

Mehatronički sistem umetničke postavke "Pendulum Tuning"

Robert Kovač, Stevan Stankovski, Srđan Tegeltija, Nikola Đukić, Sabolč Horvat
Katedra za mehatroniku, robotiku i automatizaciju / Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
rkovac@uns.ac.rs, stevan@uns.ac.rs, srkit@uns.ac.rs, nikoladj@uns.ac.rs, horvatsz@gmail.com

Sadržaj— Spajanjem savremene tehnologije i umetnosti stvaraju se novi vidovi umetničkog izražavanja. Primer ovoga je umetnička postavka "Pendulum Tuning", koja predstavlja mehatronički sistem, koji se sastoji od četiri skulpture, obešene sa najviše tačke crkvenog prostora, dozvoljavajući im kretanje u vidu klatna. Putanje, koje opisuju klatna, stvaraju promenljivu strukturu, kreiraju ritam, neprestano menjajući prostor oko posmatrača. Postavka čini pokušaj promene subjektivnog osećaja vremena. Sa tehničkog stanovišta, računarski softver upravlja ciklično promenljivom prostornom koreografijom, određujući ritam i intenzitet kretanja svake skulpture. Sistem se sastoji od četiri aktuatora za pokretanje klatna i od mikrokontrolerske upravljačke jedinice. Opisan sistem predstavlja eksperimentalnu postavku, koja je primer spajanja savremene umetnosti i tehnologije.

Ključne riječi - savremena umetnička postavka; mehatronički sistem; mikrokontrolerska upravljačka jedinica;

I. UVOD

Kao primer spoja savremene umetnosti i moderne tehnologije, u ovom radu se opisuje umetnička postavka "Pendulum Tuning" (Sl. 1, Sl. 2) [1]. Autor postavke je mađarska umetnica Vilo Turčanj [2], koja je poznata po svojim vajarskim radovima, ali i po performansima i autorskoj muzici.



Slika 1. Umetnička postavka Vilo Turčanj: "Pendulum Tuning"

Postavka se nalazi u prostoriji ruševne crkve "Kiscelli" u Budimpešti, koja danas služi kao muzej i izložbeni, koncertni prostor umetnika [3]. Postavka se sastoji od četiri skulpture obešene sa krovnog prostora crkve, koje vrše kretanje u određenoj ravni, poput klatna. Oblik skulpture predviđa kretanje naspram otpora sredine. Kretanje svake skulpture prati određenu koreografiju po vremenu i intenzitetu. Ambijent prostora, veličina i oblik skulptura koje se klate, visina crkve, koja iznosi više od 25 metara, čine pokušaj za promenu subjektivnog osećaja vremena.

Sa tehničke strane, postavka predstavlja mehatronički sklop, koji se sastoji od mehaničke konstrukcije, pogonskog mehanizma i upravljačke elektronike. Svaka skulptura ima sopstveni mehanizam vešanja i elektromotor za pokretanje. Upravljanje radom motora vrši se centralizovano, pomoću upravljačke mikrokontrolerske jedinice, koja je programirana po koreografiji autora postavke.



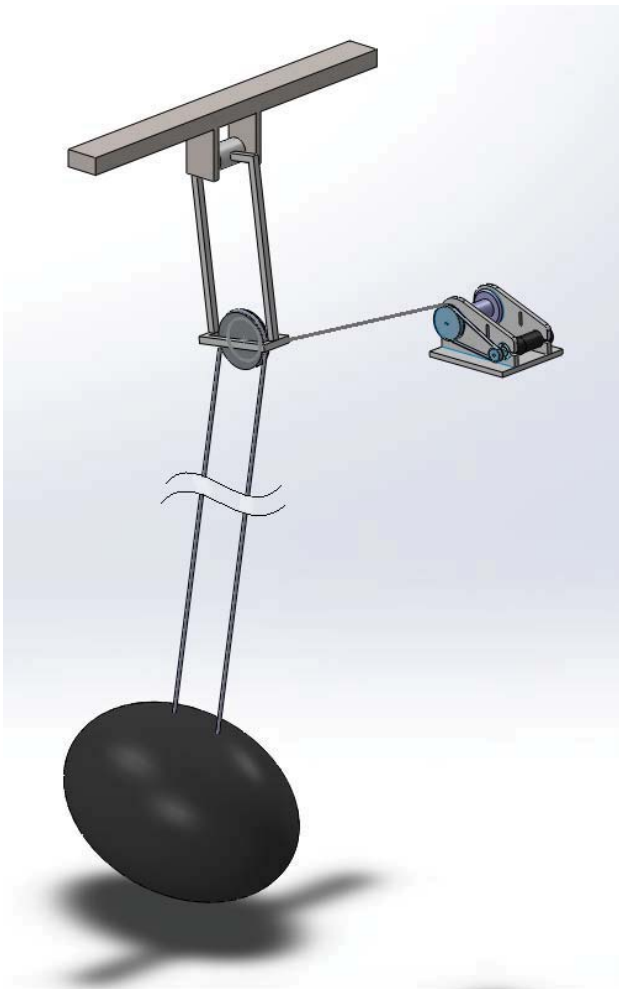
Slika 2. Deo umetničke postavke Vilo Turčanj: "Pendulum Tuning"

