

Dizajn autopilota za stabilizaciju kursa broda sa dva motora malih dimenzija primenom P regulatora

Autopilot je sistem sposoban da održava stalni kurs kretanja broda. U ovom radu dizajniran je autopilot koji je u stanju da stabilizuje pravac kretanja broda za manje od 5 s. Kao kriterijum za kvantifikaciju korišćeno je vreme smirenja odskočnog odziva kursa. Zaključeno je da je P kontroler dovoljan za stabilizaciju, kako je otpor vode dovoljan da imitira ponašanje diferencijalne kontrole.

Uvod

Napravljen je model broda sposoban da dođe do zadate tačke na relativno velikoj vodenoj površini bez prepreka. Brod se pokreće pomoću dva motora koji su locirani na njegovoj krmi, a skretanje broda se postiže zadavanjem različitih snaga motorima broda čime se postiže rezultujući moment sile u odnosu na centar mase broda, čime se omogućava njegovo skretanje. Podaci potrebni za navođenje broda (trenutni položaj, brzina i orijentacija) dobijaju se pomoću senzora (GPS prijemnik i kompas) koji se nalaze na njemu, pa sistem ne zahteva stacionarne stanice na obali. Akvizicija podataka koje ovi senzori daju vrši se na mikrokontroleru. Na osnovu prikupljenih podataka, primenom P regulatora, mikrokontroler zadaje snage motorima.

Cilj rada je dizajn autopilota koji je u stanju da stabilizuje pravac kretanja broda za manje od 5 sekundi. Za potrebe kvantifikovanja vremena stabilizacije merene su karakteristike korišćenih senzora kao i odskočni odziv kursa broda.

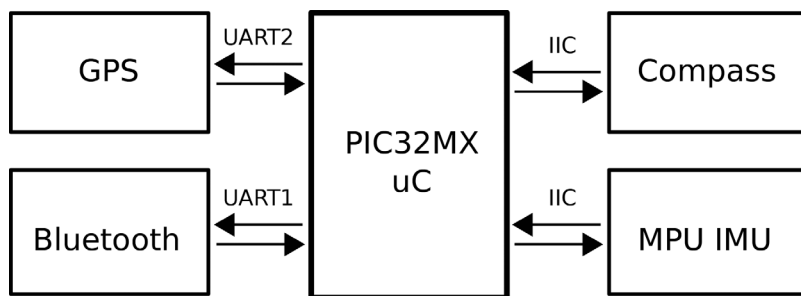
Aparatura

Za upravljanje brodom korišćen je mikrokontroler PIC32MX534-F064H (Web 2) koji je programiran u MikroC PRO for PIC32 programskom okruženju. Senzori koji su korišćeni su: MikroElektronika GPS Click (Web 4) i MikroElektronika Compass Click (Web 3).

*Danilo Đokić (1997),
Kragujevac,
Kamenička 5/2, učenik
3. razreda Prve
kragujevačke gimnazije*

*Nikola Milenić (1997),
Kragujevac, Voje
Manojlovića 4/26,
učenik 3. razreda Prve
kragujevačke gimnazije*

*MENTOR: Ivan
Razumenić, Microsoft
Development Center
Serbia*

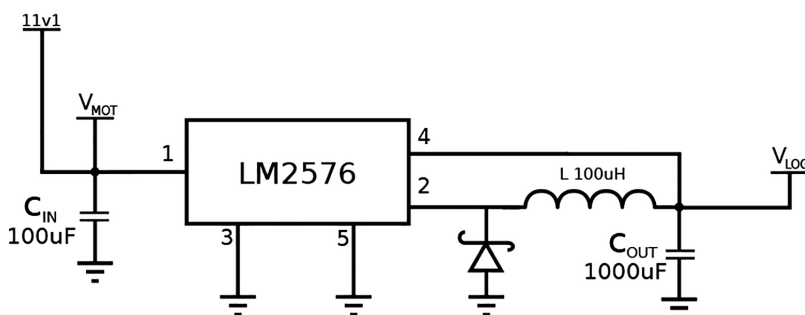


Slika 1. Prikaz komunikacijskih protokola između mikrokontrolera i periferija

Figure 1. Illustration of communication protocols between controller and peripherals

Za potrebe ovog istraživanja, podaci sa senzora se u realnom vremenu dostavljaju na računar korišćenjem Bluetooth protokola, koji je realizovan korišćenjem MikroElektronika Bluetooth2 Click komponente. Sve navedene periferije komuniciraju sa mikrokontrolerom odgovarajućim protokolima koji si prikazani na slici 1.

