

System regulacji kąta natarcia płata żaglowego

Marcin Jodkowski, Wojciech Wiśniewski, mgr Maciej Mikulski
– Koło Naukowe Mechatroniki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

W e współczesnej elektronice statkowej stosuje się wiele urządzeń, które wspomagają i ułatwiają pracę załogi, m.in. autopilot, echosonda, stacja pogodowa, żyrokompas. Niestety, każde z tych urządzeń potrzebuje osoby nadzorującej jego pracę. Podczas tradycyjnego żeglowania sternik obciążony jest dużą liczbą czynności manualnych – począwszy od utrzymywania kierunku w czasie manewru sterem, skończywszy na wyborze manewru przy zmianie halsu. Wraz z rozwojem techniki pojawił się pomysł, aby pracę sternika wspomóc systemem regulacji kąta natarcia płata żaglowego regulującego kąt pomiędzy linią ustawienia żagla, a linią wiatru rzeczywistego. Dzięki tej operacji żaglowka, nie wymagając ingerencji ludzkiej, utrzymywałaby optymalną wartość wypadkowej siły aerodynamicznej. Realizacja takiego systemu na żaglowce nie powinna wymagać dużych nakładów finansowych ani modyfikacji, zaś jej montaż i demontaż nie sprawiłby problemów początkującemu żeglarzowi, a cóż dopiero osobie o większym doświadczeniu.

Systemy regulacji kąta natarcia płata żaglowego już istnieją, lecz są realizowane tylko na specjalnie zaprojektowane jednostki pływające, natomiast ich możliwości adaptacyjne są znacznie ograniczone. Planowany system wyróżnia się spośród istniejących tym, że jest w pełni zautomatyzowany oraz możliwy do aplikacji na dowolnym jachcie. Jednak najważniejszym aspektem założonej koncepcji jest bezpieczeństwo – urządzenie nie może stwarzać zagrożenia utraty zdrowia czy życia. Kolejnym niewątpliwym atutem jest prostota obsługi i eksploatacji, co wiąże się z możliwością adaptacji systemu dla jednostek szkoleniowych. Przedstawienie założeń projektu wymaga omówienia podstawowych zagadnień teorii jachtu żaglowego.

Siła aerodynamiczna a poprawne ustawienie żagla

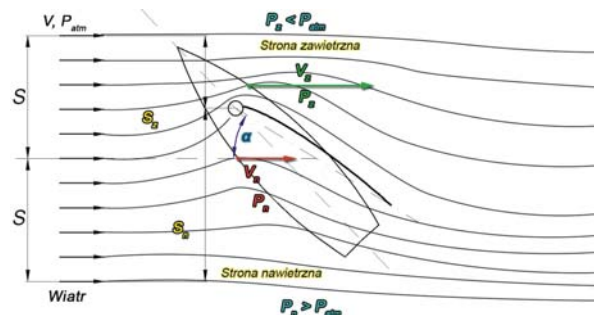
Żagle wytwarzają siłę niezbędną do poruszania jachtu dzięki różnicy ciśnień, jaka powstaje po obu jego stronach w wyniku oddziaływania wiatru. Przy poprawnym ustawieniu płata po stronie zawiętrznej powstaje silny spadek ciśnienia na skutek wzrostu prędkości przepływu wzdłuż zewnętrznej krawędzi profilu (wynika z prawa zachowania masy, ciągłości strugi i równania Bernoulliego) [5]. Analogicznie, niewielki lokalny spadek prędkości po stronie nawietrznej wywołuje wzrost ciśnienia w tym rejonie. Różnica ciśnień oddziałująca na element powierzchni płata żaglowego powoduje powstanie na nim siły o kierunku normalnym do jego powierzchni w każdym punkcie żagla:

$$d\vec{F}_i = \Delta p_i d\vec{s}_i$$

gdzie siła $d\vec{F}_i$ wytwarzana na elemencie; $d\vec{s}_i$ – skierowany element powierzchni (o kierunku normalnym do powierzchni w punkcie i); Δp_i jest różnicą ciśnień między stroną zawiętrznią i nawietrzną żagla w punkcie. Siły wytwarzane wzdłuż całej powierzchni żagla mogą być przedstawione jako tzw. wypadkowa (suma wektorowa) siła aerodynamiczna, zaczepiona w punkcie zwanym środkiem ożaglowa-

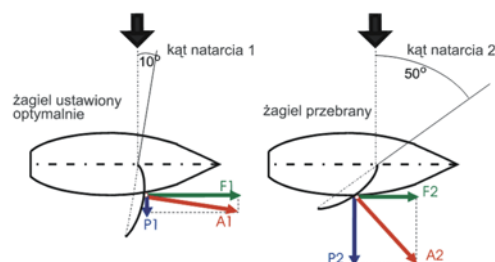
nia. W przybliżeniu może być zobrazowana jako wektor prostopadły do cięciwy żagla (rys. 1).

Badania dowodzą, że maksimum siły aerodynamicznej uzyskuje żagiel ustawiony w granicach od 8 do 15° do kierunku wiatru pozornego [1]. Wartość kąta natarcia odpowiadająca maksimum siły aerodynamicznej zależy od sprawności aerodynamicznej żagla (a zatem im mniejsza wartość, tym żagiel jest bardziej sprawny aerodynamicznie). Zmniejszenie kąta natarcia poniżej tej wartości powoduje drastyczny spadek siły aerodynamicznej – żagiel zaczyna łopotać. Zwiększanie kąta natarcia przez wybieranie szotów, powoduje stopniowy spadek siły aerodynamicznej spowodowany zjawiskiem przepływu turbulentnego i oderwania strugi. Pojawienie się turbulencji po zawiętrznej stronie żagla prowadzi do dyssypacji energii i redukcji podciśnienia.