U daljem tekstu će biti opisan mehanički sklop, pogonska i upravljačka elektronika postavke, kao i algoritam rada sistema. U zaključku se daje kratak pregled opisanog rešenja i dalje mogućnosti razvoja.

II. MEHANIČKA KONSTRUKCIJA POSTAVKE

Postavka je projektovana za crkvenu prostoriju čija unutrašnja visina iznosi oko 25 m, a površina je veća od 500 m². U ovom prostoru je moguće ostvariti elongacije klatna i do 15 -20 m. Dve skulpture su od livenog aluminijuma, a dve od veštačke smole, tipa Acrystal. Dimenzije skulpture su između 50x48x45 cm i 96x77x70 cm, a njihova težina kreće od 7 kg do 35 kg.

Vešanje skulpture je rešeno dvostrukim zglobnim mehanizmom, koji se sastoji od čvrstog kraka, dužine 50 cm, i dva zglobna spoja na krajevima. Prvi zglob povezuje čvrsti krak sa konstrukcijom krova crkve. Na drugom kraju čvrstog kraka se nalazi kotur koji nosi čelično uže, na koje je obešena skulptura. Skulpture imaju dve tačke vešanja, kako bi se izbeglo njihovo nepoželjno okretanje oko vertikalne ose. Dobijena mehanička konstrukcija sa opisanim načinom vešanja prikazana je na Sl. 3.



Slika 3. Mehanička konstrukcija vešanja skulpture sa mehanizmom za pokretanje

Za donji kraj čvrstog dela kraka se povezuje mehanizam za pokretanje, ali ovaj deo takođe služi i za stabilizaciju kretanja, pošto skulpture treba da se kreću ravnomerno, bez bočnog ljuljanja.

Za upravljanje kretanjem klatna potrebno je poznavati njihovu periodu oscilovanja. Budući da je čvrsti deo kraka mnogo kraći od užeta na koje je obešena skulptura, i masa kraka je zanemarljiva u odnosu na masu na kraju klatna, njegov uticaj na kretanje se zanemaruje. Zbog ove pretpostavke vreme periode se računa iz diferencijalne jednačine kretanja jednostrukog matematičkog klatna [4], prema jednačini (1), gde se sa θ obeležava ugao elongacije klatna, sa L dužina kraka klatna i sa g gravitaciono ubrzanje.

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (1)$$

Za male oscilacije, gde $\sin \theta \approx \theta$, iz jednačine (1) dobija se vremenska zavisnost trenutnog položaja $\theta(t)$ i početne pozicije θ_0 klatna, po jednačini (2),

$$\theta(t) = \theta_0 \cos \left(\sqrt{\frac{g}{L}} t \right) \quad (2)$$

Odakle se integraljenjem može izračunati vreme periode oscilovanja klatana T_0 , po jednačini (3).

