Nadzor dinamičkih parametara akcelatora i žiroskopa bežičnim senzorskim mrežama

Šoštarić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:936215

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij

NADZOR DINAMIČKIH PARAMETARA AKCELEROMETRA I ŽIROSKOPA BEŽIČNIM SENZORSKIM ČVOROVIMA

Diplomski rad

Ivana Šoštarić

Osijek, 2014.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPĆI PREGLED SAMOBALANSIRAJUĆIH VOZILA 2
3. AKCELEROMETAR 4
3.1. Piezoelektrični akcelerometar 4
3.2. Piezootpornički akcelerometar 5
3.3. Kapacitivni akcelerometar 6
3.4. Servo akcelerometri s reguliranim pomakom 7
3.5. Optički akcelerometar 8
4. ŽIROSKOP 10
4.1. Mehanički žiroskopi 11
4.2. Optički žiroskopi 12
4.2.1. Laserski optički žiroskop (Ring laser gyroscope - RLG) 13
4.2.2. Svjetlovodni žiroskopi (Fiber optic Gyro - FOG) 14
4.3. Vibracijski žiroskopski senzori 15
5. BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE 17
5.1. Počeci mrežnih tehnologija 18
5.2. Ad-hoc mreže 18
5.3. Važnost i uloga bežičnog protokola ZigBee 19
5.4. Struktura slojeva senzorskog čvora 20
6. SAMOBALANSIRAJUĆA VOZILA 22
6.1. Usporedba samobalansirajućih vozila 22
6.2. Segway 23
6.3. Wind Runner 24
6.4. Koncept rješenja vozila 25
7. REZULTATI MJERENJA S ANALIZOM 28
7.1. LabVIEW 28
7.1.1. Razvoj sustava 31
7.2. Upravljač NI 9792 31
7.3. Programirljivi mjerni čvor NI WSN – 3202 32
7.4. Mjerni sustav ubrzanja ADXL330 33
7.5. Pravocrtno kretanje 35
7.6. Kretanje u obliku osmice 36

7.7. Kretanje u obliku osmice pod pravim kutem 37
7.8. Usporedba grafova kretanja 38
8. ZAKLJUČAK 44
9. LITERATURA 45
SAŽETAK 47
ABSTRACT 48
POPIS KORIŠTENIH KRATICA 49
ŽIVOTOPIS 50

1. UVOD

Cilj ovog diplomskog rada je nadzor dinamičkih parametara akcelerometra i žiroskopa bežičnim senzorskim čvorovima. Za primjer je odabrano samobalansirajuće vozilo čija konstrukcija je sama po sebi nestabilna i teži prevrtanju oko osi rotacije kotača, pa se djelovanjem motora i senzora (žiroskopa i akcelerometra) ovisno o kutu nagiba vraća u uspravan položaj. U tu svrhu u diplomskom radu opisan je način rada, podjela, primjena, te prednosti i nedostaci pojedinih vrsta akcelerometra i žiroskopa.

U poglavlju 2 je prikazan opći pregled i korištenje Segwaya u razne svrhe. U poglavlju 3 se opisuju akcelerometri [1] koji prvenstveno služe za mjerenje linearnih akceleracija. Ta vrijednost se kasnije, računskim putem može transformirati u željene vrijednosti, poput prijeđenog puta, položaja u odnosu na Zemljino gravitacijsko polje (kut nagiba). U poglavlju 4 se opisuju žiroskopi [1] koji služe za mjerenje kutne brzine tijela koje rotira. Njihovim korištenjem se dobiva informacija o kutnoj brzini, čijom integracijom se dobiva kut zakreta mjerene platforme. U poglavlju 5 su opisane bežične senzorske mreže [4] koje danas pokrivaju većinu nadzornih točaka u pojedinim industrijskim postrojenjima i proizvodnim procesima, te se uz pomoć istih mjerilo trenutno stanje vozila. Tehnologija bežičnih senzorskih mreža praktičnog rada orijentirana je prema IEEE 802.15.4 (ZigBee) standardu. Kao komunikacija na nižem sloju između mikrokontrolera koristi se SPI sučelje sa više kanala. SPI sučelje otvara nam široku lepezu senzora i aktuatora, a zbog rada u stvarnom vremenu moguće je implementirati sustav u bilo koje drugo vozilo. U radu se opisuju ad-hoc mreže, važnost i uloga bežičnog protokola ZigBee i struktura slojeva senzorskog čvora. U poglavlju 6 su prikazane usporedbe Segwaya, Windrunnera i Koncepta samobalansirajućeg vozila. Prikazane su usporedbe mase, nosivosti, baterije, kapaciteta i napona te brzine i radijusa kretanja. U zadnjem dijelu je opisan NI 9792 upravljač, koji je programirljiv s LabVIEW grafičkim programskim jezikom i može komunicirati s bežičnim senzorskim mrežama (WSN), programirljivi NI WSN - 3202 mjerni čvor i ADXL330 mjerni sustav ubrzanja u tri osi i pomoću toga su se testirale usporedbe tri izvedbe samobalansirajućih vozila (segway, windrunner i koncept), njihove fizičke i vozne karakteristike u tri različita scenarija.