Rys. 1. Rozkład ciśnień oraz prędkości działających na jacht podczas żeglugi. P_z – ciśnienie powietrza po stronie zawiętrznej, P_n – ciśnienie powietrza po stronie nawietrznej, V_n – prędkość powietrza po stronie nawietrznej, V_z – prędkość powietrza po stronie zawiętrznej, S – początkowe pole przekroju, S_z – pole przekroju po stronie zawiętrznej, S_n – pole przekroju po stronie nawietrznej, α – kąt między linią wiatru a ustawieniem żagla, F_a – wypadkowa siła aerodynamiczna

Siłę aerodynamiczną można rozłożyć na dwie składowe zgodnie z osią symetrii jachtu [6]. W praktyce efektywne żeglowanie sprowadza się nie tyle do maksymalizacji samej siły aerodynamicznej, ile do powiększania jej składowej równoległej do osi jachtu – tzw. siły ciągu. W konsekwencji im większa siła ciągu, tym większa prędkość jachtu. Przy stałej sile aerodynamicznej siła ciągu będzie największa w przypadku ustawienia żagla jak najbliższej płaszczyzny prostopadłej do osi symetrii jachtu (rys. 2). Takie ustawienie minimalizuje również siłę przechylającą, co zwiększa komfort i bezpieczeństwo żeglugi.



Rys. 2. Siły działające na jacht podczas żeglugi. P_1, P_2 – siły przechylające; F_1, F_2 – siły ciągu; A_1, A_2 – wypadkowe siły aerodynamiczne

Założenia projektu

Uwzględniając przedstawione argumenty można założyć, że projektowany system powinien utrzymywać kąt natarcia w granicy 10° w przypadku kursów ostrych. Z uwagi na to, że maksymalny kąt wychylenia płata żaglowego jest ograniczony (w przypadku żagli przymasztywanych) przez konstrukcję jachtu, na kursach pełnych utrzymanie zadanego kąta natarcia staje się niemożliwe. Po osiągnięciu maksymalnego wychylenia płata żaglowego system powinien go utrzymywać dla większych wartości kąta natarcia.

Kąt natarcia może ulegać zmianie w trakcie żeglugi w wyniku zmiany kierunku wiatru rzeczywistego lub zmiany kursu i prędkości jachtu. Jeżeli jacht utrzymywany jest na stałym kursie przez urządzenie samosterujące (autopilot, samoster wiatrowy), system powinien reagować dynamicznie na zmienne warunki, zapewniając optymalne parametry ustawienia żagla. Z drugiej strony system może pełnić funkcję automatycznego załoganta, wspomagając sternika podczas wykonywania manewru zmiany kursu.

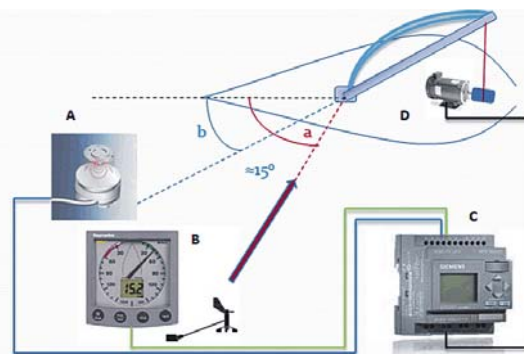
Z kolei w przypadku żeglugi na dużej fali jacht poddawany jest silnym kołysaniom wzdłużnym i poprzecznym. Takie zachowanie będzie powodowało, że żagiel poruszający się względem powietrza będzie wytwarzać tak zwany wiatr własny zmienny zgodnie z charakterystyką kołysań. W efekcie żagiel będzie pracował w warunkach zmiennego wiatru pozornego (wypadkowa wiatru własnego i rzeczywistego), a więc także kąt natarcia będzie zmieniał się dynamicznie w zakresie nawet do 10° . Wymaganie, aby w takich warunkach system zapewniał nadążną regulację kąta natarcia, prowadziłoby do bardzo dużego wzrostu zużycia energii. W strukturze programu sterującego należy więc przewidzieć odpowiednie rozwiązanie tego problemu.

Projektowany układ, jako nowoczesny system jachtowy, musi spełniać wymagania odnośnie zużycia energii, wodoszczelności i bezpieczeństwa. Z założeń wynika iż obudowa systemu powinna posiadać stopień ochrony IP (*International Protection Rating*) nie mniejszy niż IP66, gdyż narażona będzie na działania silnego strumienia wody lub zalewaniem falą z różnych kierunków. Układ zostanie zasilony z dwóch równoległe połączonych akumulatorów, dając większą pojemność, a co za tym idzie dłuższy czas pracy. Z badań wynika, że akumulator o napięciu znamionowe 12 V i pojemności równej 72 Ah będzie odpowiedni (założenie pesymistyczne), ładowanie następować będzie po 8 godzinach ciągłej pracy. System wyposażony zostanie w układy samoregulacji poboru mocy oraz czujniki przeciążeniowe poprawiające bezpieczeństwo pracy.

Zasady działania i schemat ideowy układu

Sygnal niosący informację o kierunku i sile wiatru dostarczany ze stacji pogodowej (B), w postaci analogowej przekazywany jest do sterownika PLC (Programmable Logic Controller) (rys. 3 – D). Do sterownika dociera także sygnał analogowy z sensora pomiaru kąta (A) informujący o kącie między osią jachtu a położeniem bomu. Po wykonaniu programu realizującego funkcję odejmowania kątów a-b, sterownik wysyła sygnał sterujący silnikiem DC tak, aby różnica kątów a-b wyniosła mniej niż 15° .