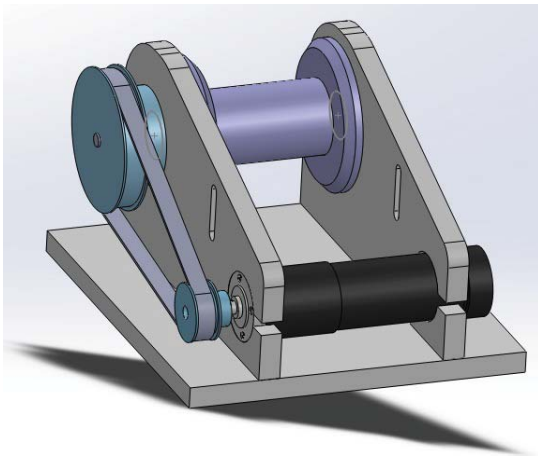
$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3)$$

Iz jednačine (3) se vidi da na periodu klatna ne utiče ni masa ni amplituda klatna, u domenu male elongacije. Pošto gravitaciona konstanta iznosi 9.81m/s², može se uzeti aproksimacija da je $g/\pi^2 = 0,994 \approx 1$. Sa ovom aproksimacijom vreme periode ostaje isključivo funkcija dužine klatna (4).

$$T_0 \approx 2\sqrt{L} \quad (4)$$

Dužine pojedinih klatna se razlikuju, i iznose 19 m, 20 m, 22 m i 23 m. Iz jednačine (3) vreme periode klatna iznosi respektivno 8.74 s, 8.97 s, 9.4 s i 9.62 s. Odavde se vidi da je oscilovanje klatna realtivno spor ciklus i da za njegovo pokretanje nije potreban brz pogonski mehanizam.

Pokretanje klatna je realizovano pomoću mehanizma koji vrši periodično natezanje kraka klatna. Ovaj mehanizam se nalazi na udaljenom mestu od tačke vešanja i povezuje se sa čvrstim delom kraka klatna pomoću užeta. Mehanizam u jednom smeru kretanja vrši natezanje, a u drugom smeru dopušta slobodan hod. Ovaj mehanizam se sastoji od kotura za namotavanje užeta, motora i kaišnog prenosa, kao što je prikazano na Sl 4.



Slika 4. Mehanizam za pokretanje klatna

Prednost ovog rešenja je u tome što jedinica za pokretanje može da se nalazi na udaljenom mestu od tačke vešanja klatna, što je neophodno zbog mogućnosti načina montiranja u datoj okolini. Za što bolji stepen iskorišćenja snage mehanizma poželjno je da ugao između kraka klatna i užeta za natezanje teži ka 90° , ali manje odstupanje ne predstavlja problem, pošto gubici rastu sa sinusnom funkcijom greške ugla.

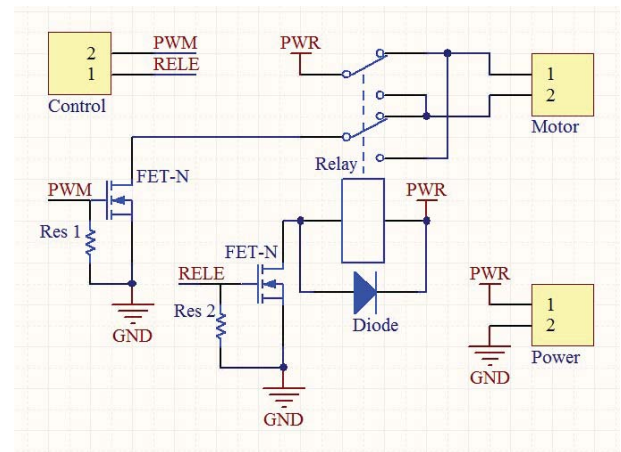
III. POGONSKA I UPRAVLJAČKA ELEKTRONIKA POSTAVKE

Za pobuđivanje i upravljanje radom pogonskih motora za pokretanje klatna, projektovan je pogonsko-upravljački električni sklop. Ovaj sklop upravlja radom četiri motora i vrši njihovu sinhronizaciju, po unapred zadatoj koreografiji.

A. Motori i pogonska elektronika

Pokretanje klatna se vrši pomoću niskonaponskih elektromotora jednosmerne struje. Budući da klatna svojim kretanjem ne vrše koristan rad, za njihovo pokretanje je potrebno samo savladati silu trenja u zglobovima vešanja i otpor vazduha prilikom kretanja skulpture. Zbog ovoga, i zbog nepostojanja potrebe da se klatna brzo zaleću, za pobuđivanje su izabrani elektromotori relativno male snage, od 60 W, sa ugrađenim reduktorom, prenosnog odnosa 1:23 [5].