Za napajanje celog sistema korišćena je litijumpolimerska baterija napona 11.1 V i kapaciteta 1000 mAh (Web 5). Napajanje kontrolera je regulisano prekidačkim regulatorom napona, čija je šema prikazana na slici 2.



Slika 2.

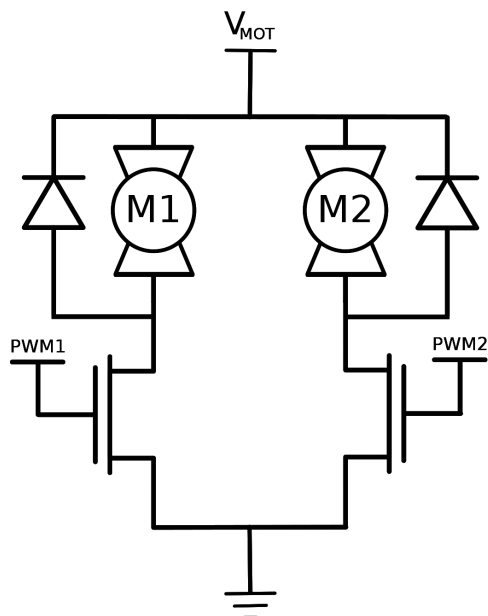
Regulator napona (VMOT – napajanje motora; VLOG – napajanje kontrolera – logičko napajanje)

Figure 2. Voltage regulator (VMOT – motor supply voltage; VLOG – logic supply voltage)

Mikrokontroler kontroliše motore posredstvom impulsno-širinske modulacije (Web 1). Ovaj logički signal se prevodi u napon na motorima upotrebom upravljačkog kola prikazanog na slici 3 (eng. motor driver). Ovo kolo, realizovano je korišćenjem MOSFET tranzistora (IRF530).

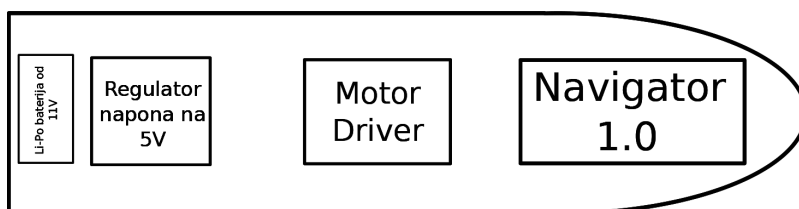
Treba naglasiti da je logički izlaz '1' kontrolera koji je korišćen ograničen na 3.3 V, međutim to nije dovoljno da se dostigne minimalni okidni napon korišćenog tranzistora pa je između kontrolera i tranzistora postavljena jedna logička '1' kapija koja može registrovati napon koji daje kontroler, ali tada tranzistoru daje napon od 5 V.

Sve navedene komponente unutar broda sastavljene su po skici prikazanoj na slici 4.



Slika 3.
Upravljačko kolo motora

Figure 3.
Motor driver



Slika 4.
Raspored komponenti na brodu

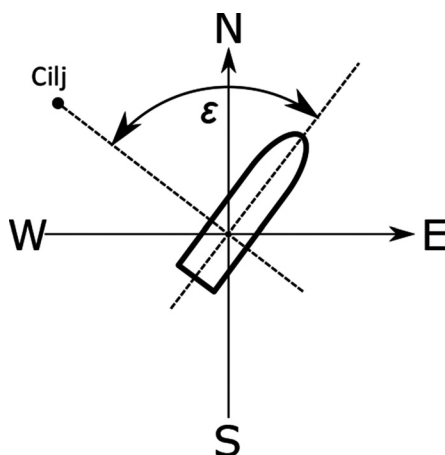
Figure 4.
Component arrangement on the boat

Metod

Orijentisani ugao koji predstavlja razliku između trenutnog kursa broda i kursa koji vodi ka cilju navođenja zovemo greškom vođenja i označavaćemo sa ε (slika 5).