Sensor pomiaru kąta to czujnik wykorzystujący zjawisko rezystywności własnej. Wraz ze zmianą położenia czujnika



Rys. 3. Uproszczony schemat ideowy układu. A – Sensor położenia bomu, B – Sensor kierunku i siły wiatru, C – Sterownik (PLC), D – urządzenie wykonawcze (silnik DC), a – kąt między osią jachtu a kierunkiem wiatru, b – kąt między osią jachtu a borem

zmienia się jego rezystancja wewnętrzna [3], działa jak potencjometr obrotowy. Odpowiednio wyskalowane napięcie wyjściowe w stopniach odzwierciedla dokładne położenie bomu.

Stacja pogodowa, mierząc kierunek oraz siłę wiatru, dostarcza sygnał oscylujący w pewnych granicach. W praktyce kierunek oraz siła wiatru nie jest nigdy stabilna, więc układ musi posiadać opóźnienie oraz granicę błędów ustaloną tak, aby nie reagował na częste małe wahania zmian kierunku wiatru. Stacja nadaje sygnał analogowy wyskalowany w stopniach, określając kąt między osią jachtu a kierunkiem wiatru [3].

Sterownik PLC LOGO! [2] to uniwersalny sterownik logiczny opracowany przez firmę Siemens. Łączy w sobie następujące elementy i funkcje: elementy sterowania, panel sterowniczy i podświetlany ekran, zasilacz, interfejs umożliwiający dołączanie modułów zewnętrznych, interfejs umożliwiający dołączenie modułu pamięciowego (Card) i kabla połączeniowego do PC, binarne i analogowe znaczniki stanu, wejścia i wyjścia w zależności od typu urządzenia i wiele innych. LOGO! przy pomocy zaprojektowanego programu analizuje dane w czasie rzeczywistym.

Układ składa się z trzech elementów sensorycznych (stacja pogodowa, sensor pomiaru kąta, sterownik PLC) i jednego elementu wykonawczego (silnik prądu stałego). Każde z wymienionych urządzeń posiada napięcie znamionowe 12 V prądu stałego - jest to bezpieczne napięcie najczęściej stosowane na jednostkach pływających.

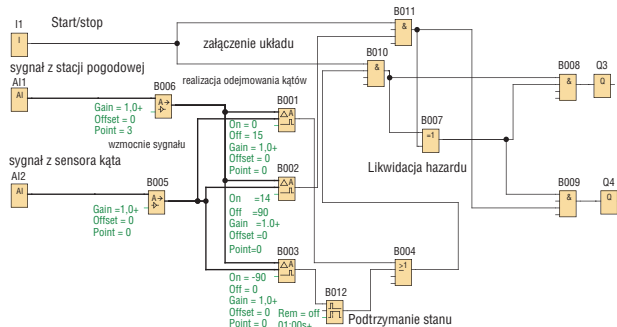
Silnik prądu ma możliwość pracy w obu kierunkach bez montażu skomplikowanych układów regulacji kierunków obrotów. Regulacja prędkości obrotowej realizowana jest przy pomocy zmiany wartości napięcia zasilania. Uzyskanie dużego momentu obrotowego potrzebnego do płynnej pracy umożliwia wbudowana przekładnia planetarna. Dzięki zastosowaniu przekładni, moc silnika wymagana do prawidłowego działania zespołu jest mniejsza i, co za tym idzie, zmniejsza się wartość natężenia prądu pobieranego z akumulatorów. Możliwość uszkodzenia silnika podczas pracy poprzez wilgoć panującą na pokładzie szacowana jest na nieznaczną, gdyż tego typu silniki posiadają stopień ochrony IP [7] pozwalający na pracę silnika przy krótkotrwałym zanurzeniu. Przeniesienie napędu z silnika na ruch bomu zostanie zrealizowane przy pomocy już istniejących na jachcie układów bloczków.

Układ zasilający składa się z dwóch akumulatorów 12 V DC połączonych równoległe, dając dzięki temu większą pojemność elektryczną, a także pozwalającą na dłuższą pracę systemu bez potrzeby ładowania akumulatorów.

Program sterujący

W obecnej fazie projektu przygotowany został uproszczony prototyp programu sterującego, którego zadaniem jest regulacja kąta natarcia w żegludze zadanym halssem. Program nie uwzględnia procedur reakcji na zmianę halsu. Do zaimplementowania pozostają także algorytmy zabezpieczeń.

Struktura programu sterującego układem, zbudowana w języku FBD (*Function Block Diagram*), przedstawiona jest na schemacie (rys. 4.).



Rys. 4. Schemat programu sterującego pracą systemu – wersja prototypowa

Program poprzez analizę wejściowego sygnału analogowego steruje pracą silnika. Układ posiada dwa wejścia analogowe (AI1, AI2) [3], do których docierają sygnały ze stacji pogodowej i sensora pomiaru położenie kąтового. Oba sygnały doprowadzane są do wzmacniaczy analogowych celem wyskalowania i wzmocnienia sygnału (B005; B006). Sygnały, po przejściu przez wzmacniacze, doprowadzane są do komparatorów analogowych, gdzie następuje realizacja odejmowania kątów (rys. 3.) W komparatorach następuje porównanie sygnałów ze stacji oraz z sensora kąta. Komparator (B001) pozwala na przejście sygnału, gdy różnica sygnałów wejściowych nie przekroczy przedziału $\{a-b=(0^{\circ}-15^{\circ})\}$. Odpowiada to sytuacji, w której żagiel należy luzować tzn. kąt pomiędzy bomem a osią jachtu i kąt pomiędzy linią wiatru i osią jachtu nie przyjmuje optymalnej wartości 15° . Gdy dany kąt znajdzie się w przedziale $[a-b=(15^{\circ}-90^{\circ})]$, uruchamia się komparator (B002), który realizuje funkcję wybierania żagla tak, aby różnica kątów wyniosła żądane 15° . Kolejny komparator (B003) działa, gdy zadany kąt posiada wartość ujemną $\{a-b=(-c)\}$. Podczas żeglugi taka sytuacja występuje, gdy żagiel łopocze bądź znajduje się w linii wiatru $\{a-b=(-b)$, gdyż $a \approx 0\}$.