Upravljanje pogonskim motorima se vrši pomoću FET tranzistora i releja, pomoću kojih je moguće regulisati nivo i polaritet napona motora, čime je obezbeđena mogućnost upravljanja snagom i smerom okretanja vratila motora. Šema izlaznog stepena upravljačke elektronike za upravljanje pogonskim motorima je prikazana na Sl. 5. Potrebni upravljački signali za ovaj sklop su PWM (*eng.* Pulse With Modulation) signal [6], kojim se reguliše efektivna vrednost napona, i signal za uključivanje-isključivanje releja, kojim se menja polaritet napona na motoru, a time i smer okretanja vratila. Svaki motor poseduje poseban izlazni stepen, pomoću kojeg se njime upravlja.



Slika 5. Šema izlaznog stepena upravljačke elektronike za upravljanje pogonskim motorima

Za napajane pogonskih motora je korišćen mrežni ispravljač od 12 V, snage 60 W. Izabrana snaga je dovoljna budući da su motori programirani tako da se uključuju u različitim vremenskim trenucima.

B. Upravljačka elektronika

Za upravljanje radom pojedinačnih motora i za usklađivanje rada celokupne postavke, projektovana je centralna mikrokontrolerska jedinica sa glavnim kontrolerom tipa Atmega128, proizvođača ATMEL [7]. Ova jedinica upravlja izlaznim stepenima za motore, pomoću opisanih signala i vremenski usklađuje njihov rad. Izgled upravljačke mikrokontrolerske jedinice je prikazan na Sl. 6.

Projektovana mikrokontrolerska jedinica sadrži sve potrebne funkcionalne module za rad, koji su:

- zaštita pomoću osigurača,
- stabilisano napajanje od 5 V,
- izlazni FET tranzistori,
- svetleće diode za indicaciju stanja,
- priključci za povezivanje napajanja i signalnih vodova izlaznih stepena motora.



Slika 6. Upravljačka mikrokontrolerska jedinica

C. Algoritam rada

Upravljački program je razvijen u razvojnom okruženju Atmel Studio 6, na programskom jeziku C, i kompajliran je pomoću GCC kompajlera. ovaj algoritam je implementiran u centralnu mikrokontrolersku jedinicu sistema. Algoritam se sastoji od funkcija za pokretanje pojedinačnih motora, i glavnog programa za upravljanje radom celokupnog sistema.

Za ravnomerno pokretanje klatna potrebno je saopštiti vremenski promenljivu silu pomoću pogonskih motora, u skladu sa njihovom trenutnom pozicijom. Pošto su klatna različite dužine, i njihova perioda se razlikuje, zbog čega je potrebno za svako klatno posebno podesiti profil natezanja pokretačkog užeta. Natezanje treba da se vrši na sledeći način: Najveću silu je potrebno saopštiti kada se klatno nalazi u najudaljenijem položaju od mehanizama za natezanje. Zatim, kada se namota dovoljna dužina kanapa na kotur, potrebno je smanjiti snagu motora da ne dođe do preopterećenja motora. Ova faza držanja u nategnutom stanju treba da traje sve dok klatno ne dostigne drugu krajnju poziciju. U trenutku kada klatno kreće u suprotnom smeru, motor treba da odmota dovoljnu količinu kanapa, kako bi klatno moglo slobodno da se vrati. Potrebno je da se odmotavanje vrši postepeno, brzinom vraćanja klatna, kako ne bi došlo do preteranog opuštanja i zapetljavanja užeta. Podešavanje amplitude kretanja klatna se vrši povremenim natezanjem u svakoj određenoj periodi. Ovim rešenjem se postiže tiši rad sistema, i manje habanje motora, pošto se oni ređe uključuju.

Pored algoritama za natezanje pojedinačnih klatna, potrebno je i sinhronizovati njihov zajednički rad. Za kretanje klatna napisana je koreografija od strane autora, u trajanju od 32 minuta, koja određuje u kom trenutku, koje klatno, i kojim intenzitetom treba da se kreće. Na ovaj način cela postavka postaje jedna komponovana, zajednička celina.