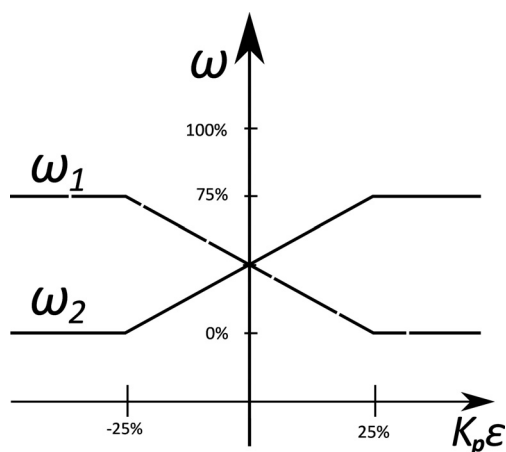
Neka su ω_1 i ω_2 procenti celokupne maksimalne snage prvog i drugog motora broda redom, tada će funkcija zavisnosti ω_1 i ω_2 , za unapred definisani parametar K_p , biti određeni grafikom na slici 6.

Ovaj metod naziva se direktno vođenje ili P kontrola. Koeficijent K_p [1/rad], naziva se koeficijent proporcionalnog vođenja. Donja granica snage motora od 0% je uvedena da bi se izbeglo zadavanje negativnog napona motorima, koje nije predviđeno uz ovde implementiranu hardversku realizaciju sistema, dok je gornja granica od 50% postavljena iz praktičnih razloga, da bi se izbeglo prevrtanje broda, pregrevanje motora, stvaranje prevelike buke i da bi se produžilo trajanje baterije. Ovaj metod



Slika 5.
Prikaz ugla greške vođenja ε

Figure 5.
Illustration of error angle ε



Slika 6.
Zavisnost funkcija ω_1 i ω_2 od ε

Figure 6.
Dependences $\omega_1(\varepsilon)$ and $\omega_2(\varepsilon)$

izvesno dovodi do oscilovanja vođenog objekta oko željenog kursa. Vrednosti ω_1 i ω_2 se saopštavaju motorima kao aktivni periodi (eng. duty cycle) impulsno širinske modulacije.

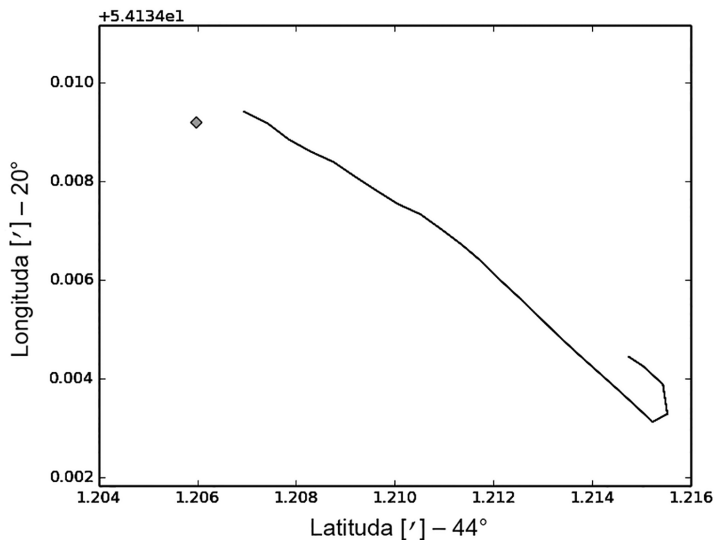
Ciljni pravac direktnog vođenja menja se dinamički pri svakom očitavanju položaja sa GPS senzora, tako da spaja trenutni položaj broda i njegovu destinaciju.

Rezultati

Merenja karakteristika senzora magnetskog polja (kompasa) su pokazala da je njegova relativna greška uz uključene motore manja od 0.1%, što se za potrebe navođenja ovde opisanog sistema može smatrati zanemarljivim, s obzirom da je rezultujuća greška pri određivanju ugla daleko manja od greške nastale naginjanjem broda pri skretanju, njegovim njihanjem na talasima i greškom poravnavanja osa senzora sa osama broda.

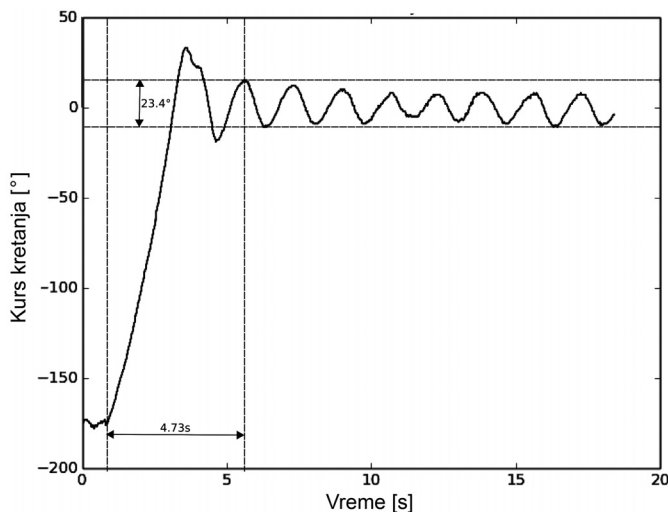
Greška merenja položaja GPS senzora pod uslovima otvorenog neba (maksimalnog broja vidljivih satelita) je 5 m (Wing *et al.* 2005).

