SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni studij

SERVER ZA PRIJENOS PODATAKA IZ POSTROJENJA

Diplomski rad

Damir Jelić

Osijek, 2015.

Sadržaj

1. UVOD

Cilj diplomskog rada je ispitati mogućnost korištenja jeftinih mikroupravljača za jednostavne poslove automatizacije te omogućiti udaljeno upravljanje postrojenjem preko *socket server-a*.

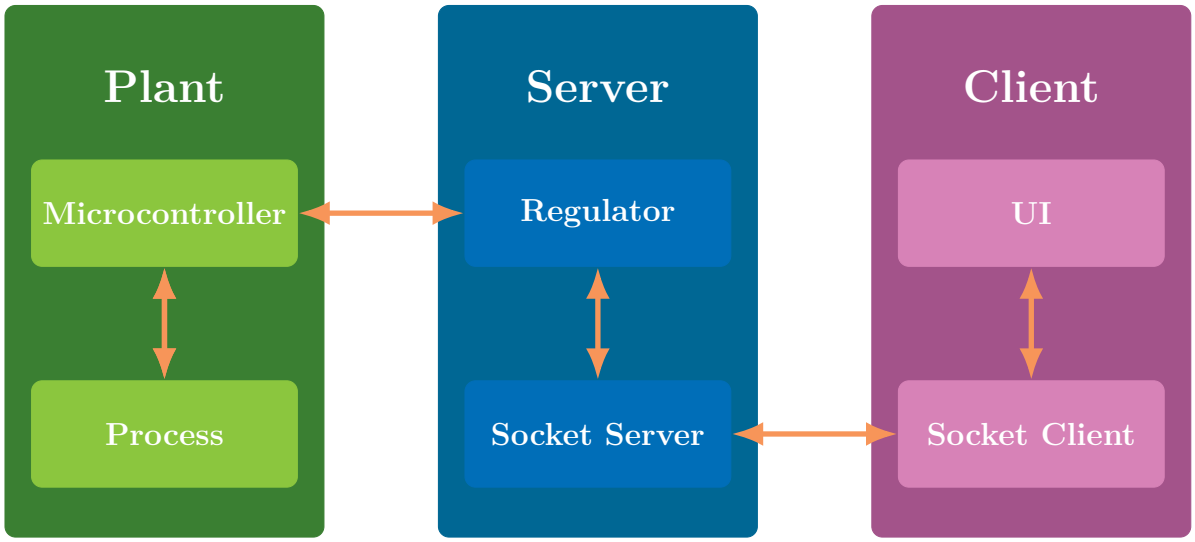
Kako bi se utvrdio cilj diplomskog rada pomoću mikroupravljača je simulirano postrojenje. Komunikacija prema računalu je ostvarena putem *USB* sučelja. Računalo šalje naredbe prema mikroupravljaču pomoću komunikacijskog protokola. *Socket server* je izrađen tako da s jedne strane koristi navedeni protokol da bi komunicirao s mikroupravljačem, a s druge strane omogućuje klijentima upit u stanje postrojenja i postavljanje referentne varijable postrojenja.

Za mikroupravljač je odabran *Arduino Uno* koji preko USB-serijskog sučelja i preko *Firmata* protokola komunicira s računalom. Na *Arduino* je spojena vodena pumpa i senzor koji mjeri razinu vode u boci. Sustav od dvije boce čini postrojenje, u jednoj boci održava se razina vode. Na računalu se nalazi *socket server* pisan u *Haskell-u* koji upravlja mikroupravljačem. Testni klijent pisan u *Python-u* se spaja na *server* te dohvaća mjernu veličinu (razinu vode u boci) i prikazuje trenutno stanje sustava.

Rad je podijeljen u dva dijela. U prvom dijelu razrađene su teorijske pretpostavke vezane uz temu. Važno je napomenuti kako je u ovom dijelu detaljno opisan proces razvoj socket servera. Drugi dio bavi se implementacijom postrojenja, regulatora, *socket server-a* i popratnog klijenta.

2. PREGLED KORIŠTENIH PROGRAMSKIH JEZIKA I IDIOMA

U ovom su poglavlju detaljno opisani programski jezici, tehnike i komunikacijski protokoli koji su korištene pri izradi diplomskoga rada.



Slika 2.1.: Shematski prikaz rada

Na slici 2.1. se vidi sinopsis diplomskoga rada koji je podijeljen u 3 dijela:

- Postrojenje
- Server
- Klijent

Kao što je već spomenuto u poglavlju 1 postrojenje sastoji se od mikroupravljača i dviju boca koje služe kao model za održavanje razine vode.

Server koji je pisan u Haskell-u također se sastoji od dva dijela, regulatora i socket servera. Regulacijski dio s postrojenjem komunicira pomoću Firmata protokola, a socket server s klijentima komunicira pomoću JSON-RPC protokola.

Klijent koji je pisan u Python-u sastoji se od korisničkog sučelja i socket klijenta koji periodički dohvaća trenutno stanje postrojenja od servera.

2.1 Haskell

Haskell je moderan, standardan, nije striktan, čisto funkcionalan programski jezik. Dizajniran je za širok spektar primjena, od numeričkih do simboličkih [1].

Haskell je nastao 1990. godine te nakon nekoliko godina razvoja glavne osobine su mu bile [2]:

- Statički pisan
- Sigurnost tipova
- Lijenost
- Klase tipova.

Statički pisan jezik zahtijeva da pri kompilaciji koda svi tipovi podataka budu poznati, što donosi niz prednosti kao primjećivanje grešaka prije nego što se program izvrši, efikasniji kod jer compiler zna unaprijed veličinu podataka, nije potrebno provjeravati tip podatka dok se program izvršava.

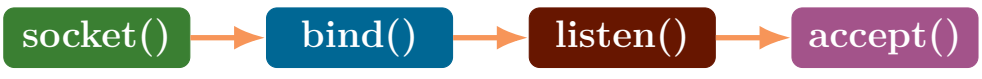
Sigurnost tipova proizlazi iz strogo statičkog pisanja, ona osigurava da funkcije ne mogu primiti podatak pogrešnog tipa, takve će greške biti pri kompilaciji prepoznate od strane compilera.

Lijenost (engl. *Lazy evaluation*) je svojstvo jezika pri kojem se izrazi evaluiraju tek kada je to potrebno, rezultat komputacije se računa tek kada je on tražen negdje dalje. Lazy evaluation omogućuje elegantan rad sa beskonačnim poljima. Moguće je definirati polje sa beskonačnim brojem članova, a da program ne zauzme svu memoriju računala, pojedini će element liste biti evaluiran ako i samo ako on njemu probamo pristupiti.

Klase tipova (engl. *Type classes*) su nastale s ciljem omogućavanja implementiranja preopterećenih aritmetičkih operatora i operatora jednakosti.

2.1.1 Mrežno proramiranje

Za mrežno programiranje Haskell nudi za modul `Network.Socket` [3] koji korisniku pruža sve standardne C funkcije za stvaranje UNIX socket-a.



Slika 2.2.: Programski tok izrade socket servera

Na slici 2.2. je prikazan programski slijed izrade socket server-a. Prvo se pomoću `socket` funckcije stvori socket određenih karakteristika. U `Network.Socket` modulu je ona definirana kao:

```
socket :: Family -> SocketType -> ProtocolNumber -> IO Socket
```

Iz definicije funkcije vidi se da je ona zapravo ista kao i standardna C funkcija za stvaranje socket-a [4, str.132]. Nakon što je stvoren socket njemu se treba dodijeliti lokalna adresa odabranog protokola, dodjeljivanje adrese postiže se s `bind` funkcijom čija definicija glasi:

```
bind :: Socket -> SockAddr -> IO ()
```

Slijedi pretvaranje stvorenog socket-a u pasivni socket koji će čekati na ulazne konekcije. To se ostvaruje pomoću funkcije `listen` koja je definirana kao:

```
listen :: Socket -> Int -> IO ()
```

Na kraju je još potrebno pričekati konekciju klijenta što se ostvaruje s funkcijom `accept` koja blokira daljni tok programa dok se klijent ne spoji. Definicija funckije glasi:

```
accept :: Socket -> IO (Socket, SockAddr)
```

Funkcija nam vraća novi socket s pomoću kojim možemo razmjenjivati podatke s klijentom i adresu klijenta. Razmjena se podataka može vršiti s `sendTo` i `recvFrom` no radi jednostavnosti možemo socket pretvoriti u handle te pisati i čitati podatke kao da se radi o datoteci. Za to postoji `socketToHandle` koja jednostavno primi socket i mode u kojem treba biti handle (read, write ili oboje) i vrati handle. Definicija joj glasi:

```
socketToHandle :: Socket -> IOMode -> IO Handle
```

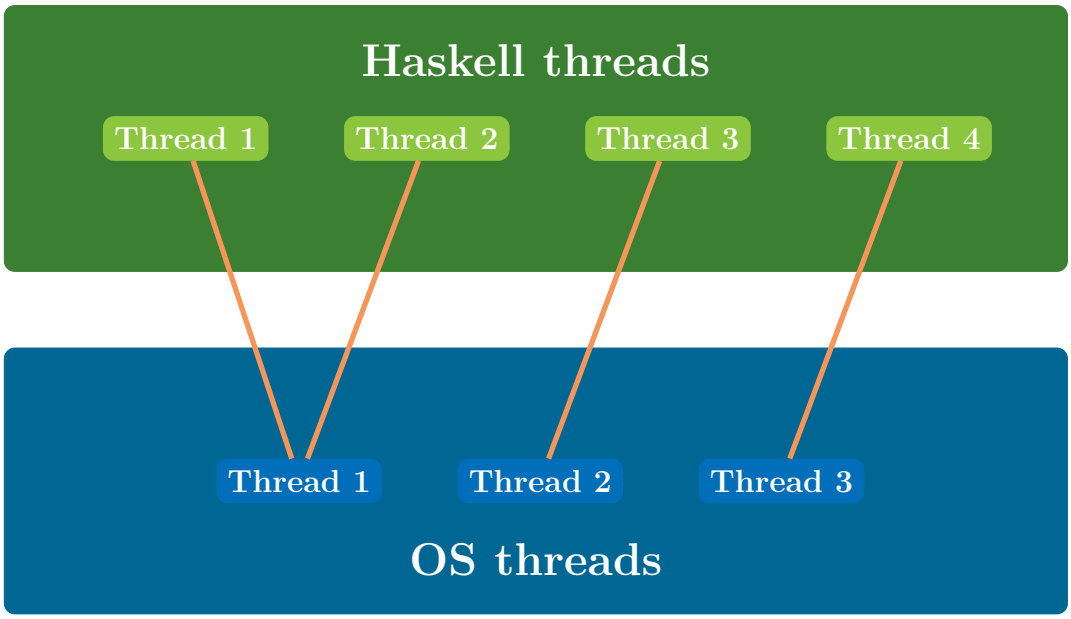
2.1.2 Istodobnost

Istodobnost (engl. *Concurrency*) je svojstvo sustava kojim se istodobno može izvršavati više računskih operacija ili komputacija.

