane niezależnie. W celu sprawdzenia działania czujników wykrywających przeszkody poruszają się one tak, aby pojawiły się sytuacje kolizyjne. Transmisję informacji zwrotnej o wystąpieniu przeszkody zrealizowano za pomocą uniwersalnej, czterokanałowej radiolinii, która składa się z nadajnika *MX804* i odbiornika *YK04*. Algorytm obsługi i sterowania detektorami odległości został opracowany w języku *C*. Również za wysłanie sygnału o pojawieniu się przeszkody do radiolinii kanału informacji zwrotnej, sygnalizację dźwiękową o detekcji przeszkody oraz obsługę oświetlenia odpowiada algorytm przygotowany w języku *C* i zaimplementowany w procesorze platformy *Arduino Uno*. Informacje o stanie obu modeli pojazdów są wyświetlane dodatkowo na monitorze *LCD* oraz wyświetlaczach 7-segmentowych dostępnych na platformie *DE2-115*.

2. BUDOWA MODELU AUTA

Jako obiekt sterowania zostały wykorzystane dwa modele aut *Mustang* sterowanych radiowo. Modele poruszają się we wspólnej przestrzeni, powinny unikać kolizji pomiędzy sobą oraz z innymi przeszkodami, np. ściany, meble. W celu uniknięcia kolizji modele zostały wyposażone w ultradźwiękowe czujniki, które umożliwiają wykrycie przeszkody. Każdy z modeli aut pierwotnie był wyposażony w radiowy nadajnik/odbiornik 27 MHz, w dwa silniki - jeden do ruchu przód/tył, drugi do ruchu prawo/lewo.

Dane techniczne modelu pojazdu:

- zasilanie pojazdu: 7,5 V DC (5x1,5 V baterie AA),
- masa pojazdu: 1 kg,
- silniki: 2xDC Motors $U_N=7,5$ V DC.

3. REALIZACJA PROJEKTU

Zaprojektowane specjalnie na potrzeby laboratorium Techniki Cyfrowej przykładowe cyfrowe sterowanie spełnia następujące założenia:

- ✓ do sterowania wykorzystano dwa modele pojazdów, platformy edukacyjne: *Arduino Uno* (dodatkowo zainstalowane wewnątrz pojazdu) oraz *DE2-115*,
- ✓ pojazd *A* jest sterowany zdalnie z zestawu *DE2-115*, algorytm sterowania został opracowany w języku *VHDL*

i zaimplementowany w procesorze *FPGA* z rodziny *Cyclone IV*,

- ✓ pojazd *B*, ze względu na ograniczenia związane z pracą układów radiowych, działa jako autonomiczny pojazd. Dla tego pojazdu sekwencję ruchów zaprogramowano w języku *C*, a algorytm sterowania zaimplementowano w procesorze znajdującym się w zestawie *Arduino Uno*,
- ✓ dla modelu *A* możliwy jest wybór rodzaju sterowania:
 - sterowanie kombinacyjne (ręczne) z wykorzystaniem przełączników zestawu *DE2-115*,
 - sterowanie sekwencyjne (automatyczne), dla którego model pojazdu wykonuje zaprogramowaną sekwencję ruchów, tj. kombinację ruchów prawo/lewo, przód/ tył),
- ✓ każdy model został wyposażony w czujniki zbliżenia do przeszkody, w przypadku wykrycia przeszkody model zatrzymuje się i następnie wykonuje manewr skrętu do tyłu. Manewr ten pozwala na uniknięcie zderzenia z przeszkodą oraz na zmianę, o kilka stopni, kierunku ruchu. Następnie pojazd wraca automatycznie do realizacji ruchów sterowania pierwotnego,
- ✓ dla sterowania automatycznego obydwie modele poruszają się niezależnie według określonych sekwencji ruchów, każde z nich inaczej tak, aby pojawiły się sytuacje kolizyjne,
- ✓ unikanie kolizji z przeszkodami przez obydwie modele są wykonywane niezależnie,
- ✓ wykorzystano wyświetlacz LCD oraz wyświetlacze 7-segmentowe, na których pojawiają się komunikaty zależne od ruchu pojazdu,
- ✓ każdy z modeli został dodatkowo wyposażony w sygnalizację świetlną w postaci 6 diod LED, tj. 2 białe diody z przodu, 2 czerwone i 2 białe z tyłu auta, do sterowania diodami wykorzystano sygnały z silników modelu,
 - w przypadku jazdy do przodu następuje zapalenie dwóch diod LED białych z przodu i dwóch czerwonych z tyłu auta. Diody te załączają się automatycznie po pierwszym rozruchu pojazdu, natomiast gasną w momencie kiedy pojazd zatrzymuje się,
 - w przypadku cofania w każdym z aut zapalają się dwie białe diody LED umieszczone z tyłu, które gasną po zatrzymaniu lub przejściu do ruchu w przód,
 - w trakcie realizacji ruchów przy skręcie w lewo lub w prawo, niezależnie czy pojazd jedzie do przodu czy do tyłu, diody LED jednej ze stron zaczynają pulsować. Natomiast z drugiej strony świecą światłem ciągłym. Pulsowanie jest dość częste (np. co 0,3 s) gdyż pojazdy realizują skręt w krótkim czasie,
- ✓ modele pojazdów zostały dodatkowo wyposażone w buzzer, który generuje krótki sygnał dźwiękowy w momencie, gdy jeden z czujników zlokalizuje przeszkodę.