Program rozpocznie pracę, gdy na wejściu cyfrowym (I1) pojawi się stan wysoki (logiczna 1). Ponieważ wszystkie sygnały wydostające się w komparatorów umieszczane są w bramkach AND (B010, B011). Komparator (B003) połączony został z blokiem powodując opóźnienie wyłączenia (OFF-Delay) (B012) w celu uniknięcia zaniku ciągłości sygnału luzującego

żagiel. Bloki (B012) i (B001) połączono z bramką OR (B004) sumującą wartości logiczną sygnałów a wyjście doprowadzono do (B010). Wyjścia z bramek B010, B011 połączone zostały z bramką XOR (B007) w celu wyeliminowania hazardu (stanów nie ustalonych) [4]. Sygnały z bloków B011, B010, B007 zostają rozgałęzione i doprowadzone do bramek AND (B008, B009) blokując wyjście sygnału, gdy na wejściach bloku B007 pojawią się dwie 1 logiczne. Na wyjściach (Q3) i (Q4) następuje zmiana kierunku pracy silnika.

Podsumowanie

System regulacji kąta natarcia płata żaglowego jest układem o bardzo prostej konstrukcji oraz zasadzie działania, co przyczynia się do atrakcyjności projektu. Jego zastosowanie nie ogranicza się jednak do nowo budowanych jachtów, ale także do jachtów już istniejących, dlatego też dalsze badania nad rozwojem i możliwością adaptacji systemu regulacji kąta natarcia płata żaglowego są jak najbardziej wskazane. W ramach dalszych badań przeprowadzonych przez koło naukowe mechatroniki na UWM, przeprowadzone zostaną testy prototypu systemu - działania programu sterującego, jak i efektywności elementów sensorycznych i wykonawczych. Testy zostaną przeprowadzone na dużym jachcie turystycznym klasy Phobos 29. Efektem dalszej pracy będzie rozszerzenie funkcjonalności systemu o algorytmy związane z obsługą trudnych manewrów podczas żeglugi oraz integracja systemu ze standardem NMEA 2000 (*National Marine Electronics Association*) [8, 9].

Literatura

1. Marchaj Cz.: *Teoria żeglowania. Aerodynamika żagla*. Wydawnictwo Alma-Press. Warszawa 2009 (wydanie 6).
2. [www.siemens.pl/logo]: *LOGO! Podręcznik* (Wydanie 9), Warszawa 2009.
3. Kalisz J.: *Podstawy elektroniki cyfrowej*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ. Warszawa 2003.
4. Wilkinson B.: *Układy cyfrowe*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ. Warszawa 2003.
5. Klugiewicz J.: *Mechanika płynów*. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego. Bydgoszcz 2007.
6. Haber F.: *Podręcznik żeglarza i sternika jachtowego*. Wydawca Wielki Błękit. Warszawa 2009.
7. PN-EN 50173-1:2004: *Zgodność stopnia ochrony IP*. Polskie Normy PN. Warszawa 2004.
8. Cassidy F.: *NMEA 2000 Explained – The latest word*. Marine Electronics. 1999.
9. Pięta A., Mikulski M.: *Adaptacja sieci CAN BUS do zastosowań w systemach elektronicznych jednostek pływających*. Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie. ■

Koło Naukowe Mechatroniki powstało na Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w 2009 r. przy Katedrze Mechatroniki. Obecnie w kole pracuje 13 studentów. Jesteśmy młodą organizacją, lecz staramy się działać aktywnie. Głównym obszarem zainteresowania członków jest mechatronika i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w życie. Obecnie pracujemy nad trzema projektami:

1. System regulacji kąta natarcia płata żaglowego
2. Robot alpinista
3. Robot do walk sumo

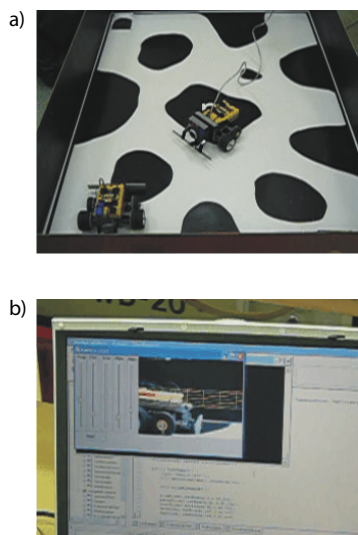
Opiekunem koła jest mgr Maciej Mikulski z Katedry Mechatroniki.

Dane kontaktowe:

Uniwersytet Warmińsko Mazurski, Wydział Nauk Technicznych,
Katedra Mechatroniki
10-710 Olsztyn, ul. Słoneczna 46A
<http://www.uwm.edu.pl/wnt/mechatronika>

Osoba do korespondencji:

Prezes: Marcin Jodkowski
marcinjodkowski@wp.pl

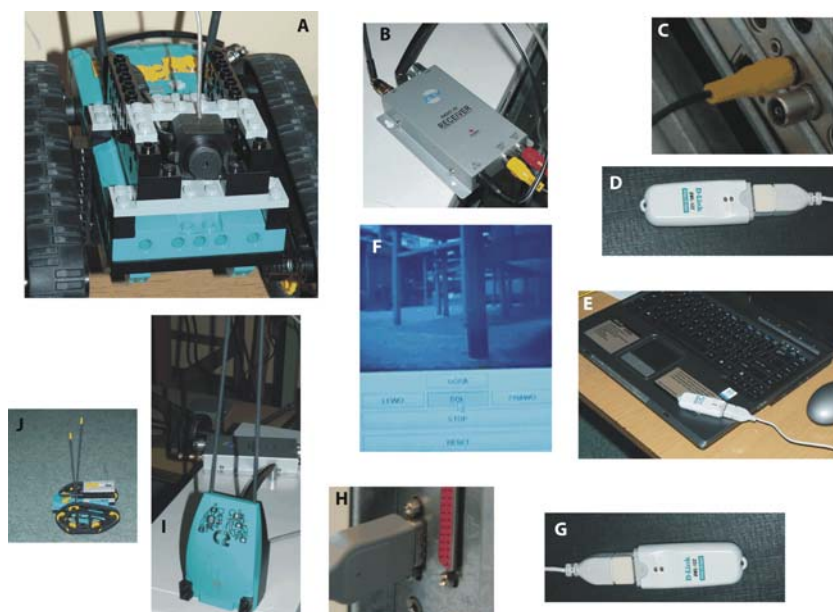


Rys. 3. Zabawa robotów w kota i mysz z wykorzystaniem kamery (a), obraz z kamery wraz z zaznaczonym na czerwono fragmentem obrazu najbardziej zbliżonym do koloru żółtego (b)

Zabawa kończyła się w momencie zetknięcia się obu robotów. Do realizacji tego zadania wykorzystano bibliotekę Java Media Framework [11], pozwalającą na odtwarzanie i przetwarzanie multimediów. Lokalizacja położenia robota-myszy była określana po analizie obrazu z kamery i określeniu jego fragmentu najbardziej zbliżonego do koloru żółtego (roboty LEGO RCX mają jednostki centralne umieszczone w żółtej obudowie). Dla ułatwienia procesu analizy, na planszy, po której poruszały się roboty, przygotowano specjalne bandy w kolorze czarnym,



Rys. 4. Zabawa robotów w kotka i myszkę – II Opolski Festiwal Nauki (zdjęcie Sławoj Dubiel)

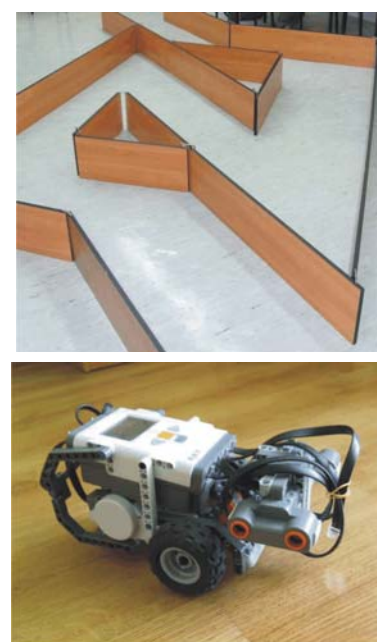


Rys. 5. Robot-penetrator – elementy aplikacji: A – robot Cybermaster z kamerą bezprzewodową, B – odbiornik sygnału wizyjnego, C – wejście tunera TV w komputerze bazowym, D- D-Link Air DWL-122 WiFi Bezprzewodowa karta USB, za pomocą której przekazywany jest strumień wideo do drugiego komputera, E – odbiorcza karta WiFi odbierająca strumień wideo, F – obraz z kamery bezprzewodowej na laptopie z możliwością sterowania ruchem robota, G – przekazywanie sygnałów sterujących poprzez WiFi do komputera bazowego, H – wysyłanie sygnałów sterujących łączem COM do nadajnika komend (1), J – przemieszczający się robot Cybermaster

by żółty kolor obudowy robota-myszy był wyraźnie widoczny. Aplikacja ta spotkała się z dużym zainteresowaniem podczas II Festiwalu Nauki w Opolu we wrześniu 2004 r. (rys. 4).

Kolejną aplikacją przygotowaną dla robotów LEGO w języku Java był program oko-kota. Aplikacja ta, pozwala na penetrowanie terenu za pomocą robota LEGO wyposażonego w kamerę. Na ekranie monitora wyświetlany jest obraz z kamery (rys. 5F), a sterowanie robotem odbywa się za pomocą klawiszy. W projekcie wykorzystano kamerę LEGO, która przekazuje obraz do komputera za pomocą kabla USB. Stanowiło to oczywistą niewygodę i powodowało ograniczenia co do zasięgu ruchu robota. Ograniczenie to pokonano w aplikacji [7], stosując robot LEGO Cybermaster sterowany za pomocą fal radiowych oraz umieszczoną na nim kamerą bezprzewodową pracującą w paśmie 1,2 GHz. Dzięki temu ominięto ograniczenia poprzednich aplikacji wynikające z faktu wykorzystywania w nich kamery przewodowej i robotów sterowanych za pomocą sygnałów w podczerwieni (IR). Na rys. 5. przedstawiono elementy toru przesyłania sygnału wizyjnego i komend sterujących ruchem robota. Zrealizowany projekt jest odpowiednikiem profesjonalnych robotów penetrujących i może służyć jako punkt wyjścia do przygotowywania bardziej specjalizowanych aplikacji.