Ekstenzija za istodobnost u Haskell-u se pojavila 1996. godine koja uvodi dva nova idioma u Haskell [5]:

- Procese i mehanizme za stvaranje procesa
- Atomarno promjenjivo stanje

Istodobnost u Haskell-u je uglavnom izvedena pomoću "Zelenih niti" (engl. *Green threads*). Zelene niti se ne izvršavaju u jezgri operativnog sustava već u *Haskell runtime-u*. Haskell ima hibridni višenitni model kojim se N Haskell niti mogu vezivati na M niti operativnog sustava.



Slika 2.3.: N:M višenitni model Haskell-a

Na slici 2.3. je prikazano kako se Haskell niti mapiraju na niti operativnog sustava. Interno se u Haskell-u stvaranje nove niti pretvara u alokaciju strukture koja sprema trenutno stanje niti te se niti pretvaraju u jednu petlju.

Za stvaranje nove niti Haskell nudi `forkIO` funkciju koja je dio `Control.Concurrent` modula [6], a definirana je kao:

```
forkIO :: IO () -> IO ThreadId
```

Što znači da funkcija prima kao prvi argument komputaciju (engl. *computation*) i vraća novu komputaciju koja kao rezultat proizvodi `ThreadId` što nam služi kao referenca na novu nit koju će funkcija stvoriti.

Osim niti za istodobno izvršavanje programa, bitna je i komunikacija između niti. Za komunikaciju između niti Haskell nudi mutabilne dijeljene varijable zvane `MVar` (Mutable Variables) koje se nalaze unutar `Control.Concurrent.MVar` modula [7]. One se mogu koristiti na razne načine:

- Sinkronizirane mutabilne varijable.
- Komunikacijski kanali između niti.
- Binarni semafori.

Nova mutabilna varijabla koja sadrži podatak proizvoljnog tipa može se napraviti s `newMVar`, definirana je kao:

```
newMVar :: a -> IO (MVar a)
```

Nakon što je varijabla stvorena, njom se može na razne načine manipulirati, između ostalog može se zapisati novi podatak u nju, pročitati podatak ili zamijeniti s nekim drugim podatkom.

Čitanje podatka bez njegove izmjene nam omogućuje `readMVar`:

```
readMVar :: MVar a -> IO a
```

Za zamjenu podatka s nekim drugim postoji `swapMVar` funkcija:

```
swapMVar :: MVar a -> a -> IO a
```

Za izmjenu više dijeljenih varijabli postoji `Control.Concurrent.Chan` [8] modul, koji sadržava implementaciju neograničenog komunikacijskog kanala.

Novi komunikacijski kanal se stvara s `newChan` funkcijom:

```
newChan :: IO (Chan a)
```

Funkcija stvara novi prazni komunikacijski kanal određenog tipa te ga vraća kao rezultat. Komunikacijski sprema vrijednosti i čuva ih sve dok ih se ne izvadi iz njega. Služi kao FIFO spremnik vrijednosti određenog tipa.

Novi podatak se u kanal stavlja pomoću `writeChan` funkcijom:

```
writeChan :: Chan a -> a -> IO ()
```

Funkcija kao argument prima komunikacijski kanal i podatak. Tip podatka mora biti istog tipa kao što je određeno pri stvaranju komunikacijskog kanala. Vrijednost se sprema u kanal te će tamo ostat sve dok ona ne bude pročitana sa `readChan` funkcijom:

```
readChan :: Chan a -> IO a
```

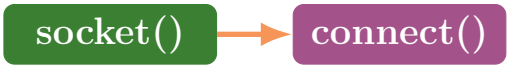
`readChan` funkcija kao argument prima komunikacijski kanal i vraća najstariji podatak koji se nalazi u kanalu.

2.2 Python

Python je interpretiran, objektno orijentiran, programski jezik visoke razine s dinamičkom semantikom. Podatkovne strukture visoke razine i dinamičko pisanje čine ga atraktivnim za vrlo brzo razvijanje aplikacija i za skriptni jezik za spajanje više postojećih komponenti. Python posjeduje jednostavnu i laku sintaksu koja povećava čitljivost i olakšava održavanje software-a [9].

2.2.1 Mrežno programiranje

Slično kao i Haskell, Python pruža sve standardne C funkcije za mrežno programiranje. Sve se bitne funkcije nalaze u `Socket` modulu [10].



Slika 2.4.: Programski tok izrade socket klijenta

Na slici 2.4. je prikazan programski tok izrade socket klijenta. Slično kao i sa serverom, prvo se stvori socket:

```
socket.socket()
```

Socket mora biti iste vrste kao i socket servera na koji se želimo spojiti. Nakon stvaranja socketa potrebno ga je spojiti na serverski kraj socket-a. Spajanje na server se vrši pomoću `connect()` funkcije kojoj se predaje adresa i port socket servera:

```
socket.connect()
```

Nakon spajanja može započeti komunikacija između klijenta i servera. Komunikacija se može izvršiti pomoću standardnih C funkcija `send` i `recv` ili kao i u Haskellu se socket može pretvoriti u handle te ga koristit kao da je datoteka:

```
socket.makefile()
```

Izrada socket-klijenta je daleko lakša od servera pogotovo jer se nerijetko ne moramo brinuti o više istovremenih konekcija.

2.2.2 Urwid

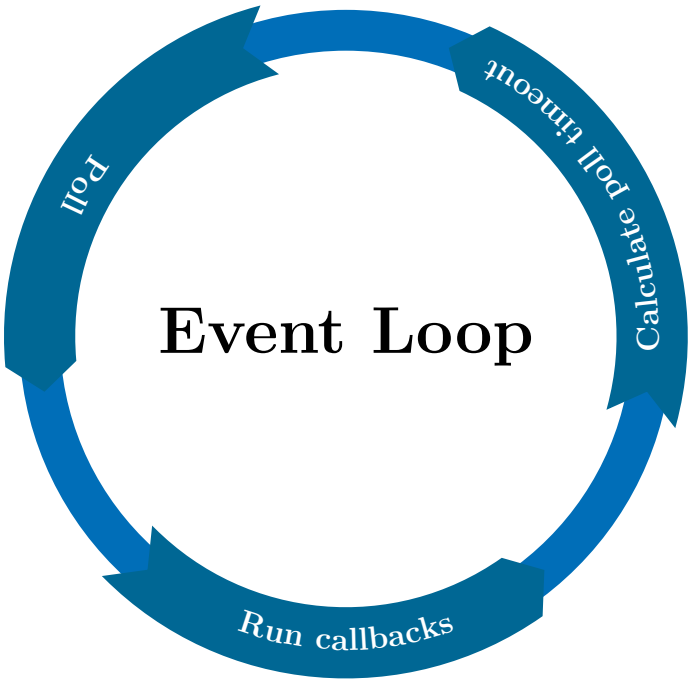
Urwid je Python biblioteka za izradu tekstualnih korisničkih sučelja. Urwid je alternativna biblioteka standardnoj Curses biblioteci [11], interno koristi Curses biblioteku, no Urwid olakšava neke teže poslove pri izradi tekstualnih sučelja [12].

Programi s Curses tekstualnim sučeljem često sliče programima s grafičkim sučeljem koji posjeduju tekstualne kutije, razne forme za ispunjavanje, liste s navigacijskim trakama i gumbe. Takvi grafički elementi ih mogu učiniti lakšim za korištenje naspram standardnih tekstualnih programa, dok i dalje mogu raditi na čisto tekstualnim uređajima. Programi s Curses tekstualnim sučeljem također zahtijevaju manje resursa naspram grafičkih programa.

Urwid koristi događajnu petlju (engl. *Event loop*) koja olakšava rukovanje programskim ulazima i osvježavanje sučelja.

2.2.3 Event loop

Event loop je programski konstrukt koji čeka i otprema događaje ili poruke unutar programa. Event loop šalje zahtjev pružatelju događaja (koji uglavnom blokira sve dok neki događaj ne bude dostupan) te zatim poziva određenog rukovatelja. Event loop je jedan od načina asinkronog programiranja.



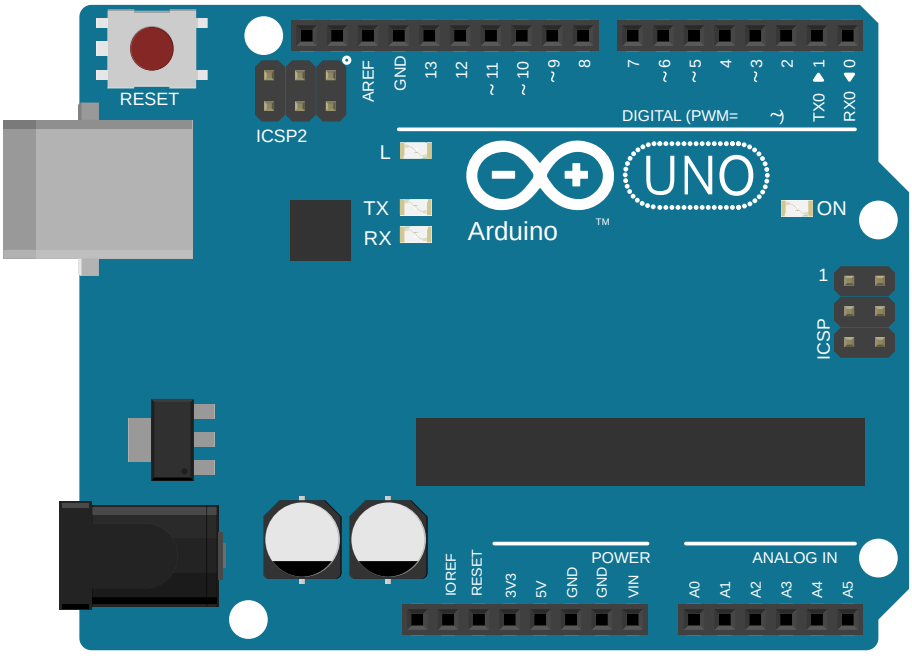
Slika 2.5.: Event loop schematic

Na slici 2.5. je prikazan programski tok Event loop-a. Prvo se izračuna koliko će se čekati na događaj pa se pomoću Unix sistemskog poziva *poll* čeka na događaj te se na kraju poziva funkcija koja je namijenjena za obradu određenog događaja.