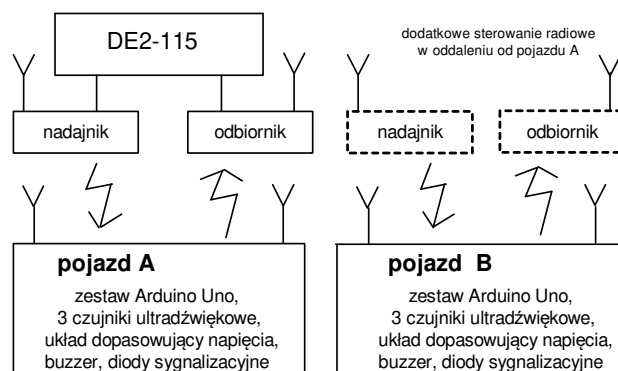
4. ROZBUDOWA I STEROWANIE MODELEM A

Dla modelu *A*, który jest sterowany zdalnie wykonano następującą rozbudowę i modyfikacje:

- montaż zestawu *Arduino Uno* na pokładzie pojazdu,
- montaż radiolinii kanału informacji zwrotnej o przeszkodzie,
- montaż trzech ultradźwiękowych czujników odległości, kolorowych diod LED, buzzera,
- zastosowano układy niezbędne do pobierania sygnałów i ich wysyłania (obwody dopasowujące – transoptory, rezystory),

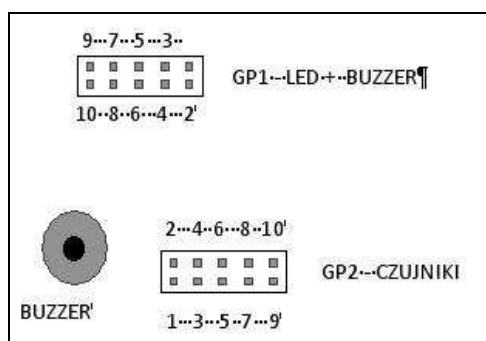
- modernizację oryginalnego nadajnika/sterownika ruchem pojazdu,
- budowa układu umożliwiającego wykorzystanie sygnałów gniazda GPIO (*JP5*) z zestawu *DE2-115* – w celu przekazywania sygnałów o detekcji przeszkody do odbiornika radiolinii informacji zwrotnej,
- przygotowanie oprogramowania w języku *VHDL*, dla platformy *DE2-115*, sterującego ruchem modelu,
- przygotowanie oprogramowania w języku *C*, dla platformy *Arduino*, obsługującego czujniki ultradźwiękowe, oświetlenie, sygnał dźwiękowy i transmisję informacji zwrotnej do radiolinii.