2. OPĆI PREGLED SAMOBALANSIRAJUĆIH VOZILA

U diplomskom radu su se radila tri scenarija kretanja samobalansirajućih vozila: pravocrtno kretanje, kretanje u obliku osmice i kretanje u obliku osmice pod pravim kutem. Za primjer su odabrana tri vozila radi usporedbe motora i senzora (akcelerometra i žiroskopa).

Segway Osobni Transporter [11] učinkovito je i ekonomično prijevozno sredstvo u situacijama s kojima se svakodnevno susreću moderne zaštitarske tvrtke – nadzor objekata, turističkih kompleksa, parkova, kampova, događanja na otvorenom ili sajamskih prostora. Radi li se o bilo kojoj od navedenih situacija, Segway omogućuje osiguranje znatno većih površina ili područja u kraćem vremenu od onog koje je potrebno utrošiti za obilazak pješice ili korištenjem automobila kada se više vremena gubi na manipulaciju vozilom nego na vršenje nadzora. Segway omogućuje djelatnicima na terenu ugodno i tiho 'krstarenje' koje je uz to 2-3 puta brže od brzine hoda. Upravljati Segway Osobnim Transporterom vrlo je lako, kao i prelaziti iz otvorenih u zatvorene prostore bez silaska s vozila. Također, moguće je vrlo lako brzinu prilagođavati trenutku – od brzine hoda do brzine trčanja, što direktno rezultira bržim intervencijama na terenu.

Policijske postaje i zaštitarske tvrtke diljem svijeta otkrivaju prednosti integracije Segway Osobnih Transportera u svoje svakodnevne operativne zadatke. Segway Osobni Transporter je vrlo prilagodljivo i upotrebljivo sredstvo za povećanje produktivnosti. Segway zaposlenike čini bržima, omogućavajući im da male udaljenosti svladavaju u kraćem vremenu. Omogućuje im prenošenje manjeg tereta, smanjujući napor uzrokovan ponavljanjem istovrsnih radnji na dnevnoj osnovi i smanjujući troškove zbog ozljeda nastalih na radu, smanjenje troškova voznog parka i troškova rada djelatnika koji ga održavaju, a sve to zbog smanjenog korištenja vozila koje koriste gorivo. Segway povećava produktivnost zaposlenika ostavljajući im dovoljno vremena da više zadataka obave učinkovitije. Veća brzina i nosivost omogućava im da prevezu više, istovremeno svladavajući veće udaljenosti. Zbog načina na koji Segway radi, ostati će spretni u manevriranju u malim prostorima.

Poseban atribut koji Segway čini tako učinkovitim sredstvom za povećanje produktivnosti jest njegova pouzdanost. Objedinjujući dvadestogodišnje iskustvo u znanstvenim inovacijama, Segway je višestruko testiran i osmišljen za rad u gotovo svim uvjetima koje mogu očekivati korisnika. Napravljen je za svakodnevno korištenje bez gotovo ikakvog održavanja, što u konačnici rezultira dugoročnom uštedom.

Segway je pametna, praktična i lako razumljiva alternativa vožnji koja je zapravo toliko kratka da je besmisleno koristiti automobil, a udaljenost ipak preduga za pješačenje. Posjedovati Segway ujedno je i znatno jeftinije - štedeći tisuće kuna na gorivo, osiguranje, održavanje i parkiranje. Segway su u potpunosti osmislili stručnjaci koji znaju da napredni inženjering u kombinaciji s elegantnim dizajnom rezultira začuđujuće intuitivnim proizvodom. Segway je konstruiran kako bi funkcionirao kao pješačko sredstvo koje se može kretati gdje su i pješaci, odnosno uglavnom svugdje gdje se može hodati, pa prema tome ne zahtijeva posebnu dozvolu. Zamišljeno da izgleda, radi i djeluje kao pješak. Kreće se tiho i širok je kao ramena osobe prosječne građe.

Svoju primjenu Segway je našao i kod vlasnika golf terena. Omogućuje golferima da igraju brže, jer svaki igrač može doći direktno do svoje loptice. Segway x2 Golf daje inovativnu crtu svakoj partiji igre i omogućuje da se igra doživi na potpuno novi način.

Segway osigurava skoro trenutno ubrzanje, od brzine hoda (cca. 4.8 km/h) do maksimalne brzine uređaja (20 km/h). Svi primjerci Osobnog transportera Segway su tijekom pojedinih faza proizvodnog procesa podvrgnuti milijunima ciklusa testiranja zamora materijala i tisućama probnih vožnji kako bi se postigla najviša razina kvalitete i izdržljivosti uređaja.