2.3 Arduino

Arduino je mali uređaj za izradu računalnih sustava koji mogu mjeriti fizikalne veličine i upravljati fizičkim svijetom. Arduino je open-source računalni sustav koji se bazira na jednostavnoj mikroupravljačkoj pločici i razvojno okruženje za pisanje software-a.

Arduino se može koristiti za razvoj interaktivnih fizičkih objekata, može primati ulazne fizikalne veličine od raznih senzora i upravljati sa svijetlima, motorima ili drugim fizičkim izlazima. Arduino projekti mogu biti samostalni ili mogu komunicirat sa software-om koji se nalazi na računalu. [13].



Slika 2.6.: Arduino UNO mikroupravljačka ploča.[1]

Na slici 2.6. se vidi Arduino UNO mikroupravljačka ploča. Za mikroupravljač se koristi ATmega328 [14]. Mikroupravljačka pločica posjeduje 14 digitalnih ulazno/izlaznih pinova od kojih se 6 mogu koristiti kao pulsno širinski modulirani izlazi, 6 analognih ulaza, 16 MHz keramički oscilator, USB sučelje, ulaz za eksterno napajanje i reset tipku. Pločica se može napajati preko USB sučelja ili preko ulaza za eksterno napajanje. Komunikacija s računalom se odvija preko USB-serijskog sučelja. Za programski dio mikroupravljač sadrži 32 kB programibilne flash memorije.

[1]Izvorna slika, licencirana pod Creative Commons Attribution-ShareALike 3.0 preuzeta je i prilagođena od Fritzing projekta (https://raw.githubusercontent.com/fritzing/fritzing-parts/master/svg/core/breadboard/arduino_Uno_Rev3_breadboard.svg)

2.4 Firmata

Firmata je jednostavan MIDI baziran protokol koji je namijenjen za komunikaciju računala s mikroupravljačem. Cilj mu je omogućiti direktno upravljanje što većim dijelom mikroupravljača od strane računala.

Za podatkovni format protokola odabrane su MIDI [15] poruke. Nije u potpunosti kompatibilan sa MIDI standardom pošto se koristi brža serijska konekcija i poruke se ne preklapaju u svim slučajevima no za parsiranje poruka moguće je koristiti postojeće MIDI parsere.

Protokol se može implementirati kao firmware za bilo koji mikroupravljač ili kao software za računalo. Prva implementacija Firmate za mikroupravljače je bila za Arduino obitelj mikroupravljača. Kao software za računalo postoji mnogo Firmata implementacija za razne jezike između ostalog za Python [16] i Haskell [17]

Naredba	Numerička vrijednost
analog I/O message	0xE0
digital I/O message	0x90
report analog pin	0xC0
report digital port	0xD0
start sysex	0xF0
set pin mode(I/O)	0xF4
set digital pin value	0xF5
sysex end	0xF7
protocol version	0xF9
system reset	0xFF

Tablica 2.1.: Firmata naredbe

Na tablici 2.1. se vide neke od Firmata naredbi i njihove odgovarajuće numeričke vrijednosti. Da bi se naredio reset mikroupravljača jednostavno se preko serijske veze pošalje vrijednost 0xFF te nakon što mikroupravljač primi poruku izvršit će reset rutinu.

2.5 JSON-RPC

JSON-RPC je jednostavan protokol za udaljene proceduralne pozive, ne sadržava stanje i nije definiran kao transportan protokol [18]. Koristi JSON [19] kao podatkovni format.

Pozivna poruka se sastoji od:

- jsonrpc - verzija protokola
- method - ime udaljene metode koja se poziva
- params - ulazni parametri za metodu
- id - identifikacijska oznaka poruke

Ulazni parametri moraju biti strukturiran podatak, mogu biti u obliku niza ili JSON objekt s imenovanim varijablama koje odgovaraju parametrima pozvane metode.

Odgovor se sastoji od:

- jsonrpc - verzija protokola (”2.0”)
- result - rezultat koji vraća pozvana metoda
- error - greška ako ona postoji
- id - identifikacijska oznaka poruke

Ako dolazi do greške odgovor neće sadržavat rezultat, rezultat će biti zamijenjen s greškom, svi ostali dijelovi odgovora ostaju isti. Identifikacijska oznaka u odgovoru mora biti ista kao i u pozivu.

Primjer poziva:

```
{"jsonrpc": "2.0", "method": "subtract", "params": [42, 23], "id": 1}
```

Ovdje se vidi poziv koji koristi verziju 2.0 JSON-RPC protokola, poziva metodu *substract* kojoj predaje parametre u obliku niza (brojčane vrijednosti 42 i 23) te koristi identifikacijsku oznaku s brojem 1.

Primjer odgovora za prethodnu pozivnu poruku:

```
{"jsonrpc": "2.0", "result": 19, "id": 1}
```

U odgovoru se vidi da server koristi isti protokol kao klijent, vraća rezultat pozvane metode te koristi istu identifikacijsku oznaku kao što je dobio u pozivnoj poruci od klijenta.

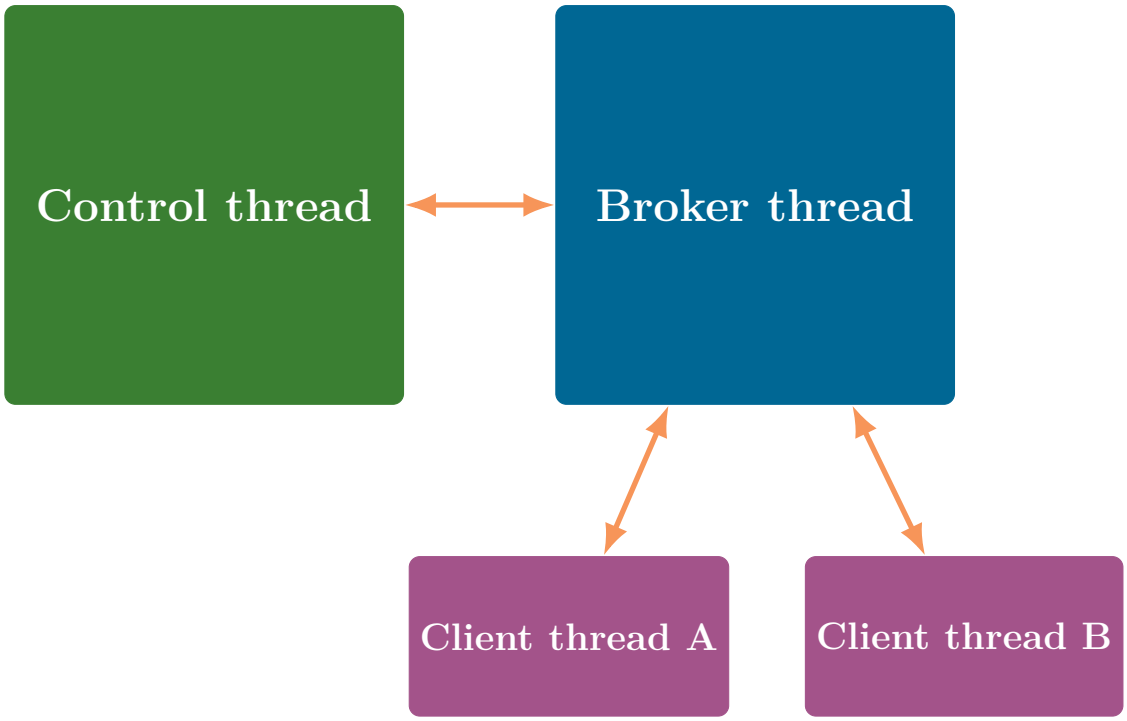
3. IMPLEMENTACIJA

U ovom poglavlju je objašnjena implementacija socket servera, odgovarajućeg klijenta i na kraju samog postrojenja. Detaljno je opisana arhitektura servera, klijenta te izrada makete postrojenja.

3.1 Server

Server je centralni dio rada. Na slici 2.1. u poglavlju 2 se vidi njegova uloga. Komunicira s postrojenjem s jedne strane i s klijentima s druge strane. Dizajn servera se oslanja na istodobnost i modularnost.

Glavni poslovi servera su jasno razdvojeni u različite niti. Server sadržava tri glavne niti od koje se jedna brine oko regulacije postrojenja, jedna prihvaćanju konekcija klijenta i jedna kao posrednička nit između klijenata i regulacijske niti. Nit koja se brine oko prihvaćanju konekcija od strane klijenta za svakog klijenta stvara novu nit te se prihvaćanje novih konekcija nesmetano može nastaviti.