Schemat blokowy zbudowanego stanowiska laboratoryjnego został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego

W celu sterowania modelem niezbędne było skonstruowanie płytki pośredniej. Rozwiązanie techniczne związane z budową płytki połączeń pozwalana na swobodne rozłączanie dwóch części modelu pojazdu. Rozłączenie może nastąpić pomiędzy zabudową urządzeń zainstalowanych na podwoziu pojazdu oraz instalacją przewodową urządzeń wmontowanych w karoserię pojazdu. Przewody instalacji elektrycznej urządzeń zainstalowanych w karoserii pojazdu zostały zebrane na płytce i wyprowadzone na złącza wielopinowe GP1 i GP2 (rys. 2).



Rys. 2. Płytkę pośredniczącą połączeń wewnątrz pojazdu

4.1. Komunikacja poprzez USB z platformą Arduino

W celu skomunikowania modelu *A*, poprzez łącze USB, z zestawem *Arduino Uno* wykonano zabudowę gniazda USB umieszczonego w dodatkowym układzie zainstalowanym na dachu pojazdu. Jako sterownik ruchu wykorzystano oryginalny sterownik radiowy modelu *A*, w którym zrealizowano przedłużenie wiązki połączenia sterownik – gniazdo *JP4* na płytce *DE2-115*. Dodatkowy kabel wielożyłowy połączono i zaizolowano na końcach: z jednej strony łącząc wtyk wielo-

pinowy (14 pinów), a z drugiej strony do wewnętrznej instalacji w obudowie sterownika.

4.2. Radiolinia sygnalizacji detekcji przeszkody

Realizację kanału informacji zwrotnej o wystąpieniu przeszkody zrealizowano za pomocą uniwersalnej, cztero-kanałowej radiolinii. Zestaw taki wykorzystywany jest do sterowania napędami i automatyką, np. bram garażowych lub przesuwanych. Składa się on z nadajnika MX804 (rys. 3) i odbiornika YK04 (rys. 4) pracujących na częstotliwości 315 MHz.

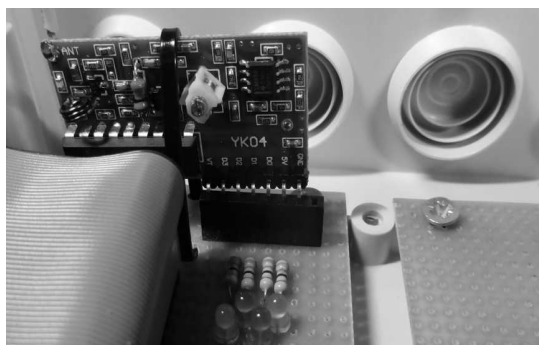


Rys. 3. Nadajnik kanału dla informacji o wykryciu przeszkody

Specyfikacja nadajnika i odbiornika radiolinii:

- **nadajnik MX804:** częstotliwość pracy 315 MHz, 4 przyciski, zasięg do 10 m, bateria L1028 – 2 A/12 V (zamontowana w pilocie), wymiary: 43x23x7 mm (bez złącz), układ scalony nadajnika PT2262,
- **odbiornik YK04:** częstotliwość pracy 315 MHz, napięcie zasilania 5 V, układ scalony odbiornika SC2272, wyjścia cyfrowe, wyprowadzenia dla 4 kanałów.

Odbiornik YK04 umieszczono w zbudowanym na potrzeby nowego stanowiska laboratoryjnego module, w którym wyprowadzono wszystkie sygnały z gniazda JP5 zestawu DE2-115. Zainstalowano uniwersalne płytki lutownicze, które w przyszłości umożliwiają wykorzystanie modułu do rozbudowy i modernizacji systemu sterowania (rys. 4). Odbiornik podłączono do pinów rozszerzenia gniazda JP5. Dodatkowo zainstalowane diody LED informują o pojawieniu się sygnałów na wyjściach poszczególnych kanałów informacji przekazywanych drogą radiową (rys. 4).