W 2006 r. pojawiła się nowa wersja robotów LEGO oznaczona symbolem NXT. Zasady programowania nie uległy zasadniczej zmianie – z informacji prak-



Rys. 6. Układ labiryntu oraz robot LEGO NXT wyposażony w dwa czujniki ultradźwiękowe



Rys. 7. Ekran telefonu komórkowego podczas wyszukiwania robota LEGO, nawiązywania z nim połączenia i sterowania oraz ekran z pomocą

tycznych uwagę należy zwrócić na fakt, że programy do robota przesyła się teraz kablem USB (zamiast podczerwienią), w zestawie znajduje się dodatkowy czujnik ultradźwiękowy stosowany przy pomiarach odległości oraz wykrywający obecność modułu Bluetooth. Czujniki ultradźwiękowe mogą być stosowane w realizacji zadania polegającego na przejechaniu labiryntu [12]. Eksperymentalnie zostały wyznaczone najodpowiedniejsze poziomy odniesienia przy pomiarze odległości metodą ultradźwiękową, tak by robot mógł przejechać labirynt. Aplikacje zostały napisane w języku NXT, następcy języka NQC.

Implementacja modułu transmisji Bluetooth w konstrukcji robota LEGO dało sposobność do przygotowania nowych zadań. Stosując cztery roboty LEGO NXT zrealizowano współpracę grupy robotów wymieniających między sobą informacje za pomocą komunikacji bezprzewodowej Bluetooth [13]. W części praktycznej rozwiązano zadanie, w którym roboty szukały sposobu przebycia trasy z licznymi ślepyimi zaułkami. Jeżeli robot utknął w takim rozgałęzieniu, informował o tym pozostałe roboty, a te wybierały inny wariant trasy. Obecnie komunikacja Bluetooth jest bardzo popularnym sposobem wymiany informacji, dostępnym w szerokiej gamie urządzeń codziennego użytku. W pracy [14] przygotowano aplikację, za pomocą której można sterować ruchami robota z telefonu komórkowego. Autor przetestował jej działanie na telefonach Nokia 6300 i Nokia E50. Ekran telefonu komórkowego w różnych fazach działania aplikacji przedstawia rys. 7.

Podsumowanie

W ramach zajęć laboratoryjnych i w wyniku realizacji szeregu prac dyplomowych sprawdzono możliwości programowania robotów LEGO do realizacji różnorodnych zadań. Oprócz wspomnianych języków Java i NQC/NXC badano efektywność programowania tych robotów z poziomu środowiska MATLAB i ROBOLAB – wersji oprogramowania dla robotów LEGO przygotowanej na bazie środowiska LabVIEW.

Do niedawna roboty LEGO były bardzo atrakcyjną propozycją dla placówek dydaktycznych różnego stopnia – od przedszkoli do uniwersytetów. Twórcy tych robotów w firmie Lego wykorzystali w znakomity sposób potencjał swojej technologii i osiągnięcia elektroniki i informatyki. Niestety w Polsce, ze względu na zbyt wysoką cenę zestawu, roboty te nie stały się zbyt popularne w szerokich kręgach zaintereso-

owanych. Alternatywą dla klocków LEGO stają się obecnie inne zestawy do budowy robotów, dostępne w różnych konfiguracjach i w o wiele ciekawszej ofercie cenowej. Również coraz więcej osób podejmuje próbę samodzielnej budowy robotów wykorzystując coraz bogatszą ofertę podzespołów mechanicznych i części elektronicznych. Tak skonstruowane roboty wykazują zbliżoną funkcjonalność do robotów LEGO.

Z dużym zainteresowaniem oczekiwane są kolejne wersje robotów z firmy Lego. Z drugiej strony możliwości sterowania robotami LEGO z poziomu języka Java z wykorzystaniem dodatkowych bibliotek do obsługi komunikacji TCP/IP i danych strumieniowych sprawia, że aplikacje przygotowane kilka lat temu dla robotów LEGO RCX dalej wydają się bardzo atrakcyjne.

Bibliografia

1. Lego MindStorms Constructopedia, Robotics Invention System 2.0
2. [http://bricxcc.sourceforge.net/nqc/] – The Not Quite C
3. [http://bricxcc.sourceforge.net/] – Bricx Command Center
4. [http://bricxcc.sourceforge.net/nbc/nxcdoc/NXC_Guide.pdf.] – Not eXactly C (NXC) Programmer's Guide
5. Hansen J. C.: *LEGO Mindstorms NXT Power Programming*, Variant Press, 2007
6. Bagnall B.: *Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains*, Variant Press, 2007
7. Puzio P., Rambau P.: *Metody sterowania robotami mobilnymi LEGO Mindstorms z poziomu języka Java*. Praca dypl. Politechnika Opolska, 2005
8. [http://lejos.sourceforge.net/] – leJOS
9. Bagnall B.: *Core LEGO Mindstorms Programming*, Prentice Hall PTR, 2002
10. *Programming LEGO Mindstorms with Java*, Syngress Publishing, 2002
11. [http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jmf/index.jsp] – opis biblioteki JMF
12. Sznajder D.: *Metody programowania zadań dla robotów serii LEGO NXT*. Praca dypl. Politechnika Opolska, 2008
13. Łęciński P.: *Sterowanie grupą robotów LEGO*. Praca dypl. Politechnika Opolska, 2009
14. Jarocki J.: *Sterowanie robotem LEGO z poziomu telefonu komórkowego*. Praca dypl. Politechnika Opolska, 2010 ■



Sterownik urządzenia do pomiaru słabych sygnałów optycznych na bazie FPGA

Sebastian Grzesik, Krzysztof Tomczewski – SKN Spektrum, Politechnika Opolska

FPGA (*Field Programmable Gate Array*) to rozbudowane, re-programowalne macierze bramek logicznych, wyposażone zazwyczaj w szereg dodatkowych urządzeń sprzętowych, takich jak mnożarki czy przetworniki analogowo-cyfrowe. FPGA pełnią coraz większą rolę w projektowaniu układów cyfrowych ASIC i mikroprocesorów. Ich atrakcyjność wynika z szybkości działania, olbrzymich zasobów logicznych i prostoty realizacji projektów. Nie tylko usprawniają one proces opracowywania nowych układów cyfrowych, ale coraz częściej stanowią podstawę układów sterowania gotowych urządzeń.