Stabilnošću stroja upravlja složena mreža senzora, mehaničkih sklopova, pogona i kontrolnih sustava. U trenutku kada se stane na Segway, pet žiroskopskih senzora i dva akcelerometra počinju mjeriti promjene terena i položaj tijela čak 100 puta u sekundi – brže nego što ljudski mozak može misliti. Upravo iz tih razloga se vozilo čini zanimljivo kao uređaj, pa su na njemu vršena mjerenja za ovaj rad koja su prikazana u 7. poglavlju. Koristio se LabVIEW [7] grafički programski jezik za izradu instrumentacijskih sustava, upravljač NI 9792, programabilni mjerni čvor NI WSN – 3202 te mjerni sustav ubrzanja ADXL330.

3. AKCELEROMETAR

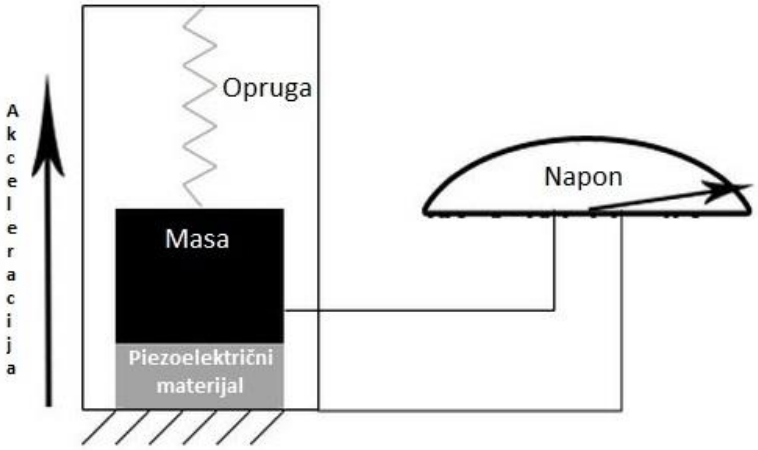
Akcelerometri su senzori za mjerenje akceleracije, odnosno sile inercije. Mogu mjeriti akceleraciju u jednom ili više smjerova, pri čemu su ti smjerovi okomiti jedan na drugi. Postoje različite vrste akcelerometra, pa prema tome rade i na različitim principima. Akcelerometri imaju široku primjenu. Koriste se za mjerenje i analizu parametra vibracija i udara, kod strojeva u hidroenergetskim postrojenjima, elektromotornim pogonima, u automobilskoj industriji, kod sezmičkih mjerenja itd... prema [1].

Prema principu rada akcelerometri mogu biti piezoelektrični, piezootpornički, kapacitivni, servo i optički.

S obzirom na mjerni opseg razlikuju se akcelerometri sa:
1. užim frekvencijskim opsegom (za niske akceleracije)
2. širim frekvencijskim opsegom (za visoke akceleracije)
Nadalje u ovom poglavlju slijedi opis akcelerometra prema podijeli ovisno o principu rada.

3.1. Piezoelektrični akcelerometri

Piezoelektrični akcelerometar koristi piezoelektrični efekt od određenih materijala kako bi mjerio dinamičke promjene u mehaničkim veličinama (npr. akceleracija, vibracija i mehanički udar). Kao kod svih mjernih pretvarača, ovaj tip akcelerometra pretvara jedan oblik energije u drugi stvarajući električni signal kao posljedica veličine, svojstva i stanja mjerene veličine. Koristeći općenitu metodu na kojoj se temelje svi akcelerometri, dakle djelovanjem akceleracije na sezmičku masu koja je ograničena s oprugom ili konzolom, dobije se električni signal na osnovu sile. Prije nego što se akceleracija pretvori u električnu veličinu, prvo se mora pretvoriti ili u silu ili pomak. Ova pretvorba se ostvaruje pomoću maseno-opružnog sustava prikazanog na slici 3.1 slično kao kod slike iz [1]. Kad sila djeluje na akcelerometar, sezmička masa puni piezoelektrični element prema drugom Newtonovom zakonu gibanja ($F = ma$) čime se mijenja napon piezoelektričnog elementa.

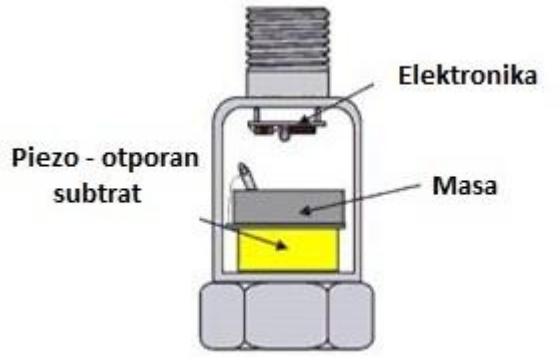


Slika 3.1. *Princip rada piezoelektričnog akcelerometra*

Piezoelektrični materijali koji se koriste za akcelerometre su kvarc kristali i keramički elementi. Kvarc kristali iako imaju veći mjerni raspon, glavni nedostatak u odnosu na piezoelektrične keramičke elemente je manja osjetljivost i viša cijena proizvodnje. Nedostatak keramičkih materijala je da njihova osjetljivost opada tijekom vremena, čineći životni vijek takve naprave manji od materijala napravljenih od kvarc kristala. Primjenjuju se u mnogim industrijama, laboratorijima i uređajima za mjerenje dinamičkih promjena u mehaničkim veličinama udara i vibracija. Postoje različite mehaničke konfiguracije kako bi se izvršile pretvorbe kod piezoelektričnog akcelerometra. One ovise o načinu na koji inercijska sila ubrzane mase djeluje na piezoelektrični element. Kod tiskanih pločica (engl. *Printed Circuit Board* - PCB) postoje dvije konguracije akcelerometra koje se koriste: *smična* i *savojna*. Treća je *tlačna*, koja se manje koristi kod PCB, ali može se koristiti kao alternativa.