Slika 3.1.: Arhitektura servera

Na slici 3.1. je prikazana komunikacija između pojedinih niti unutar servera. Regulacijska nit označena zelenom bojom čita referentnu vrijednost iz djeljene varijable koju postavlja posrednička nit, označena plavom bojom, a postavlja mjerenu procesnu veličinu u drugu dijeljenu varijablu koje klijentske niti mogu direktno očitati. Zbog zahtjeva za atomarnosti operacija čitanja i pisanja dijeljenih varijabli nije moguće odobriti više od jednoj niti zapisivanje u pojedinu dijeljenu varijablu, te radi toga postoji posrednička nit koja od raznih klijentskih niti preuzima referentnu vrijednost i atomarno prosljeđuje regulacijskoj niti.

```
startDaemon :: Integer -> FilePath -> Bool -> IO ()
startDaemon port arduinoPort simulate = do
    sock <- socket AF_INET Stream 0

    bindSocket sock $ SockAddrInet (fromInteger port) iNADDR_ANY
    listen sock 50

    pv <- newMVar 0
    referenceChan <- newChan
    let com = ProcCom pv referenceChan

    _ <- forkIO $ serverLoop sock com

    controllerBroker arduinoPort simulate com
```

Ispis koda 3.1: Main entry point

Na ispisu koda 3.1 je prikazana glavna funkcija, zvana `startDaemon`, koja pokreće server. Funkcija prolazi skoro kroz sve korake koji su prikazani na slici 2.2. u poglavlju 2.1.1, prvo stvara socket, te ga povezuje s lokalnom adresom i portom. Nakon toga se socket pretvara u pasivni socket koji prihvaća maksimalno 50 konekcija. Nakon stvaranja socketa i njegove pripreme stvara se jedna dijeljena varijabla te jedan komunikacijski kanal.

Dijeljena varijabla će sadržavati mjerenu procesnu veličinu, to jest razinu vode u spremniku, dok će se komunikacijski kanal puniti sa željenim referentnim veličinama od strane klijenata. Kako pojedina referentna veličina stigne od strane klijenta ona se stavlja u komunikacijski kanal te će ih kasnije posrednička nit vaditi iz komunikacijskog kanala te proslijediti regulacijskoj niti.

Na kraju se logika za socket server odvaja u novu nit sa `forkIO` funkcijom koja kao argument prima `serverLoop` funkciju i njene argumente. Glavna nit poziva `controllerBroker` funkciju koja će nastavit sa pripremom regulacijske niti.

```haskell
serverLoop :: Socket -> ProcCom PVType -> IO ()
serverLoop sock com = do
    (s, host) <- accept sock
    let hostinfo = show host
    noticeM rootLoggerName $ "Connected:     " ++ hostinfo
    hdl <- socketToHandle s ReadWriteMode
    _ <- forkIO $ runConn hdl com hostinfo

    serverLoop sock com
```

Ispis koda 3.2: Server mainloop

Na ispisu koda 3.2 se vidi `serverLoop` funkcija, ona sa funkcijom `accept` čeka na konekciju klijenta, funkcija blokira sve dok se klijent ne spoji.

Za svakog klijenta koji se spoji na server ispisuje se informacija o klijentu, pretvara se socket u handle sa `socketToHandle` funkcijom, te se stvara nova nit koja će izvržavati `runConn` funkciju, ona je zadužena za komunikaciju s klijentom te će obraditi sve zahtjeve koje klijent pošalje. Nakon pokretanja nove niti funkcija rekurzivno poziva samu sebe, rekurzivni poziv služi kao beskonačna petlja.

Socket pretvoren u handle u `ReadWrite` mode-u te sa klijentima možemo komunicirati sa nizom standardnih IO funkcija:

- `hGetChar :: Handle -> IO Char`
- `hGetLine :: Handle -> IO String`
- `hPutChar :: Handle -> Char -> IO ()`
- `hPutStr  :: Handle -> String -> IO ()`

Gore navedene funkcije su ekvivalentne standardnim C funkcijama: `getchar`, `gets`, `putchar` i `puts`.

```haskell
runConn :: Handle -> ProcCom PVType -> String -> IO ()
runConn hdl com hostinfo = do
    isEof <- hIsEOF hdl

    if isEof then do
        hClose hdl
        noticeM rootLoggerName $ "Disconnected: " ++ hostinfo
    else do
        contents <- hGetLine hdl
        debugM rootLoggerName $ "RPC request : " ++ contents

        response <- handleMsg com $ C.pack contents
        debugM rootLoggerName $ "RPC response: " ++ C.unpack response

        C.hPutStrLn hdl response
        runConn hdl com hostinfo
```

Ispis koda 3.3: Client handler thread

Na ispisu koda 3.3 je `runConn` funkcija koja se brine o komunikaciji s klijentom. Komunikacija s klijentom se vrši pomoću `hGetLine` i `hPutStr` funkcija. Ukoliko funkcija pronađe *end of file* znak zatvara handle, ispisuje informaciju o odpajanju i gasi nit, ukoliko pročita čitavu liniju sprema string u `contents` varijablu.

Nakon što je string spremit, ukoliko je to poželjno, ispisuje se njegov sadržaj te se poziva `handleMsg` funkcija koja obrađuje poruku ukoliko je ona valjana, izvršava određenu radnju koja je zatražena u poruci te odgovor sprema u `response` varijablu. Odgovor se također ispisuje te se odgovor šalje spojenom klijentu. Na kraju funkcija rekurzivno poziva samu sebe da bi bila spremna obraditi sljedeći RPC poziv.

```haskell
controllerBroker :: FilePath -> Bool -> ProcCom PVType -> IO ()
controllerBroker arduinoPort simulate (ProcCom pvMVar refChan) = do
    refMVar <- newMVar 0

    _ <- forkIO $ forever $ do
            ref <- readChan refChan
            swapMVar refMVar ref

    if simulate then
        simulatorLoop refMVar pvMVar
    else do
        controlLoop arduinoPort refMVar pvMVar
        shutDownArduino arduinoPort

    noticeM rootLoggerName "Shutting daemon down."
```

Ispis koda 3.4: Controler broker

Ispis koda 3.4 sadržava `controllerBroker` funkciju, ona je zadužena za pokretanje regulacijske logike te za komunikaciju između klijenata i regulatora.

Prvo se stvara nova dijeljena varijabla, ona će sadržavati referentnu veličinu procesne varijable te će iz nje će regulator čitati referentnu veličinu. Stvara se nova nit koja čita redom referentne vrijednosti koje su postavili klijenti u komunikacijski kanal te je postavlja u dijeljenu varijablu, funkcija te niti je zapakirana u `forever` funkciju koja nam služi kao beskonaćna petlja.

Nakon što je posrednička i komunikacijska nit stvorena funkcija je spremna pokrenuti regulator. Moguće je pokrenuti simulaciju postrojenja ukoliko arduino i postrojenje nisu spojeni sa `simulatorLoop`.

Ukoliko se ne pokreće simulacija postrojenja pokreće se `controlLoop` funkcija, u njoj je implementiran jednostavni PI regulator [20, str. 494]. Nakon sto `controlLoop` funkcija završi zbog gašenja servera ili greške pri komunikaciji s regulatorom poziva se `shutDownArduino` funkcija koja šalje mikroupravljaču reset signal kako bi on bio u poznatom i ugašenom stanju.

Jedine dvije funkcije koje ovise o mikroupravljaču koji se koristi su `controlLoop` i `shutDownArduino` te se socket server može prilagoditi bilo kojem mikroupravljaču ili procesu.

```
# ardaemon --help
Arduino control daemon 0.1

options [OPTIONS]

Common flags:
  -p --port=INT          Listnening port
  -a --arduinoport=ITEM  Path to the arduino serial port
  -s --simulate          Simulate controller
  -d --debugregulator    Enable debugging info for the regulator
  -v --verbose           Output more
  -? --help              Display help message
  -V --version           Print version information
     --numeric-version   Print just the version number
```

Ispis koda 3.5: Daemon help

Ispis koda 3.5 prikazuje moguće opcije za pokretanje servera. *port* opcija podešava TCP port na kojem će server slušati, *arduinoport* opcija prima serijski port na kojem se nalazi arduino mikroupravljač. Najzanimljivija opcija je *simulate* opcija. Ona naređuje serveru da pokrene simulaciju postrojenja te više ne zahtjeva arduino za rad.

Mogućnost simulacije postrojenja olakšala je izradu servera, usmjerila server ka modularnom dizajnu i ubrzala i olakšala izradu klijenta. Simulacijska funkcija izvšava sve bitne operacije normalne regulacijske funkcije (čitanje referentne vrijednosti i osvježavanje trenutne vrijednosti sustava) no to čini bez senzora i aktuatora, već je postrojenje matematički simulirano.

Slijedeće dvije opcije *debugregulator* i *verbose* uključuju ispis za debugiranje regulatora ili servera. Sa *debugregulator* regulacijska nit ispisuje informacije o stanju sustava i regulatora za svaku iteraciju regulacijske petlje, dok *verbose* opcija ispiuje informacije o primljenim RPC pozivima te odgovarajućim odgovorima.

Ostale tri opcije *help*, *version* i *numeric-version* ispisuju samo informacije o serveru te ne pokreću server, *help* ispisuje informacije o serveru viđene na ispisu koda 3.5, *version* ispisuje ime i trenutnu verziju servera dok *numeric-version* ispisuje samo trenutnu verziju.

3.2 Klijent

Klijent je korisnicima najatraktivniji dio rada, on korisniku omogućuje pomoću grafičkog prikaza uvid u stanje postrojenja u stvanrom vremenu i lagano upravljanje postrojenjem. Klijent je pisan u Pythonu i pomoću asinkronog programskog modela je omogućen grafički prikaz koji je reaktivan te ne blokira izvođenje programa u niti jednom trenutku.

```
def main():
    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    sock.connect((args.host, args.port))

    tank = TankWidget()
    command_line = CommandLine(cmd_list, remote_cmds, sock)
    top = urwid.Frame(tank, None, command_line, 'footer')

    evl = urwid.AsyncioEventLoop(loop=asyncio.get_event_loop())
    loop = urwid.MainLoop(top, palette, event_loop=evl)

    loop.watch_file(sock.fileno(), read_cb)
    loop.set_alarm_in(0.1, periodic_tasks)

    loop.run()
```

Ispis koda 3.6: Client main loop

Ispis koda 3.6 sadržava main funkciju klijenta. Funkcija započinje sa stvaranjem socketa te se odmah spaja na server. Nakon spajanja slijedi inicijalizacija grafičkih elemenata. Grafičko sučelje se sastoji od dva grafička elementa: `TankWidget` i `CommandLine`.

`TankWidget` je zadužen za iscrtavanje shematskog prikaza postrojenja. Iscrtava shemu spremnika vode i njegovo trenutno stanje. Za iscrtavanje koristi Unicode Brailleove znakove koji su se pojavili u 3.0 verziji Unicode standarda [21].