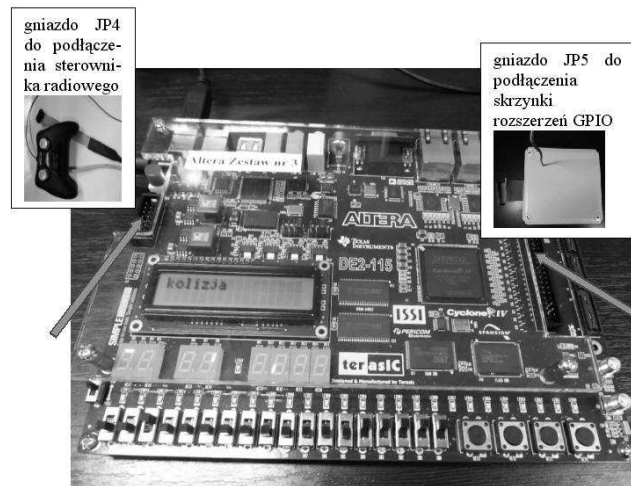


Rys. 4. Odbiornik radiolinii kanału dla informacji o wykryciu przeszkody zainstalowany w module rozszerzenia gniazda JP5

4.3. Podłączenie sterownika ruchu i radiolinii kanału zwrotnego do platformy DE2-115

Głównym elementem systemu sterowania pojazdami, a w szczególności modelem A, jest platforma DE2-115 (rys. 5). Poprzez wejścia i wyjścia płytki oraz przy wykorzystaniu

programu, realizowane jest sprzężenie zwrotne pomiędzy sterowaniem ruchem pojazdu, a sygnałem zwrotnym o napotkaniu przeszkody. Na wejścia JP5 zestawu DE2-115 zostały doprowadzone sygnały o detekcji przeszkody, natomiast na wyjściach JP4 pojawiają się sygnały dla sterownika radiowego ruchu pojazdu, które są zależne od stanu pracy, tj. realizacji określonych sekwencji ruchów, unikania kolizji z przeszkodą. Zbudowany moduł rozszerzeń sygnałów GPIO podłączono, poprzez wielożyłową taśmę przewodów, do gniazda JP5.



Rys. 5. Podłączenie sterownika ruchu i radiolinii kanału zwrotnego do zestawu DE2-115

4.4. Ultradźwiękowe detektory przeszkody

Jednym z głównych zadań związanych z modernizacją modeli było uruchomienie czujników do pomiaru odległości od przeszkody. Po przeprowadzeniu testów na różnych czujkach do realizacji wybrano ultradźwiękowe czujniki pomiaru odległości HC-SR04. Na każdym z pojazdów zamontowano po trzy komplety tych czujników (rys. 6). Jeden z nich dokonuje pomiaru przed pojazdem podczas jazdy w przód, natomiast dwa kolejne umieszczone na dachu modelu prowadzą obserwacje podczas jazdy w kierunkach: w przód - lewo oraz w przód - prawo.



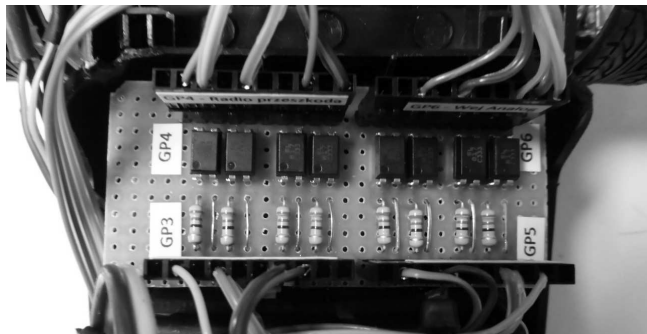
Rys. 6. Widok modelu pojazdu z trzema ultradźwiękowymi czujnikami odległości