3.2. Piezootpornički akcelerometar

Piezootpornički akcelerometar koristi piezo-otpornički supstrat, a sila koja djeluje na masu mijenja otpor kojeg registrira Wheatstoneov most. U usporedbi s piezoelektričnim akcelerometrima, ova vrsta može mjeriti ubrzanje do ~ 0 Hz. Izrazito je malih dimenzija i ima malu nelinearnost. Jeftini su i imaju dosta veliku širinu frekvencijskog opsega. Njima se mogu mjeriti vrlo visoke frekvencije (> 30 kHz). Osim toga za njihov rad potrebna je samo jednostavna obrada podataka. Nedostaci su velika osjetljivost na temperaturu, manji dinamički opseg, veća osjetljivost na udare i potreba za preciznim izvorom napajanja. Shema piezootporničkog akcelerometra je prikazana na slici 3.2 koja je slična [1].



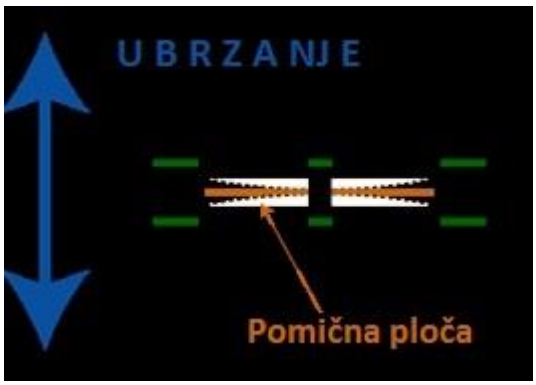
Slika 3.2. *Shema piezootporničkog akcelerometra*

3.3. Kapacitivni akcelerometar

Masa koja je na dva kraja spojena sa membranama ili sa oprugama, pokreće se ovisno o akceleraciji. Jedna elektroda kondenzatora spojena je na tu masu dok je druga fiksirana.

Mjerenje pomaka seizmičke mase kapacitivno samo po sebi ima prednosti pred piezootporničkim principom. Ono daje veliki izlazni signal, dobar stacionarni odziv i bolju osjetljivost zbog niskog šuma. Glavni nedostatak je osjetljivost kapacitivnih senzora na elektromagnetna polja iz njihove okoline pa ih zbog toga treba odgovarajuće zaštiti.

Iznos pomaka pomične mase pod djelovanjem akceleracije uzrokuje nestabilnost diferencijalnog kondenzatora što za posljedicu ima pravokutni izlazni signal čija amplituda je proporcionalna izmjerenoj akceleraciji. Na slici 3.3 je prikazan kapacitivni akcelerometar iz [1].



Slika 3.3. *Kapacitivni akcelerometar*

Mjerenjem rezultantnog faznog pomaka može se odrediti smjer akceleracije. Opisani postupak rada se primjenjuje za mjerenje akceleracije samo u jednom smjeru duž osjetljive osi.

Raniji tipovi kapacitivnih senzora su obično bili izrađivani u velikim količinama i radili su se spajanjem nekoliko pločica koristeći tehnike združivanja. Većina naprava je imala os

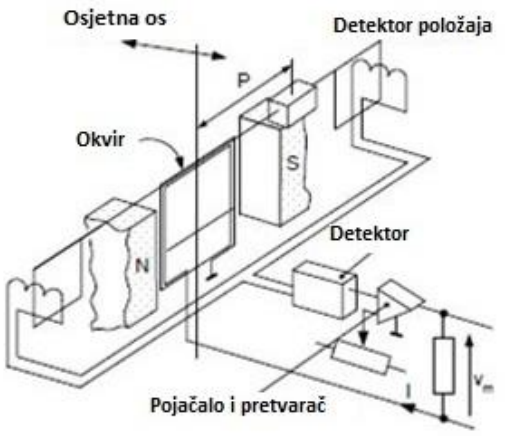
osjetljivosti okomito na ravninu pločice, sa krajnjim pločama na gornjoj i donjoj strani, koji su osim pružanja prigušenja služili i kao elektrode za određivanje kapaciteta.

Glavne prednosti kapacitivnih akcelerometra su visoka rezolucija i osjetljivost, jednostavni mehanički detektor, velika mogućnost minijaturizacije, tehnološka robusnost te dosta visoka širina pojasnog opsega. Nedostaci su niska linearnost i velika osjetljivost na temperaturu, zbog čega je potrebna znatna temperaturna kompenzacija.