Proces projektowania układu sprowadza się do opisanego jego struktury lub sposobu działania w wybranym języku opisu sprzętu. Ze względu na duże zasoby logiczne oraz wbudowane mnożarki sprzętowe, w wielu zastosowaniach z powodzeniem mogą one konkurować z mikroprocesorami. Ich dodatkową zaletą jest możliwość równoległego uruchamiania procesów poprzez tworzenie struktur współbieżnych.

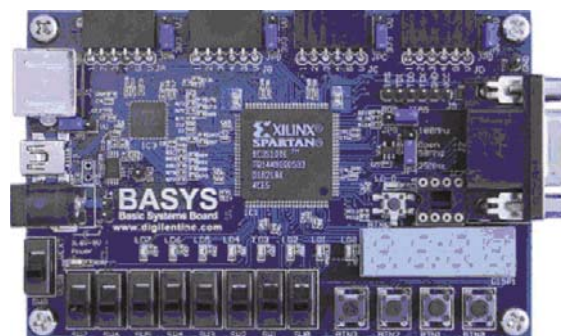
Dzięki tej właściwości układy programowalne umożliwiają kontrolę wielu złożonych procesów w czasie rzeczywistym. Właściwość tę wykorzystuje się między innymi w telekomunikacji. Pojawiają się również przykłady stosowania układów programowalnych w takich dziedzinach, jak napęd elektryczny, robotyka i automatyka. W pracy pokazano przykład wykorzystania układu FPGA do budowy sterownika urządzenia do pomiaru słabych sygnałów optycznych (*chopper*).

Projekt prezentowanego sterownika zrealizowano w języku VHDL (*Very High Speed Integrated Circuits Hardware Description Language*) [2]. Do realizacji projektu wykorzystano środowisko Xilinx ISE Design Suite 10.1 WebPack [5]. Projekt zaimplementowano w module prototypowym Basys [3] z układem FPGA Spartan 3E 100 firmy Xilinx [5] (rys. 1).

Zasada działania urządzenia

Chopper stosuje się w celu ograniczenia wpływu szumów własnych czujników optycznych i wzmacniaczy w torze wzmocnienia na wyniki pomiarów słabych sygnałów optycznych. Zasada działania tego urządzenia polega na naprzemiennym wykonywaniu pomiarów sygnałów z zaciemnionego i oświetlonego czujnika, a następnie wyznaczeniu sygnału użytecznego, jako ich różnicy. Pomiaru te wykonuje się w krótkich odstępach czasu tak, aby parametry pracy układu pomiędzy dwoma kolejnymi pomiarami nie zmieniały się w sposób istotny. Zakłada się przy tym, że wartość szumów własnych układu pomiędzy kolejnymi pomiarami nie ulega zmianie. Do praktycznej realizacji tego zadania najczęściej wykorzystuje się wirującą tarczę z otworami. Tarcza naprzemiennie zasłania lub odsłania czujnik pomiarowy, którym najczęściej jest fotodioda lub fotopowielacz [4].

Zadaniem projektowanego układu sterowania jest utrzymanie zadanej prędkości wirowania tarczy napędzanej silnikiem prądu



Rys. 1. Moduł prototypowy Basys firmy Digilent z układem FPGA Spartan 3E 100 [3]

stałego, synchronizacja pomiarów z chwilowym położeniem kątowym tarczy, odczyt, zapamiętanie i uśrednienie wyników pomiarów, wyznaczenie ich różnicy i prezentacja w formie wykresu na ekranie monitora VGA. Czynności te realizowane są w czasie rzeczywistym.

Do napędu tarczy przewidziano silnik prądu stałego sprzężony z enkoderem o rozdzielczości 1000 impulsów na obrót. Przy prędkości 10 000 obr./min. częstotliwość zliczanych impulsów z enkodera przekracza 16,5 kHz, a pomiary wykonywane są z częstotliwością dwa razy wyższą. Wyniki pomiarów przesyłane są następnie magistralą SPI do rejestrów zatraskowych, skąd pobierane są do dalszej części układu, przetwarzane i przesyłane do monitora VGA. Na ekranie monitora prezentowane są wyniki pomiaru uzyskane z oświetlonego i zaciemnionego czujnika oraz ich różnica. Przy częstotliwości odświeżania obrazu 50 Hz, rozdzielczości 640 × 480 pikseli i 256 kolorach, kolejne bajty danych muszą być wysyłane do monitora z częstotliwością ponad 15 MHz [1]. Przedstawione parametry świadczą o wysokich wymaganiach w stosunku do tego układu, którym nie jest w stanie sprostać znaczna część mikroprocesorów.

Analiza układu

W wyniku analizy funkcjonalnej układ podzielono na trzy główne bloki funkcjonalne:

- sterowania silnikiem prądu stałego
- pomiarowy (z zewnętrznym przetwornikiem ADC)
- obsługi monitora.

Każdy z tych bloków podzielono na prostsze moduły, które opisano w języku VHDL. Blok sterowania silnikiem prądu stałego składa się z dzielnika wstępnego, licznika impulsów zegarowych, licznika impulsów z enkodera i generatora PWM. Dzielnik wstępny zastosowano w celu obniżenia częstotliwości taktowania części układu do 5 MHz. Zastosowany moduł prototypowy taktowany jest sygnałem o częstotliwości 100 MHz. Sygnał 5 MHz podawany jest na wejście

licznika odmierzającego interwały czasu o okresie 1 s, który co sekundę kasuje licznik impulsów z enkodera. Pomiar prędkości silnika odbywa się na zasadzie zliczania impulsów z enkodera. Stan licznika porównywany jest z wartością zadaną i na tej podstawie ustalany jest współczynnik wypełnienia sygnału PWM. Wypełnienie zmieniane jest co 1 s o 1 % do chwili osiągnięcia wartości zadanej. W związku z tym zadana prędkość silnika zostaje ustalona po czasie nie dłuższym niż 100 s. Podczas wykonywania pomiarów wartość współczynnika wypełnienia sygnału PWM pozostaje stała.