4.5. Układ dopasowania napięciowego

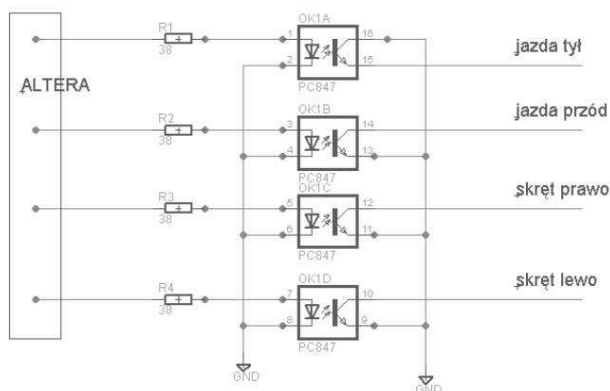
W celu umożliwienia połączenia pomiędzy układami zasilanymi różnymi wartościami napięć wykonano płytkę dopasowującą poziomy napięć (rys. 7). Do budowy tej płytki wykorzystano transoptory SL817C (rys. 8). Zasilanie LED transoptorów zrealizowano poprzez dopasowanie rezystora-

mi. W modelu *A* potrzeby dopasowania napięciowego sygnałów dotyczyły:

- połączenia wejść analogowych płytki *Arduino* (maksymalny sygnał +5 V DC) z sygnałami zasilania silników (napięcie 7,5 V DC),
- połączenia wyjść cyfrowych płytki *Arduino* (maksymalny sygnał około +5 V DC) z sygnałami podłączonymi do nadajnika MX804 radiolinii kanału informacji zwrotnej o przeszkodzie (napięcie 12 V DC).

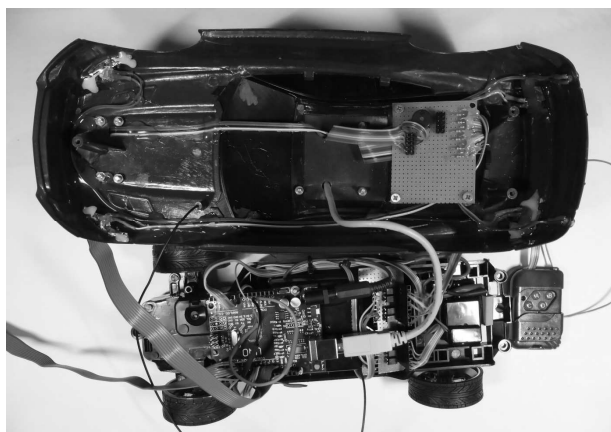


Rys. 7. Widok płytki dopasowującej



Rys. 8. Układ dopasowania napięciowego dla sygnałów odpowiedzialnych za wybór kierunku ruchu modelu pojazdu

Przeprowadzone prace modernizacyjne oraz rozbudowa modelu o instalację detektorów ultradźwiękowych odległości, zestaw sterowania *Arduino* oraz układ nadajnika i odbiornika radiowego pozwoliły na uruchomienie modelu pojazdu w trybie pracy sterowanej zdalnie poprzez fale radiowe (rys. 9).



Rys. 9. Widok modelu *A* po wykonanej modernizacji (podwozie i nadwozie przed złożeniem)

5. ROZBUDOWA I STEROWANIE MODELEM *B*

Dla modelu *B*, który jest modelem autonomicznym wykonano następującą rozbudowę i modyfikacje:

- montaż trzech kompletów ultradźwiękowych czujników odległości,
- montaż zestawu *Arduino Uno* na pokładzie pojazdu,
- zastosowanie układów niezbędnych do pobierania sygnałów i ich wysyłania (obwody dopasowujące),
- montaż kolorowych diod sygnalizacyjnych LED, buzzer, a,
- modernizację oryginalnego nadajnika / sterownika ruchem pojazdu,
- sterowanie pracą silników modelu poprzez zastosowanie układu scalonego L293D, który realizuje sterowanie napędami w trybie PWM,
- opracowanie i uruchomienie oprogramowania w języku *C* dla zestawu *Arduino*, która obsługuje czujniki ultradźwiękowe, diody LED, sygnalizację dźwiękową, jest także odpowiedzialna za ruch modelu zgodnie z określoną sekwencją, realizuje zadanie unikania kolizji z przeszkodami.