3.4. Servo akcelerometri s reguliranim pomakom

Karakteristike senzora ovise o tome radi li on u otvorenoj petlji ili u zatvorenoj petlji. Kod servo akcelerometra inercijalna sila koja djeluje na seizmičku masu i uzrokuje njen pomak je kompenzirana jednakom suprotnom silom koju daje elektromehanički sustav. Struja koja pokreće sustav kompenzacije je proporcionalna mjerenoj sili.

Točnije inercijska akcija na seizmičku masu u početku uzrokuje jako mali pomak koji se preko motora kompenzira čim poremećaj počne. Pojačanje sa povratne veze je takvo da je pomak seizmičke mase jako mali, čime se smanjuje greška uslijed varijacije položaja kao na primjer histereze. Postoji mnogo varijanti ovakvih senzora. Detektor položaja može biti optički, kapacitivni ili induktivni senzor. Na isti način aktuatorski sustav može biti ili elektrostatički ili sa permanentnim magnetom. Regulacija može biti analogna ili digitalna. Glavna prednost je odlična preciznost koja je općenito puno puta bolja nego kod senzora koji nemaju servo regulaciju. Širina frekvencijskog opsega im je od 0 do nekoliko stotina Hz. Prag detekcije im je manji od $10^{-5}ms^{-2}$. Nedostaci su im je osjetljivost na udare, visoka cijena, potreba za znatnom obradom podataka i relativno uska širina frekvencijskog opsega. Na slici 3.4 slično kao i [1] je prikazan primjer akcelerometra sa regulacijom momenta. Kod rada u otvorenoj petlji, performanse su zadovoljavajuće za opće namjene i za automobilsku primjenu, dok u slučaju korištenja rada u zatvorenoj petlji rezolucija dostiže vrijednosti ispod jednog mikro g-a što ih čini prikladnima za inercijalnu navigaciju i navođenje.



Slika 3.4. *Akcelerometar sa regulacijom momenta*

3.5. Optički akclerometar

Za razvoj optičkih senzora potreban je spoj raznih grana znanosti i tehnologija kao što su mikroelektronika, radioelektronika, optička vlakna itd. Pomak seizmičke mase uslijed djelovanja inercijske sile uzrokuje razne koeficijente odašiljanja svjetlosti proizvedene laserskom diodom i prenošene optičkim vlaknom. Veličina propuštenog svijetla mjeri se fotodetektorom i pretvara u napon ili struju. Cijeli optički koncept koristeći optička vlakna za prijenos svijetla električki je pasivan, dok je izlaz senzora frekventno nezavisan prijenosnik. Korištenjem metalnih zrcala umjesto mikrorezonatora materijal nudi nove mogućnosti u očitavanju vanjskih sila kroz promjene magnetskog polja. Slika 3.5 [1] prikazuje primjer optičkog akcelerometra.

Materijali mikrorezonatora mogu biti: legura bora i silicija, silicijev dioksid, silicijev nitrid, metalna zrcala. Trenutno najviše korišteni mikrorezonator je silicijski mikro most spojen na obje strane. Silicijski mikrorezonatri mogu biti spojeni direktno na kraj optičkog vlakna realizirajući jeftin ekscentrični senzor sposoban za precizna mjerenja temeljena na frekvencijskom očitanju.

Značajke i ograničenja ovih akcelerometra: Premda su električno pasivni mikrorezonirajući senzori, mogu raditi u područjima snažnih elektromagnetskih smetnji. Korištenje frekvencije kao izlaznog parametra ima dvije glavne prednosti: mogu se prenositi na velike udaljenosti bez greške i drugo mogu se lako digitalizirati koristeći frekvencijski brojač.

Prednosti optičkih senzora su mala težina, neosjetljivost na udare, mala mehanička histereza, električna pasivnost i frekvencijsko kodiranje izlaznog signala.

Nedostaci su kompleksna i skupa povezivanja podataka za obradu, velika temperaturna osjetljivost i prosječne performanse.



Slika 3.5. *Optički akcelerometar*

4. ŽIROSKOP

Općenito, žiroskop je uređaj koji služi za mjerenje kutne brzine tijela vezanog za njega. Tradicionalno mehanički žiroskopi se zasnivaju na inerciji rotacijskog krutog tijela prema [1], no razvijeni su i vibracijski i optički žiroskopi. Ti žiroskopi se zasnivaju na različitim fizikalnim principima i značajno se razlikuju po veličini, masi, točnosti i cijeni. Svaki tip ima svoje prednosti i nedostatke i svaki se koristi u različite svrhe. Žiroskop služi kao važan orijentacijski senzor osobito tamo gdje ne postoji geomagnetsko polje (u svemiru) ili je jako izobličeno zbog utjecaja lokalnih magnetskih polja. Premda se koristi za navođenje projektila, među kontinentalnih balističkih raketa, brodova, zrakoplova, on je tijekom povijesti bio važna strateška tehnologija. Upravo to je doprinijelo njegovom brzom razvoju i današnjim visokim performansama.