`Commandline` stvara komandnu liniju koja je zadužena za primanje naredbi od strane korisnika te ih izvršava sam ukoliko su lokalne naredbe ili ih prosljeđuje serveru preko socketa. Komandna linija podržava standardne *Emacs* kratice i upotpunjavanje naredbi pomoću *tab* tipke.

Nakon inicijalizacije grafičkog sučelja stvara se event loop te se dodaje prije stvoreni socket na listu praćenih događaja sa `read_cb()` funkcijom koja se poziva ukoliko podatci stignu na socket. Također se dodaje vremenski događaj koji će pozvati `periodic_tasks()` funkciju 0.1 sekundu nakon što se event loop počne izvršavati, ona je zadužena za periodičko

osvježavanje stanja postrojenja.

Na kraju se samo još pokreće event loop koji će se izvršavati sve dok korisnik pomoću komandne linije ne preda naredbu za gašenje programa.

```
    def periodic_tasks(loop, data):
        request , _ = lvl_cmd('update-tank', [])
        try:
            sock.send(bytes(request, 'utf-8'))
        except BrokenPipeError as e:
            pass

        tank.update()

        loop.set_alarm_in(args.interval, periodic_tasks)
```

Ispis koda 3.7: Periodic update dings

Na ispisu koda 3.7 se vidi `periodic_tasks()` funkcija. Ona stvara RPC poziv sa *update-tank* metodom te ga šalje preko socket-a server-u.

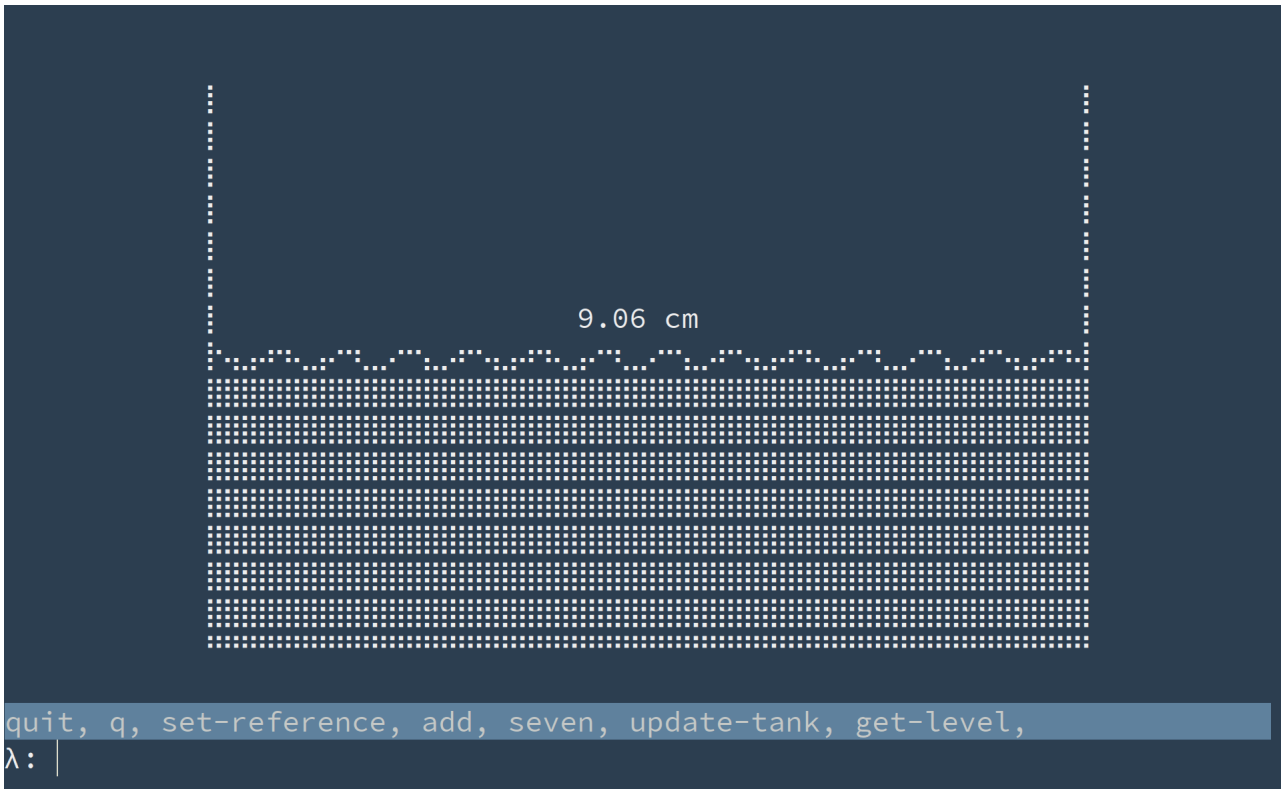
Nakon slanja RPC poziva poziva `update()` metodu *TankWidget* grafičkog elementa, ona ukoliko je došlo do promjene u stanju postrojenja osvježava iscrtavanje njegovog shematskog prikaza.

Na kraju se još dodaje novi vremenski događaj koji će pozvati `periodic_tasks()` funkciju ponovno. Interval koliko često se izvršavaju periodički poslovi se može namjestiti od strane korisnika na komandnoj liniji pri pokretanju klijenta.

```
# arclient --help
optional arguments:
  --help                show this help message and exit
  --port PORT           port to use (Default 4040)
  --host HOST           host to connect to (Default localhost)
  --interval INTERVAL   update interval
```

Ispis koda 3.8: Client help output

Na ispisu koda 3.8 su prikazane moguće opcije pri pokretanju klijenta. *help* opcija ispisuje informacije o klijentu viđene na ispisu koda 3.8, *port* opcija postavlja korišteni TCP port pri spajanju na server, *host* opcija postavlja adresu koja će se koristiti pri spajanju i *interval* opcija postavlja interval za osvježavanje stanja sustava i grafičkog sučelja.



Slika 3.2.: Prikaz klijenta

Na slici 3.2. je prikazano grafičko sučelje klijenta. Gornji dio grafičkog sučelja prikazuje shematski prikaz spremnika vode i razinu vode u stvarnom vremenu. Iznad razine vode ispisana je zadnje mjerena razina vode.

Ispod shematskog prikaza spremnika vode nalazi se informacijski dio komandne linije to jest statusna linija gdje su trenutno ispisane sve podržane naredbe:

- quit
- q
- set-reference
- add
- seven
- update-tank
- get-level

Naredbe su odvojene u lokalne i udaljene naredbe. Lokalne naredbe su: *quit* i *q*. Naredba *quit* služi za gašenje klijenta, a naredba *q* je samo alias na naredbu *quit*.

Udaljene naredbe su: *set-reference*, *add*, *seven*, *update-tank*, *get-level*. Sve udaljene naredbe generiraju JSON-RPC poziv te ga šalju serveru i registriraju funkcije koje će obraditi odgovor kad on stigne.

Naredba *set-reference* je najvažnija naredba klijenta, ona nam omogućuje promjenu referentne vrijednosti u stvarnom vremenu. Kao argument prima razinu vode u boci te ga spremi u JSON-RPC poziv. Ukoliko dolazi do greške, greška se ispisuje u statusnoj liniji.

Naredba *add* je testna naredba koja prima dva brojčana argumenta te ih serveru u JSON-RPC pozivu šalje. Server će zbrojiti primljene brojčane argumente i rezultat zbrajanja poslati natrag u JSON-RPC odgovoru. Nakon što odgovor stigne njegov rezultat bit će prikazan u statusnoj liniji.

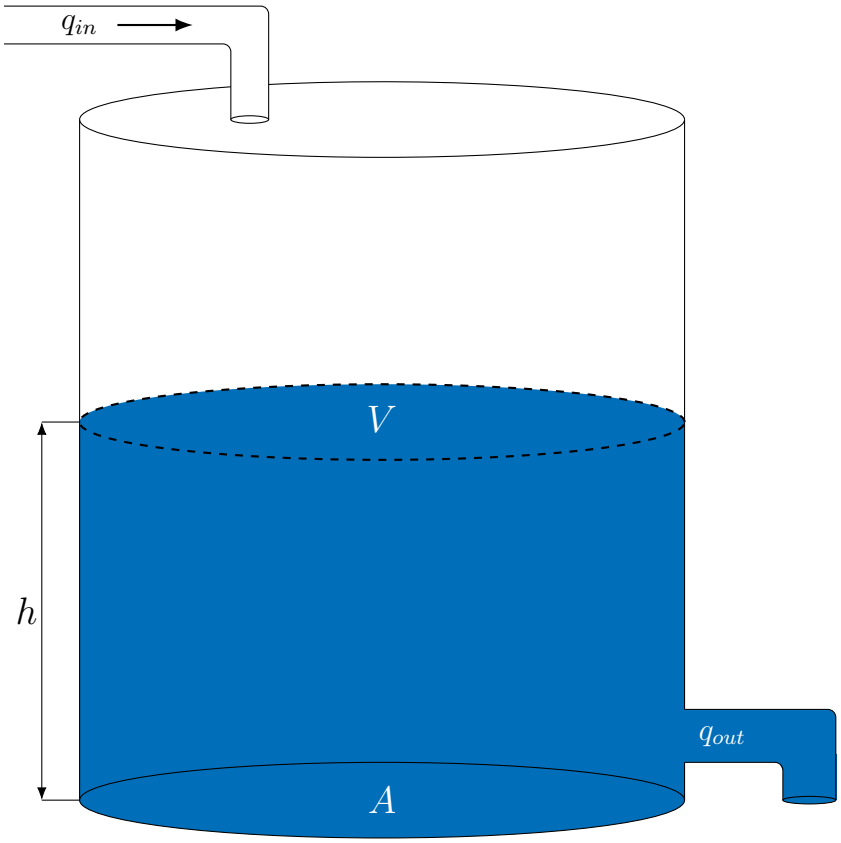
Naredba *seven* je također testna naredba, ona šalje serveru unutar JSON-RPC poziva broj sedam. Server u JSON-RPC odgovoru šalje istu brojčanu vrijednost natrag. Naredba služi kao jednostavni *echo* test. Rezultat odgovora se prikazuje u statusnoj liniji.

update-tank naredba je naredba koja se izvršava automatski kao dio periodičkih zadataka koje event loop obavlja. Naredba dohvaća trenutnu razinu postrojenja te ga prosljeđuje `TankWidget` grafičkom elementu koji osvježava iscrtavanje shematskog prikaza ukoliko je došlo do promjene. *get-level* naredba šalje isti JSON-RPC poziv kao i *update-tank* naredba no umjesto da trenutnu razinu prosljedi grafičkom elementu za prikaz ona razinu jednostavno prikaže u statusnoj liniji.