Wykonane instalacje, montaż urządzeń i zestawu *Arduino*, sygnalizacji świetlnej oraz buzzer, w modelu *B* jest identyczne jak w modelu *A*. Jedyne różnice jakie występują są związane z innym wyposażeniem modelu ze względu na realizację trybu pracy autonomicznej. Również zabudowa i podłączenie ultradźwiękowych detektorów odległości HC-SR04 oraz zabudowa i komunikacja z zestawem *Arduino* w modelu *B* jest wykonana tak samo jak dla modelu *A*. Do komunikacji pomiędzy komputerem a modelem wykorzystano złącze USB.

5.1. Włącznik pracy w trybie autonomicznym

Ze względu na zakłócanie się radiolinii i brak możliwości oddzielnego sterowania pojazdami w jednym czasie, prace nad modelem *B* skoncentrowano na uzyskaniu funkcjonalności dla tego modelu jako pojazdu pracującego w trybie autonomicznym.

W celu uzyskania funkcji ruchu autonomicznego należy:

- oryginalny fabryczny włącznik zainstalowany w podwoziu pojazdu ustawić w pozycji OFF,
- włącznik pracy autonomicznej, zainstalowany od spodu układu umocowanego do dachu pojazdu, przesunąć w kierunku do przodu pojazdu. Wyłączenie trybu pracy autonomicznej następuje po przełączeniu włącznika w kierunku tyłu pojazdu.

5.2. Sterownik ruchu modelu *B*

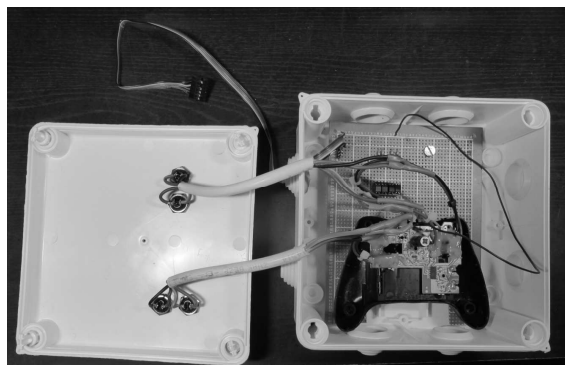
W ramach rozbudowy modelu *B* zbudowano moduł umożliwiający ręczne sterowanie pojazdem (rys. 10). Było ono niezbędne między innymi podczas testowania funkcjonowania napędów modelu. Dodatkowo możliwość sterowania ręcznego pozwala na kontynuację rozbudowy modelu w zakresie innym niż zaproponowany w obecnej modernizacji. Istnieje możliwość sterowania ręcznego, dzięki czterem przyciskom, dla kierunku: w przód, w tył oraz dla skrętu kół w lewo i w prawo.

5.3. Sterowanie silnikami modelu *B*

Model *B* został także wyposażony w układ zbudowany na tranzystorach SL817C, którego rolą jest dopasowanie napięć. W opisywanej wersji sterowania nie jest on wykorzystywany, stanowi jedynie możliwość przyszłej rozbudowy funkcjonalności pojazdu. Dodatkowo na płycie zainsta-

lowano układ L293D, który wykorzystano do sterowania dwoma silnikami w trybie PWM. Układ ten oddziela część obwodu cyfrowego, zasilonego napięciem +5 V DC, od części obwodu zasilania silników, w których płyną większe prądy obciążeniowe i występują wyższe napięcia zasilania.

Przeprowadzone prace modernizacyjne oraz rozbudowa modelu o instalację detektorów ultradźwiękowych odległości, płytkę sterowania *Arduino* oraz układ sterowania PWM silnikami napędu i skrętu kół pozwoliło na uruchomienie modelu *B* w trybie pracy autonomicznej.