Karakteristike odziva navođenja broda su merene tako što je brod postavljen na veliku vodenu površinu i zadat mu je cilj koji se nalazi na uzdužnoj osi broda pod uglom od 180° u odnosu na njegov trenutni pravac i smer kretanja. Merenja brodskih senzora su zapisivana. Vremena stabilizacije i amplitude oscilacija su prikazana u tabeli 1. Primeri očitavanja brodskih senzora sa jednog od merenja su prikazana grafički na slikama 7 i 8.



Slika 7.
Primer Trajektorije
dobijen pomoću GPS
senzora prilikom testa
#1. Destinacija je
obeležena tačkom.

Figure 7.
Example trajectory
during test #1. Target
destination is marked
by dot.



Slika 8.
Primer Kurs broda po
podacima kompasu
prilikom okreta od
 180° (Test #1)

Figure 8.
Example boat course
during 180° turn
(Test #1)

Kako je rezolucija snimanja podataka 32 Hz, a da je podeok kompasu (u primenjenoj softverskoj implementaciji) 1° važi da su greške merenja:

$$\Delta\tau = 0.04 \text{ s}, \Delta\theta = 1^\circ.$$

Tabela 1. Vremena smirenja (τ) i konstantna greška sistema (θ)

Broj testa	τ [s]	θ [°]
1	4.70	23
2	4.65	20
3	4.80	19

Zaključak

Primenom P regulatora moguće je konstruisati autopilot koji je u stanju da stabilizuje pravac kretanja broda za po zadatom kriterijumu. Iako teoretski P kontroler izaziva oscilovanje kursa (Araki 1984), prisustvo vode izaziva da postoji sila otpora koja je srazmerna brzini broda, odnosno, ona predstavlja D komponentu PD kontrolera koji zapravo upravlja brod. Iako je amplituda oscilacija kursa i nakon stabilizacije oko 20°, usled inertnosti broda, na GPS snimku se jasno vidi da se pravac kretanja broda može smatrati pravim.

Zahvalnost. Zahvaljujemo se Lazaru Milenkoviću koji je prvi započeo rad na ovom projektu. Takođe se zahvaljujemo sportsko-rekreativnom centru „Park” u Kragujevcu, koji nam je ustupio svoje otvorene bazene za potrebe istraživanja.

Literatura

- Araki M. 1984. *PID Control in Control systems, Robotics and Automation*, Vol II. Oxford: Eolss Publish
- Graovac S. 2005. Automatsko vođenje objekata u prostoru. Beograd: Akademska misao, str. 137-144.
- Web 1. <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/961.04/topics/pwm.pdf>
- Web 2. <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC32MX534F064H>.
- Web 3. <http://www.mikroe.com/click/compass/>
- Web 4. <http://www.mikroe.com/click/gps/>
- Web 5. <http://www.rc711.com/shop/esky111v1000mah-lipo-battery-for-honeybeecp3-p-3262.html>
- Wing M. G., Eklund A. i Kellogg L. D. 2005. Consumer-grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability. *Journal of forestry*, **103** (4): 169.

Twin Engine Small Boat Heading Stabilization Autopilot Design Using P Regulator

A model boat capable of reaching a spot on a relatively large water surface was built. The boat moves using two propellers located on its stern and steers by spinning them at different rates. The boat receives location and orientation data from an onboard GPS receiver and compass. It also has an onboard Bluetooth module used to transmit data to the base station for recording. Data processing and engine control is accomplished using an onboard PIC32 microcontroller. Figure 1 shows schematically the internal components and protocols used for communication between them. Engines are controlled using pulse-width modulation. The boat calculates the difference between its current heading (Figure 5) and the one that connects its current location with the target location and tries to minimize it using a P controller with the heading error as input and engine power difference as output. The guidance system was tested by giving the boat a target that is roughly behind it and recording its trajectory and heading. The results are displayed in Figures 7 and 8. It can be seen that the model boat is capable of reaching the target location with an error no bigger than the error of a GPS.