Ispod statusne linije nalazi se sama komandna linija u koju je moguće prije navedene naredbe upisati.

3.3 Postrojenje

Postrojenje je napravljeno u obliku makete spremnika u kojem se održava razina vode. Ulazni tok u spremnik je ostvaren pomoću vodene pumpe kojoj se brzinom može upravljati pomoću pulsno širinske modulacije. Izlazni tok spremnika je ostvaren pomoću otvora pri dnu spremnika te voda slobodnim padom teće iz spremnika. Razina u spremniku se direktno mjeri pomoću senzora.



Slika 3.3.: Shematski model postrojenja

Na slici 3.3. se vidi postrojenje. Iznad glavnog spremnika se vidi ulazna cijev sa ulaznim tokom q_{in} dok se u desnom dijelu glavnog spremnika nalazi otvor za izlazni tok q_{out}.

Razina vode u spremniku označena je sa h dok je volumen koji voda zauzima u spremniku označen sa V. Površina poprečnog presjeka spremnika je označena sa A.

3.3.1 Matematički model postrojenja

Volumen vode u spremniku ovisi o ulaznom toku i izlaznom toku. Volumen će ostat konstantan ukoliko su ulazni i izlazni tok isti dok će se volumen vode mijenjati ovisno o razlici ulaznog toka i izlaznog toka, s toga možemo reći:

$$\frac{dV}{dt} = q_{in} - q_{out} \tag{3-1}$$

Gdje je ulazni tok definiran kao:

$$q_{in} = k_p U \tag{3-2}$$

gdje je:

k_p - konstanta pumpe

U - napon pumpe

Izlazni tok je određen pomoću Torricellijevog zakona [22, str. 75]:

$$q_{out} = a\sqrt{2gh} \tag{3-3}$$

gdje je:

a - poprečni presjek izlazne cijevi

g - ubrzanje zemljine sile teže (9.80665 $\mathrm{m/s^2}$)

h - visinska razina vode u spremniku

Pošto je spremnik cilindričnog oblika možemo za volumen spremnika vrijedi jednakost $V = Ah$. Uvrštavanjem ulaznog i izlaznog toka te jednakosti za volumen u jednadžbu 3-1 dobiva se:

$$A\frac{dh}{dt} = k_p U - a\sqrt{2gh} \tag{3-4}$$

Iz jednadžbe 3-4 se vidi da ona sadržava nelinearni element u obliku $a\sqrt{2gh}$, da bi uspješno mogli analizirati sustav i primjeniti Laplaceovu transformaciju jednadžba koja opisuje sustav mora biti linearizirana [20, str. 88-97]:

$$\frac{d\delta h}{dt} = \frac{k_p}{A}\delta U - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_0}}\delta h \tag{3-5}$$

gdje je:

h_0 - radna točka oko koje je sustav lineariziran

Konstantne vrijednosti uz δU i δh se radi jednostavnosti mogu staviti u poseban izraz:

$$\frac{d\delta h}{dt} = k_1 \delta U - k_2 \delta h \tag{3-6}$$

Sada se može primjeniti Laplaceova transformacija [20, str. 35-44] pri čemu dobiva se:

$$sH(s) = k_1 U(s) - k_2 H(s) \tag{3-7}$$

Nakon grupiranja $H(s)$ elemenata na lijevoj strani jednadžbe dobiva se:

$$H(s)(s + k_2) = k_1 U(s) \tag{3-8}$$

Te konačno se dobiva prijenosna funkcija sustava [20, str. 45]:

$$G(s) = \frac{H(s)}{U(s)} = \frac{k_1}{s + k_2} \tag{3-9}$$

Iz jednadžbe 3-9 se vidi da jednadžba predstavlja sustav prvog reda [20, str. 166]. Osim što je sustav poprilično jednostavan on je i samo stabilizirajući [23] tj. za svaku ulaznu veličinu sustav će se nakon određenog vremena stabilizirati.

Zbog jednostavnosti sustava možemo odabrati jednostavni PI regulator koji će omogućiti brz dolazak u stacionarno stanje te smanjiti regulacijsku grešku stacionarnog stanja.

3.3.2 Senzor i aktuator

Da bi regulator mogao obavljati svoj posao mora imati uvid u stanje sustava te mora imat način na koji promjeniti stanje. Uvid u stanje regulatoru pruža senzor razine tekućine a promjena stanja je moguća pomoću pumpe tekućine.

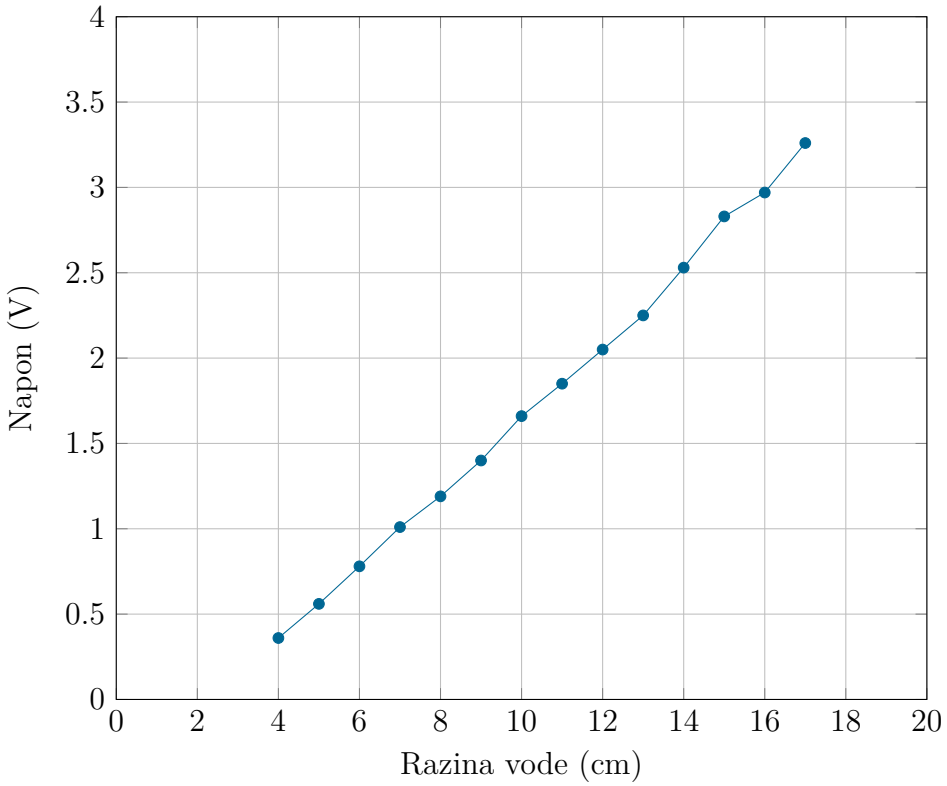
Za senzor je korišten *eTape* senzor razine tekućine [24]. Senzor je realiziran kao promjenjivi otpornik čiji se otpor mijenja ovisno na kojem dijelu senzora hidostatski tlak tekućine pritišće senzora. Izlazni otpor senzora je inverzno proporcionalan sa razinom tekućine.

Radi veće preciznosti mjerenja izlazni otpor senzora pretvara se u napon raspona od $0 - 5$ V. Pretvorba izlaznog otpora u napon je ostvarena pomoću $0 - 5$ V *Linear Resistance to Voltage Module* istog proizvođača kao i senzor [25].

Napon (V)	0.36	0.56	0.78	1.01	1.19	1.40	1.66
Razina vode (cm)	4	5	6	7	8	9	10
Napon (V)	1.85	2.05	2.25	2.53	2.83	2.97	3.26
Razina vode (cm)	11	12	13	14	15	16	17

Tablica 3.1.: Kalibracijske vrijednosti senzora

U tablici 3.1. se vide mjerene naponske vrijednosti senzora uz određene razine vode. Senzor ima mrtvi pojas od $0 - 2.54$ cm u kojem se otpor te u konačnici napon ne mijenjaju.



Slika 3.4.: Graf odziva senzora

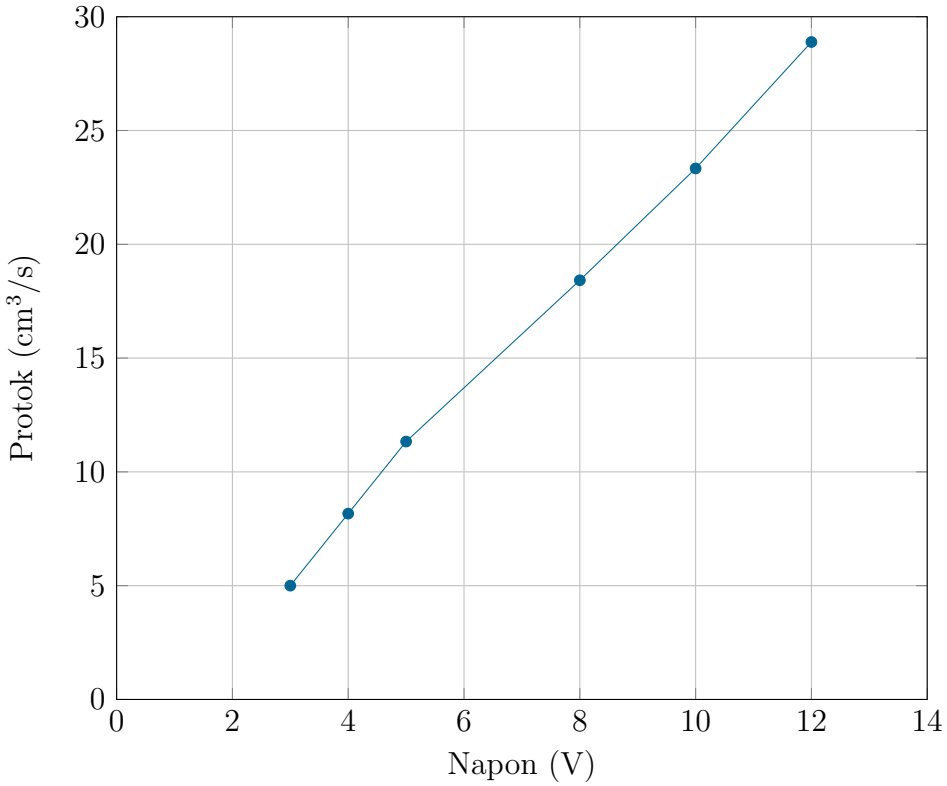
Na grafu 3.4. se vidi promjena napona ovisno o razini vode. Jasno je vidljiv linearni odziv senzora.