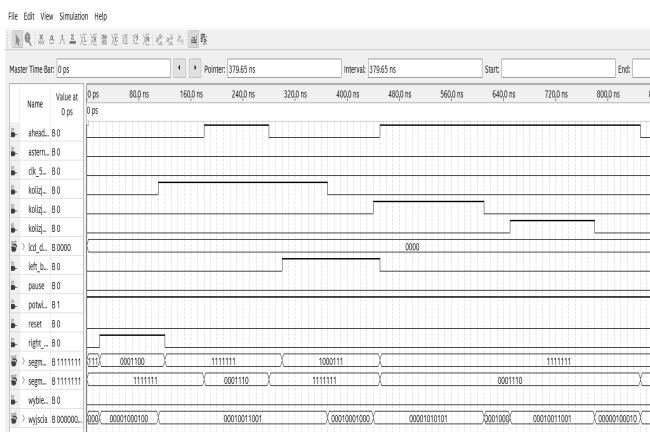
Rys. 10. Widok wnętrza modułu sterowania radiowego modelu *B*

6. OPROGRAMOWANIE

6.1. Program sterujący dla modelu *A* w języku VHDL

Algorytm sterowania modelem pojazdu *Mustang A* został opracowany w edytorze tekstowym języka opisu sprzętu *VHDL* w środowisku Quartus. Opracowane i przetestowane oprogramowanie zawiera liczne komentarze, które ułatwiają jego analizę. Możliwe jest sterowanie ręczne (kombinacyjne) oraz automatyczne (sekwencyjne) modelem pojazdu.

Przykładowe uzyskane przebiegi czasowe dla opracowanego algorytmu cyfrowego sterowania modelem pojazdu zostały przedstawione na rysunku 11.



Rys. 11. Przykładowe przebiegi czasowe

6.2. Program sterujący dla modeli *A* i *B* w języku *C*

Program sterujący dla modelu *Mustang A* i *B* został również opracowany w języku *C* i zaimplementowany w procesorze zestawu *Arduino*. Podstawowe zadania jakie spełnia program to:

- obsługa trzech ultradźwiękowych detektorów odległości HC-SR04,
- detekcja przeszkody z określonych odległości od modelu pojazdu,

- wysłanie sygnału o pojawieniu się przeszkody do radio linii kanału informacji zwrotnej (3 kanały z 4),
- sygnalizacja dźwiękowa wykrycia przeszkody przez którykolwiek z czujników,
- sterowanie światłami sygnalizacyjnymi.

Opracowane i uruchomione wzorcowe programy cyfrowego sterowania, w języku *VHDL* i *C*, modelami obu pojazdów są dostępne w wersji elektronicznej w laboratorium Techniki Cyfrowej.

7. ZAKOŃCZENIE

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest zapoznanie studentów z zasadami tworzenia, testowania oraz implementacji algorytmów cyfrowego sterowania z wykorzystaniem środowiska Quartus i edytora tekstowego oraz edytora przebiegów czasowych. W czasie zajęć studenci zapoznają się z wzorcowym oprogramowaniem. Ponadto modyfikują program, przykładowo w celu uwzględnienia możliwości wystąpienia fałszywych sygnałów, wyświetlenia dodatkowych informacji na LCD, wyświetlaczach 7-segmentowych. Projektują także sterowanie sekwencyjne wskazane przez prowadzącego zajęcia, własne sterowanie kombinacyjne dla wszystkich możliwych ruchów pojazdu.

Podczas przygotowania i uruchamiania opisywanego stanowiska laboratoryjnego i badawczego szczególne trudności były związane z działaniem ultradźwiękowych czujników odległości. Przekazywane przez czujniki wyniki pomiarów nie zawsze pokrywały się z rzeczywistą sytuacją. Przeprowadzone testy umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- podczas zasilania modelu, poprzez gniazdo USB z komputera, silniki nie funkcjonują, co powoduje prawdopodobnie mniejsze zakłócenia przekazywane do zasilania. W tym momencie czujniki ultradźwiękowe działają poprawnie generując sygnał o przeszkodzie w momencie faktycznego wystąpienia przeszkody. Fałszywe sygnały o przeszkodzie pojawiały się rzadko,
- w chwilach, gdy odłączamy zasilanie poprzez kabel USB z komputera i załączamy zasilanie z baterii zainstalowanych w modelu następuje wzmożone generowanie fałszywych sygnałów o przeszkodzie. Uruchomione są wtedy też silniki, przy czym w chwili pojawienia się przeszkody reakcja jest prawidłowa. Sytuacja poprawia się gdy „podniesiemy” pojazd, wówczas model pracuje według założonych sekwencji. Wówczas też częstotliwość pojawiania się fałszywych sygnałów o przeszkodzie znacznie spada.