Blok odczytu i zapisu wyników pomiarów składa się z licznika impulsów z enkodera, licznika numeru pomiaru, modułu inicjalizacji pomiaru, interfejsu SPI, oraz dwóch rejestrów, do których zapisywane są wyniki. Licznik impulsów z enkodera służy do wyznaczania położenia tarczy w zakresie jednego pełnego obrotu. Sygnały z wyjścia tego licznika podawane są do modułu inicjalizacji pomiaru, który synchronizuje wykonywanie pomiarów z położeniem kątowym tarczy. Pomiary wykonywane są przy dwóch stanach licznika, odpowiadających odpowiednim pozycjom tarczy wirującej przy oświetlonym i zaciemnionym czujniku.

Odczyt wartości zmierzonych z przetwornika ADC odbywa się poprzez interfejs SPI. Blok ten adresuje odpowiednie rejestry, do których zapisywane są wyniki pomiarów sygnału lub tła. Urządzenie uśrednia wyniki 32 pomiarów.

Blok wyjściowy służy do wyświetlania wyników pomiarów na ekranie monitora VGA. Składa się on z modułu wyznaczającego różnicę zmierzonych sygnałów, modułu synchronizacji i generatora obrazu. Moduł generatora obrazu służy do wyświetlania danych pobieranych z rejestrów oraz z modułu wyznaczającego ich różnicę.

W trakcie realizacji poszczególnych modułów funkcjonalnych przeprowadzona została symulacja ich działania. Na podstawie uzyskanych przebiegów czasowych stwierdzono poprawność ich działania.

Synteza układu

Po opracowaniu elementów składowych wykonano syntezę układu. Wyjścia rejestrów zawierających uśrednione wyniki pomiarów połączone zostały z modułem służącym do obliczania sygnału użytecznego oraz modułem przeznaczonym do prezentacji wyników na monitorze. Syntezę układu wy-



Rys. 3. Układ prototypowy w fazie testowania sterownika

konano w module graficznym. Kompletny schemat zaprojektowanego układu pokazano na rys. 2. Po dokonaniu syntezy projekt zaimplementowano w układzie prototypowym (rys. 3) i sprawdzono poprawność jego działania.

Podsumowanie

Celem projektu było opracowanie kompletnego sterownika urządzenia do pomiaru słabych sygnałów optycznych i jego implementacja w układzie FPGA. Podczas realizacji projektu wykorzystano elementy wcześniej opracowanej (przy współudziale autora) biblioteki VHDL. Jedynie w przypadku modułu synchronizacji w bloku obsługi monitora VGA bazowano na elemencie biblioteki udostępnionej na stronie internetowej firmy Digilent [3], który dostosowano we własnym zakresie do potrzeb projektu. Wszystkie pozostałe elementy biblioteki opracowano w ramach prac koła lub pracy dyplomowej.

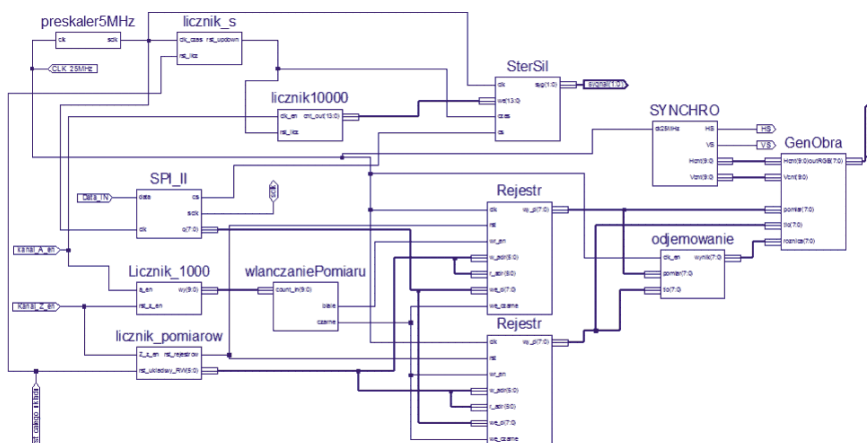
Uzyskany rezultat świadczy o tym, że układ programowalny z powodzeniem realizuje założony cel i może zastąpić w tym zastosowaniu dobrej klasy procesor.

Projekt po zaimplementowaniu zajął 68 % zasobów układu Spartan 3E 100, najmniejszego z tej rodziny.

Pozostała wolna struktura umożliwia dalszą rozbudowę układu i zwiększenie jego funkcjonalności, na przykład poprzez dodanie interfejsu komunikacyjnego do przesyłania wyników pomiarów do komputera lub do ich zapisu na kartę SD. Dzięki współbieżności zaimplementowanych modułów rozbudowa układu nie powinna wpłynąć na szybkość jego działania.

Bibliografia

- [1] Grzesik S.: *Sterownik urządzenia do pomiarów małych sygnałów optycznych na bazie układu FPGA*, Praca dyplomowa, Politechnika Opolska 2009
- [2] Majewski J., Zbysiński P.: *Układy FPGA w przykładach*. Wydawnictwo BTC, Warszawa 2007
- [3] www.digilentics.com
- [4] www.optical-chopper.com/
- [5] www.xilinx.com



Rys. 2. Schemat układu w module graficznym