Pumpa koja je odabrana je mala pumpa za modelske svrhe maksimalnog protoka od 1.84 l/min. Protok pumpe se može regulirati naponski. Minimalni napon pumpe je 3 V, a maksimalni 12 V.

Napon (V)	12	10	8	5	4	3
Protok (cm^3/s)	28.8889	23.3332	18.4193	11.3328	8.1663	5.0008

Tablica 3.2.: Kalibracijske vrijednosti pumpe

U tablici 3.1. se vidi mjereni protok pumpe senzora uz određene naponske razine.

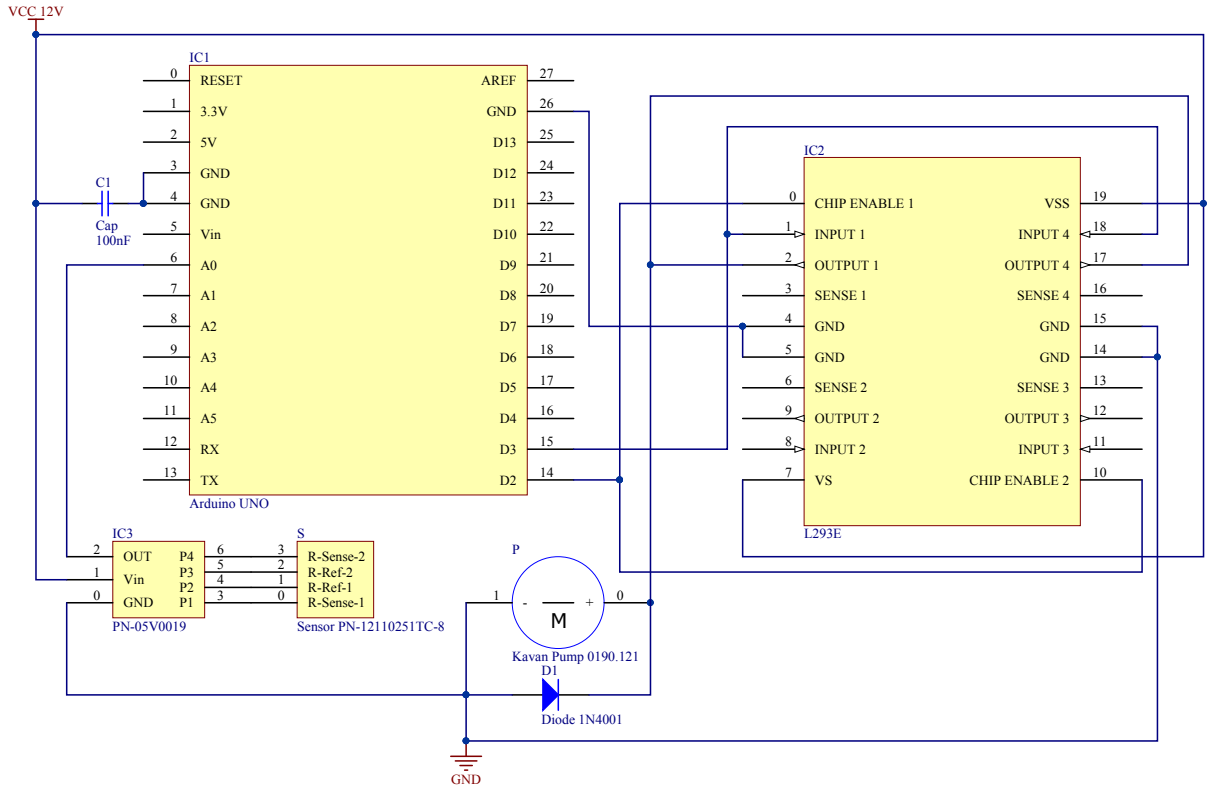


Slika 3.5.: Graf odziva pumpe

Na grafu 3.5. se vidi promjena protoka pumpe ovisno o naponskoj razini. Zbog ograničenog maksimalnog protoka pumpe brzina odziva sustava ovisi o veličini spremnika. Za relativno brz odziv sustava je odabrana boca volumena od 1 l. Boca je cilindričnog oblika radius joj je 4 cm, a visina nešto ispod 20 cm. Zbog mrtvog pojasa senzora regulacija ispod 3 cm nije moguća.

3.3.3 Arduino shield

Operativni napon izlazno/ulaznih pinova Arduino mikroupravljačke pločice je u rasponu od $0 - 5$ V te nije u stanju iskoristiti čitav operativni raspon pumpe. Da bi se mogao iskoristiti čitav operativni raspon pumpe koristi se *L293E* integrirani krug za pogon istosmjernih motora [26].



Slika 3.6.: Električna shema postrojenja

Slika 3.6. prikazuje potpunu električnu shemu postrojenja gdje je:

IC1 - Arduino mikroupravljačka pločica

IC2 - L293E IC za pogon istosmjernih motora

IC3 - Modul koji pretvara otpor senzora u napon

S - *eTape* senzor razine tekućine

P - 12 V pumpa

D1 - zaštitna dioda

C1 - stabilizacijski kondenzator

Shema također prikazuje spojeve između svih komponenti postrojenja. Analogni ulaz Arduina A0 je spojen na izlaz IC3 modula. Arduino na analognom ulazu A0 prima $0 - 5$ V signal koji je proporcionalan sa razinom vode. Na *L293E* integriranom krugu su pinovi za pogon prvog i četvrtog kanala kratkospojeni te se opterećenje tjekom rada raspodjeljuje na oba kanala.

Digitalni pin D2 koji je konfiguriran kao izlaz je spojen na *Chip Enable* pin *L293E* integriranog kruga, s njime se upravlja aktivaciju pogonskih kanala integriranog kruga. Napon na izlazu *L293E* integriranog kruga ovisi o naponu na ulazu, ulaznim naponom upravljamo pomoću izlaznog pina D3 na Arduinu.

D3 pin Arduina je konfiguriran kao pulsno širinski izlazni pin. Izlazni pin *L293E* integriranog kruga je spojen na pumpu. Paralelno s pumpom je u spoju dioda D1, ona štiti strujni krug od induktivnog napona koji se pojavljuje pri gašenju pumpe.

3.3.4 Regulator

Regulator koji je dio servera komunicira s Arduinom te pomoću Arduina upravlja s postrojenjem. Osnovna zadaća mu je primiti željenu referentnu vrijednost te sustav dovesti u novo stacionarno stanje i držati ga tamo.

Radi jednostavnosti i niskog reda sustava za regulator je odabran PI regulacijski algoritam.

```
forever $ do
    reference <- liftIO $ readMVar refMVar
    integral  <- liftIO $ takeMVar integralMVar

    sensorValue <- analogRead sensor
    let fillHeight = sensorValueFunc sensorValue
    _ <- liftIO $ swapMVar pvMVar fillHeight
    let error = reference - fillHeight

    let proportional_term = kp * error
    let integral_term     = integral + ki * error / sampleTime
    liftIO $ putMVar integralMVar integral_term

    let output = clampAndScaleOutput $ proportional_term + integral_term

    analogWrite pwm_pin output
    delay sampleTime
```

Ispis koda 3.9: Regulacijska petlja

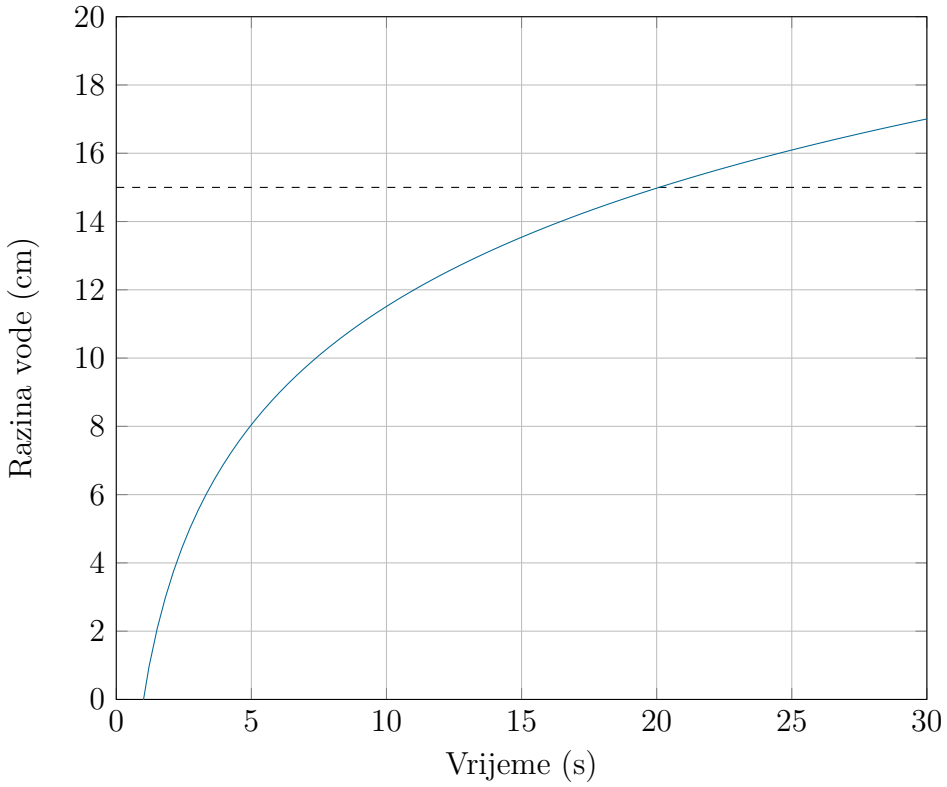
Na ispisu koda 3.9 je prikazana regulacijska funkcija koja se nalazi unutar servera. Prvo se uzima referenca i vrijednost integratora iz dijeljenih varijabli. `integralMVar` je interna varijabla regulatora gdje se sprema akumulirana vrijednost integratora dok je `refMVar` dijeljena varijabla u koju posrednička funkcija stavlja referentnu vrijednost.