Žiroskopi se najčešće primjenjuju u automatskim pilotima na plovilima i zrakoplovima, u sustavima za navođenje autonomnih vozila, letjelica, projektila, u sustavima upravljanja svemirskim letjelicama te u mobilnoj robotici kao što je prikazano na slici 4.1 koja je preuzeta sa [5]. Prema tome, glavne mjere performansi žiroskopa su osjetljivost, rezolucija i stabilnost. Osnovna podjela žiroskopa je na mehaničke, optičke i vibracijske. U daljnjem tekstu objasnit će se načela rada svake grupe.



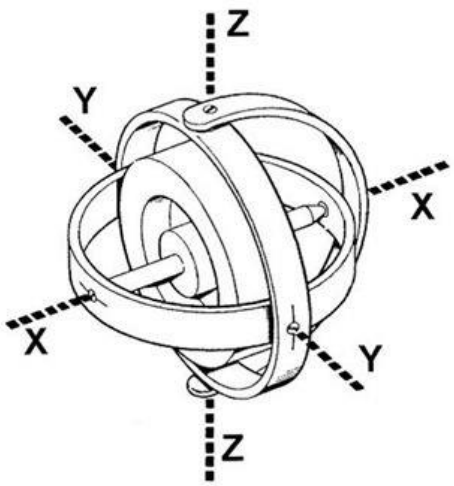
Slika 4.1. *Primjena žiroskopa, jedna od primjena mobilne robotike*

Kvadrikopter je malena bespilotna letjelica upravljana radio valovima koja spada u kategoriju letjelica pokretanih s više od jednog rotora (multirotor). To je letjelica koja ima mogućnost

poletjeti okomito u zrak, te se kretati u svim smjerovima. Kako samo ime sugerira pokreću je četiri propelera. Propeleri su fiksnog nagiba od kojih se dva okreću u smjeru kazaljke na satu, a druga dva obrnuto. Preciznim kontroliranjem broja okretaja pojedinog rotora pri različitim brzinama mogu se izvesti sve kretnje kao kod standardnog helikoptera: lebdenje, kretanje naprijed/nazad, kretanje lijevo/desno te oko vlastite osi.

4.1. Mehanički žiroskopi

Mehanički žiroskopi rade na principu očuvanja kutnog momenta tijela koji kaže da je kutna količina gibanja bilo koje čestice sustava s obzirom na neku fiksnu točku u prostoru konstantna, ako na sustav ne djeluju vanjske sile. Primjer mehaničkog žiroskopa, tj. rotirajućeg diska prikazan je na slici 4.2 prema [1].



Slika 4.2. *Rotirajući disk postavljen u troosni kardanski sustav*

Ako se na rotirajući disk primjeni vanjski moment, njegova orijentacija se promijeni manje nego na mirujući disk. Kad se takav disk spoji na posebni nosač (kućište žiroskopa), njegova orijentacija ostaje gotovo nepromijenjena neovisno o gibanju platforme na koju je postavljen.
Mehanički žiroskop se sastoji od diska velike brzine rotacije koji je postavljen u kardanski ovjes sa tri stupnja slobode gibanja. Os rotacije rotirajućeg žiroskopa u bilo kojem položaju prilikom gibanja uvijek će nastojati biti paralelna sama sa sobom (održati svoj smjer), uz mala odstupanja koja uzrokuje trenje u ležajevima ovjesa.

Rotacijski žiroskop korišten kao autopilot na zrakoplovima iz 1950. godine je prikazan na slici 4.3.



Slika 4.3. *Rotacijski žiroskop korišten kao autopilot na zrakoplovima (1950.)*

Mehanički žiroskopi su konstruirani kao prstenasti elektromotori (ili zračne turbine kod zrakoplova) kod kojih je masa rotora raspoređena po obodu prstena. Brzine rotacije preciznih žiroskopa dosežu i do 20 000 okretaja po minuti. Zbog visokih zahtjeva na točnost izvedbe mehaničkih žiroskopa, posebno teflonskih (ili zračnih) ležajeva motora i potrebe za korištenjem visoko kvalitetnih materijala, oni su vrlo skupi.
Nedostatak mehaničkih senzora je što zbog masa koje se rotiraju na velikim brzinama oni koriste puno struje. Također oni su zbog ležajeva skloni trošenju. Osim toga žiroskop svojim djelovanjem može utjecati na sam sustav u kojem je primijenjen.