Za ostvarivanje koreografije napisan je sekvencijalni programski kod, koji se po završetku ciklično ponavlja. U ovom programu je moguće vremenski definisati rad svakog motora posebno. Za podešavanje intenziteta kretanja pojedinih klatna postoje funkcije, kojima je potrebno brojčano zadati željenu učestanost natezanja, pri čemu 0 označava potpuno isključeno stanje, 1 znači da se natezanje vrši u svakoj periodi, 2 znači da klatno se nateže u svakoj drugoj periodi, itd.

Za rad postavke napisan je i eksperimentalni program, koji generiše slučajna kretanja klatna. Sa ovim programom se dobija efekat nepredvidljivosti sistema, pri čemu ni posmatrač ni autor ne može da zna šta će se desiti u sledećem trenutku. Međutim, ovaj način rada nije iskorišćen, pošto su za postavku komponovane i muzičke predstave, koje zahtevaju unapred definisanu koreografiju.

IV. ZAKLJUČAK

Opisana postavka je bila postavljena u crkvi "Kiscelli" u Budimpešti, i uspešno je funkcionisala u periodu od skoro dva meseca, između 26.11.2012 i 20.01.2013. Za ovo vreme postavka je imala više stotina posetilaca.

Projektovan mehatronički sistem predstavlja neindustrijsko rešenje, koje je predviđeno za probni period rada. Ukoliko bi se ukazala potreba da ova postavka bude stalno izložena, poželjno

bi bilo ponovo projektovati delove i izabrati materijale koji mogu da trpe i višegodišnji rad. Takođe bi bilo potrebno i implementirati zaštitne mehanizme za slučaje pregrevanja, preopterećenja, prekida, sudara klatna i ostalih nepredviđenih situacija.

U budućnosti je planirana dalja saradnja na sličnim projektima, gde se spajanjem moderne tehnologije i savremene umetnosti stvaraju nova umetnička dela.

ZAHVALNICA

Posebno se zahvaljujemo umetnici Vilo Turčanju za angažovanje i za uspešnu saradnju. Takođe se zahvaljujemo i partnerima za savetovanje i izradu delova, koji su bili: Real Impeks d.o.o. i Macanović CNC.

Rezultati prikazani u ovom radu su deo rezultata istraživanja na projektu TR - 35001 "Automatizovani sistemi identifikaciju i praćenje objekata u industrijskim i neindustrijskim sistemima", koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Opis umetničke postavke "Pendulum Tuning", <http://cargocollective.com/tvillo/PENDULUM-TUNING>, <http://www.btmfk.iif.hu/tvillo.html>.
- [2] Biografija Turčanj Vilo, <http://cargocollective.com/tvillo/CV>, <http://tvillo.com/biography.html>.
- [3] Muzej i izložbeni prostor "Kiscelli", <http://www.kiscellimuzeum.hu>.
- [4] Raymond A. Serway, John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers: pt. 1. Mechanics. Cengage Learning, UK, 2009.
- [5] Tehnička specifikacija DC motora tipa Maxon RE-30-268193 30, <http://www.aviton.spb.ru/files/doc/pdf/maxon/080.pdf>.
- [6] Barr, Michael. "Pulse width modulation." Embedded Systems Programming 14.10 (2001): 103-104.
- [7] Tehnička dokumentacija mikrokontrolera ATmega128, <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>.

ABSTRACT

Combining modern technology and art creates new forms of artistic expression. As an instance, the art installation "Pendulum Tuning" presents a mechatronic system, consisting of four sculptures, which are suspended at the highest point of the temple space, allowing them to make pendulum movements. The pendulums' paths develop a moving structure and create a rhythm; they are constantly changing and thus return the space of the viewer. The installation makes an attempt to change the personal perception of time. From the technical side, computer software controls the cycles of the spatial choreography, determining the rhythm and intensity of each of the four sculpture's movement. The system consists of four actuators, for driving the pendulums, and of a microcontroller based control unit. Described system presents an experimental setting, which is example of merging contemporary art and technology.

MECHATRONIC SYSTEM OF THE ART INSTALLATION "PENDULUM TUNING"

Robert Kovač, Stevan Stankovski, Srđan Tegeltija, Nikola Đukić, Sabolč Horvat