Prawdopodobnie czujniki są nieodporne na zakłócenia, które może powodować praca silników DC. Testy czujników prowadzone na uniwersalnym zestawie *Arduino* nie wykazały fałszywych sygnałów, a jedynie opóźnienie w ich podawaniu. Dla poprawy tej sytuacji niezbędne jest przeprowadzenie prób z innymi czujnikami pomiaru odległości lub prowadzenie testów i prób odciążenia obwodów. Drugą możliwością jest przeprowadzenie innej obróbki sygnałów uzyskanych z czujników, wówczas w oprogramowaniu należy uwzględnić możliwość wystąpienia fałszywych sygnałów.

Ocena poprawności działania algorytmu cyfrowego sterowania została przeprowadzona w oparciu o analizę i obserwację reakcji modeli pojazdów na polecenia wydawane ręcznie z przełączników zestawu DE2_115 lub na podstawie sterowania automatycznego.

Zagadnienia związane z działaniem czujników odległości oraz poprawą algorytmu sterowania są tematem dalszych

badan, nadal sà prowadzone prace w celu poprawy funkcjonalnoœci prezentowanego stanowiska laboratoryjnego. Miêdzy innymi prowadzone sà badania trajektorii ruchu i przebiegów sygnałów sterujàcych, które wystêpujà przy detekcji przeszkody.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Noga K. M.: Nowe stanowiska dydaktyczne do nauki cyfrowego sterowania z wykorzystaniem układow programowalnych, ZN WEiA PG, Nr 30, 2011, s. 93–96, ISSN 1425-5766
2. Noga K.M.: Cyfrowe sterowanie z zastosowaniem układow programowalnych, ZN WEiA PG, Nr 40, 2014, s. 73-76, ISSN 2353-1290
3. Noga K.M.: Modele sterowane cyfrowo, ZN WEiA PG, Nr 46, 2015, s. 81-84, ISSN 2353-1290
4. Noga K. M.: Wykorzystanie robota humanoidalnego ROBOWISDOM w dydaktyce techniki cyfrowej, ZN WEiA PG, Nr 51, 2016, str. 127-130, ISSN 2353-1290
5. Noga K. M., Radwański M.: Modern improvements in the digital logic laboratory, Technological Developments in Networking, Education and Automation, edited by M. Iskander, USA, Springer 2010, pp 109-114, ISBN 978-90-481-9150-5 (HB)
6. Hajdel J, Piotrowski G., Borycki D., Boczkowski W., Czułado A.: Projekt sterowania kombinacyjnego i sekwencyjnego dwóch modeli samochodów za pomocą języków VHDL oraz C z wykorzystaniem płytek programowalnych DE2-115 oraz Arduino Uno, sprawozdanie z zajęć laboratoryjnych, MSU, AM, 2016
7. <https://www.arduino.cc>
8. Zwoliński M.: Projektowanie układow cyfrowych z wykorzystaniem języka VHDL, WKiŁ, Warszawa 2002
9. Zbysiński P, Pasierbiński J.: Układy programowalne, pierwsze kroki, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004
10. Tertulien Ndjountche : Digital Electronics 3 Finite State Machines, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., Wielka Brytania, 2016

THE USE OF PLATFORMS ARDUINO UNO AND DE2-115 FOR CONTROLLING OF THE MODELS OF CARS

The article presents a new research and teaching laboratory stand consists a set of two appropriately modernized radio-controlled models of cars. These models of cars have been additionally equipped with lighting - LEDs, buzzers and three ultrasonic distance sensors HC-SR04, which enable detection of a hindrance. Models move in a common space to avoid collisions between themselves and other hindrances. The exemplary digital controlling using the DE2-115 and Arduino Uno platforms are specially designed for the needs of the Digital Technique laboratory.

Keywords: digital technique, didactics, digital control, programmable circuits, FPGA, VHDL equipment description language.