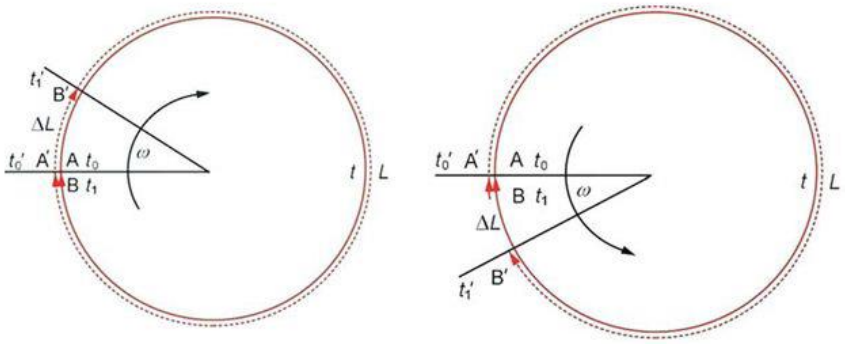
4.2. Optički žiroskopi

Zamislimo da se svjetlosni impuls (foton) kreće kružno u smjeru kazaljke na satu, kroz svjetloprovodni medij koji miruje (slika 4.4) unutarnja puna crvena linija. Počevši od točke A, u trenutku t_0 svjetlost će trebati određeno vrijeme t da prevali put kroz svijetloprovodni medij duljine L, pa da ponovno stigne do točke B, gdje se detektira u trenutku t_1.
Pretpostavimo da se svjetloprovodni medij zakreće u smjeru kretanja kazaljke na satu, tj. u istom smjeru kao što i impuls svjetla prolazi kroz svjetlovod od točke A' u trenutku t'_0 , na slici (slika lijeva 4.4) isprekidana crvena linija. Zbog rotacije svjetloprovodnog medija u trenutku t'_1, točka A' će biti na mjestu B'. Zbog toga će impuls svjetla da bi prošao od točke A' do točke B' trebati proći putanju punog kruga (360º) i još će trebat prevaliti dodatni put ΔL u dodatnom

vremenskom intervalu Δt , koji je određen kutnom brzinom zakretanja medija, tj. kutom zakreta ω.

Nasuprot tome, zakreće li se svjetloprovodni medij u suprotnom smjeru kretanja kazaljke na satu, tj. u suprotnom smjeru u kome se kreće impuls svjetla kroz svjetloprovodni medij, na desnoj slici 4.4 isprekidana crvena linija, počevši od točke A' u trenutku t'_0 impuls svjetla će trebati za Δt kraće vrijeme da obiđe puni krug jer mu je završna točka B' došla u susret u trenutku t'_1.

Određivanjem vremena prolaska impulsa svjetla kroz svjetloprovodni medij moguće je stoga ustanoviti odstupanja Δt od poznatog vremena t koje je potrebno da impuls svjetla prođe put određene duljine L u stanju mirovanja. Na taj način moguće je ustanoviti promjene položaja, odnosno zakretanje svjetloprovodnog medija za $\Delta\omega$ u jednu ili drugu stranu. Tu pojavu prvi je 1913. godine uočio francuski znanstvenik Georges Sagnac, pa je ona njemu u čast nazvana Sagnacov efekt.



Slika 4.4. *Sagnacov efekt*

Kod optičkih žiroskopa ne postoje mehanički dijelovi koji rotiraju, pa zato optički žiroskopi troše malo energije (struje) bez obzira u kojem se položaju nalaze. Takvi uređaji su termički i dimenzijski stabilni, te se odlikuju odličnom dugotrajnom stabilnošću.

Dva osnovna tipa takvih žiroskopa su laserski optički žiroskop (RLG) i svjetlovodni žiroskop (FOG).

4.2.1. Laserski optički žiroskop (*Ring laser gyroscope* - RLG)

Sredinom šezdesetih godina prošlog stoljeća izumljeni su prvi laserski žiroskopi. Oni rade na principu optičke rezonancije prikazane na slici 4.5.

U staklenoj cijevi u obliku trokuta u kutove su postavljena tri zrcala tako da tvore optički rezonator. Cijev je pod malim tlakom i ispunjena je mješavinom helija i neona. U cijevi su ugrađene tri elektrode: jedna katoda i dvije anode koje se napajaju visokim naponom od oko 1kV.

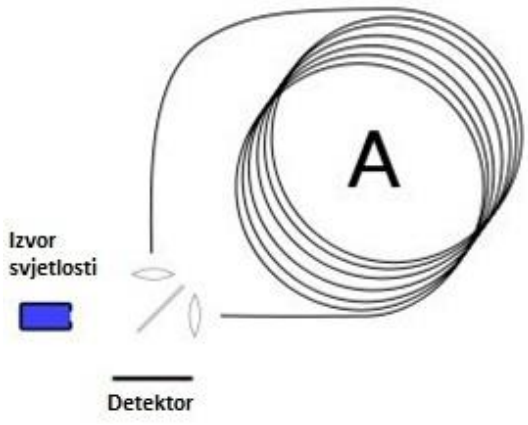


Slika 4.5. *Princip rada RLG žiroskopa*

4.2.2. Svjetlovodni žiroskopi (*Fiber optic Gyro* - FOG)

Sedamdesetih godina prošlog stoljeća razvijen je *Fibre Optic Gyro* - FOG sustav, koji u osnovi radi vrlo slično kao RLG sustav. Osnovna razlika između ta dva sustava je što je kod RLG sustava primijenjen optički rezonator kod kojeg se određuje promjena frekvencije, dok je FOG sustav interferometrijski.