Odmah nakon čitanja dijeljenih varijabli zatražuje se od Arduina trenutna razina vode pomoću `analogRead` funkcije. Razina se pretvara iz naponske vrijednosti u visinu pomoću `sensorValueFunc` te se sprema u `fillHeight` varijablu i prosljeđuje ostatku servera spremajući je u za to namjenjenu dijeljenu varijablu.

Nakon što je mjerenje izvršeno i preuzeta je trenutna referentna vrijednost, pomoću istih se računa odstupanje od referentne vrijednosti te se sprema u `error` varijablu. Integralni dio regulatora se sprema u prije spomenutu varijablu `integralMVar` koja će je sačuvati za sljedeću iteraciju regulacijske petlje.

Sada se mogu proporcionalni i integralni članovi regulatora izračunati te zbrojiti. Funkcija `clampAndScaleOutput` ograničava izlaz regulatora na operativni raspon pumpe, brine se o tome da pumpa ne pokušava raditi na naponu ispod 3 V.

Preostaje samo poslati novu naponsku razinu na Arduinu te će ju on primjeniti na pulsno širinskom pinu i tako postaviti protok pumpe. Nakon toga petlja čeka određeno vrijeme te ponovno izvršava sve navedene korake.



Slika 3.7.: Graf odziva regulatora

Na slici 3.7. je prikazan odziv regulatora uz $k_p = 4$ i $k_i = 1.5$.

4. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen i predstavljen socket server za komunikaciju s postrojenjem. Server komunicira s Arduino mikroupravljačkom pločicom i upravlja s postrojenjem koje je spojeno na pločicu. Demonstrirano je uspješno automatsko upravljanje razine vode u spremniku. Razvijen je i klijent koji u stvarnom vremenu daje uvid u stanje postrojenja te omogućuje udaljenu promjenu regulirane veličine. Tijekom izrade je glavni problemi su bili omogućavanje istovremenog obavljanja poslova regulacije i posluživanja podataka udaljenim klijentima, izrada makete postrojenja te povezivanje svih dijelova rada u cijelinu.

Predstavljeno riješenje koje koristi regulator unutar socket servera ima svoje prednosti i nedostatke. Nedostatci su vezani uz brzinu regulacije, zbog serijskog protokola koji je korišten za komunikaciju postrojenja i socket servera nije moguće regulirati procese koji imaju jako ograničene vremenske zahtjeve. Zahtjev za dodatnim računalom pored mikroupravljača za obavljanje posla regulacije je također jedan nedostatak. Prednosti su mogućnost rapidnog razvoja regulatora, mogućnost izmjene regulatora bez ponovnog programiranja mikroupravljača, fleksibilnost i mogućnost udaljenog upravljanja postrojenjem.

Široka dostupnost jeftinih mikroupravljača te malih računalnih platformi omogućuje korištenje predstavljenog riješenja u razne svrhe kućne automatizacije. Moguća je izrada mreže automatizirnih procesa kojima je omogućeno daljinsko upravljanje pomoću socket servera.

Riješenje također ima visoki potencijal za poboljšanja. Moguće je poboljšati parametre regulatora te ostvariti bolje upravljanje, prebaciti regulator na mikroupravljač te tako smanjiti latenciju. Na serveru mogu lako biti implementirane razne vrste regulatora te bi se one mogle dinamički izmjenjivati. Komunikacija klijenta i servera se izvršava ne kriptirana, također na serveru može biti implementiran zahtjev za autentikacijom prije nego se dozvoli uvid u stanje postrojenja.

LITERATURA

[1] *Haskell Wiki Introduction*. URL: https://wiki.haskell.org/Introduction.

[2] Paul Hudak i dr. „A History of Haskell: Being Lazy with Class". *Proceedings of the Third ACM SIGPLAN Conference on History of Programming Languages*. HOPL III. San Diego, California: ACM, 2007, str. 1–55. ISBN: 978-1-59593-766-7. DOI: 10.1145/1238844.1238856. URL: http://doi.acm.org/10.1145/1238844.1238856.

[3] *Network.Socket Documentation*. URL: https://hackage.haskell.org/package/network-2.6.0.2/docs/Network-Socket.html.

[4] Andrew M. Rudoff W. Richard Stevens Bill Fenner. *Unix Network Programming Volume 1, Third Edition: The Sockets Networking API*. Addison-Wesley Professional, 2003. ISBN: 0131411551.

[5] Simon Peyton Jones, Andrew Gordon i Sigbjorn Finne. „Concurrent Haskell". *Proceedings of the 23rd ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages*. POPL '96. St. Petersburg Beach, Florida, USA: ACM, 1996, str. 295–308. ISBN: 0-89791-769-3. DOI: 10.1145/237721.237794. URL: http://doi.acm.org/10.1145/237721.237794.

[6] *Control.Concurrent Documentation*. URL: https://hackage.haskell.org/package/base-4.7.0.2/docs/Control-Concurrent.html.

[7] *Control.Concurrent.MVar Documentation*. URL: https://hackage.haskell.org/package/base-4.7.0.2/docs/Control-Concurrent-MVar.html.

[8] *Control.Concurrent.Chan Documentation*. URL: https://hackage.haskell.org/package/base-4.7.0.2/docs/Control-Concurrent-Chan.html.

[9] Guido Van Rossum i Fred L. Jr. Drake. *The Python Language Reference Manual*. Network Theory Ltd., 2011. ISBN: 1906966141.

[10] *Python Documentation - Low-level networking interface*. URL: https://docs.python.org/3/library/socket.html.

[11] *NCURSES FAQ*. URL: http://invisible-island.net/ncurses/ncurses.faq.html.

[12] *Urwid Manual*. URL: http://urwid.org/manual/overview.html.

[13] *Arduino Introduction*. URL: http://www.arduino.cc/en/guide/introduction.

[14] *ATMEL 8-Bit Microcontroller with 4/8/16/32KB Flash Datasheet*. URL: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf.

[15] MIDI Manufacturers Association Incorporated. *Table of MIDI Messages*. Teh. izv. URL: http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php.

[16] *pyFirmata*. URL: https://github.com/tino/pyFirmata.

[17] *The hArduino package*. URL: https://hackage.haskell.org/package/hArduino.

[18] JSON-RPC Working Group. *JSON-RPC 2.0 Specification*. Teh. izv. 2010. URL: http://www.jsonrpc.org/specification.

[19] D. Crockford. *The application/json Media Type for JavaScript Object Notation (JSON)*. Teh. izv. 4627. 2006. URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc4627.txt.

[20] Norman S. Nise. *Control Systems Engineering*. Wiley, 2010. ISBN: 0470917695.

[21] *The Unicode Standard 8.0*. URL: http://www.unicode.org/charts/PDF/U2800.pdf.

[22] Michel Rieutord. *Fluid Dynamics: An Introduction*. Springe, 2015. ISBN: 3319093509.

[23] *Practical Process Control: Proven Methods and Best Practices for Automatic PID Control*. URL: http://www.controlguru.com/wp/p90.html.

[24] *Continuous Fluid Level Sensor PN-12110215TC-X Datasheet*. URL: http://www.milonetech.com/uploads/Standard_eTape_Datasheet.pdf.

[25] $0 - 5$ V *Linear Resistance to Voltage Module*. URL: http://www.milonetech.com/uploads/0-5V_Module_Datasheet.pdf.

[26] *L293E Push-Pull Four Channel Drivers Datasheet*. URL: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000058.pdf.

SAŽETAK

Nešta nešta AUP sa Arduinom...

Izgradanja 3D modela scene pomoću 3D kamere je metoda koja upotrebljava nekoliko komplementarnih tehnologija. U radu je razvijen i predstavljen program za izgradnju mreže trokuta iz snimljenog oblaka točaka te je ispitana kvalteta i funkcionalnost razvijene metode izgradnjom nekoliko 3D modela objekata i scena. Snimanje scena se izvršava upotrebom RGBDSlam programa i Microsoft Kinect kamere. RGBDSlam program kontrolira uzimanje dubinskih slika s kamere i od njih sastavlja oblak točaka koji prikazuje 3D scenu primjenom tehnike istovremene lokalizacije i mapiranja - SLAM. Program je baziran na ROS programskom okviru i OpenCV biblioteci. Dobiveni oblak točaka se koristi za izgradnju 3D mreže trokuta razvijenim programom mesh-reconstruction. mesh-reconstruction se oslanja na PCL biblioteku u kojoj je implementiran Poisson algoritam za izgradnju mreže trokuta. Program ima grafičko sučelje razvijeno pomoću Qt okvira koje omogućava reduciranje i uklanjanje odudarajućih vrijednosti iz snimljenog oblaka, podešavanje Poisson parametara te izgradnju i prikaz mreže trokuta.

Ključne riječi: Haskell, Arduino, Automatsko upravljanje, Python, Mrežno programiranje, Istodobnost, Firmata, JSON-RPC

ŽIVOTOPIS

Damir Jelić rođen je u Osijeku, 8. ožujka 1989. godine. Osnovno obrazovanje stekao je u osnovnoj školi Šećerana u Šećerani. Nakon toga, pohađao je Prvu srednju školu u Belom Manastiru, smjer tehničar računarstva, 2007. godine polaže maturu i iste godine upisuje Prediplomski studij računarstva na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. 2010. godine završava Preddiplomski studij računarstva te upisuje Diplomski studij procesnog računarstva. Dvaput je sudjelovao u programu Google Summer of Code: oba puta u sklopu PulseAudio organizacije gdje je radio na dinamičkom podešavanju latencije i *resampling* poboljšanjima za PulseAudio softwareski projekt.