Kod FOG sustava izvor monokromatske koherentne svijetlosti - laser - je postavljen izvan sustava (slika 4.6). Svijetlost iz lasera se na polupropusnom zrcalu grana i dovodi istodobno na početak i kraj svjetlovoda koji je namotan kao zavojnice. Zavojnica ima velik broj zavoja, pa se time znatno produljuje put zrakama svjetla kroz svjetlovod (i time povećava vrijeme kretanja svjetla kroz medij pojačavajući Sagnacov efekt).



Slika 4.6. *Princip rada FOG žiroskopa*

Slika 4.7 prikazuje FOG žiroskop tvrtke Litton, jedan od primjera svjetlovodnih žiroskopa.



Slika 4.7. *FOG žiroskop tvrtke Litton*

FOG žiroskopi daju iznimno točan podatak o kutnoj brzini, djelomično zbog toga što nisu osjetljivi na među-osnu vibraciju, akceleraciju i šokove. FOG se smatra najpouzdanijom žiroskopskom tehnologijom.

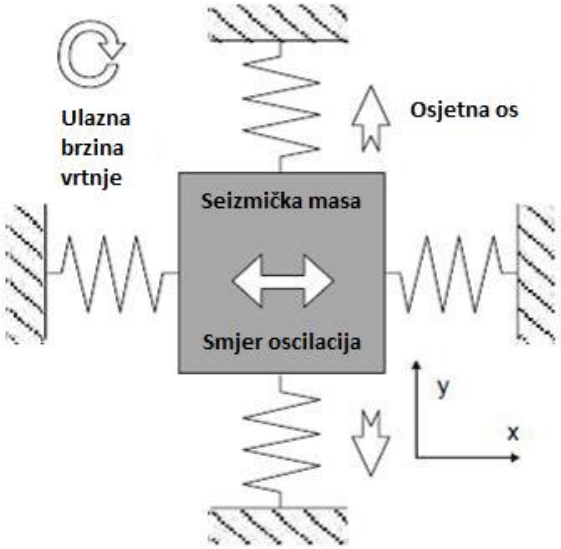
4.3. Vibracijski žiroskopski senzori

Ovi žiroskopi se zasnivaju na mjerenju Coriolisovog efekta. Coriolisova sila je virtualna sila koja ovisi o inercijskom sustavu promatrača. Osoba na rotirajućem disku koja kotrlja loptu radijalno prema obodu diska sa brzinom *v* će promatrati zakrivljenu trajektoriju lopte.

Vibracijski žiroskop [1] je zapravo akcelerometar koji mjeri Coriolisovu akceleraciju. No, za razliku od akcelerometra koji mjere translacijsko gibanje, akcelerometar u žiroskopu mora vibrirati i brzina vibracije mora biti poznata i stabilna kako bi se mogla odrediti kutna brzina.

Na slici 4.8 je prekazana seizmička masa slično kao kod [1] koja se pobudi tako da oscilira uzduž x-osi (u tzv. pogonskoj osi) sa konstantnom amplitudom i frekvencijom. Tada se rotacijom oko z-osi energija prenosi u oscilaciju uzduž y-osi (tzv. osjetnoj osi) čija amplituda je

proporcionalna kutnoj brzini. Mjerenjem amplitude oscilacije u y-osi dobiva se signal vrijednosti kutne brzine.



Slika 4.8. *Princip rada vibracijskog žiroskopa*

5. BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE

Bežične senzorske mreže (WSN – Wireless Sensor Network) predstavljaju kategoriju ad-hoc bežičnih mreža,prema [4] koje su se tek nedavno počele razvijati. WSN su namjenske mreže, sastavljene od velikog broja resursno ograničenih uređaja, motova. Ideja je da se postavljanjem velikog broja ovih uređaja, raspoređivanjem po određenoj shemi uz minimalne troškove, pokrije veliko zemljopisno područje. Snaga bežičnih senzorskih mreža upravo leži u broju motova koji je čine. Što je njihov broj veći, povezanost i robusnost mreže rastu. WSN su naslijedile sve osobine ad-hoc mreža i optimirale njihovu upotrebu kroz mash topologiju. Ipak, za razliku od tipične mash topologije, koja zahtjeva potpunu povezanost svih čvorova, u WSN mrežama svaki mot je u kontaktu sa najmanje dva mota, ali ne i sa svima ostalima. Svaki čvor mreže predstavlja jednu pristupnu točku i pruža usluge usmjeravanja podataka drugim čvorovima i na taj način formira multi-hop mrežu.

Bitna odlika ovih mreža je sposobnost samo konfiguriranja. Čvorovi su u stanju identificirati svoju okolinu bez ičije intervencije. Oni se automatski prilagođavaju promjeni topologije što omogućava jednostavno proširenje mreže kad god je to potrebno. Čvorovi su u stanju registrirati ispadanje jednog od susjednih čvorova, te pronalaze alternativni put za slanje tj. usmjeravanje paketa do bazne stanice. Cijena postavljanja ovakve mreže je daleko ispod cijene postavljanja žičanih mreža. U cilju ostvarivanja željene funkcionalnosti WSN-ova, potrebno je dizajnirati softversku arhitekturu koja će omogućiti funkcioniranje kompletnog sustava uzimajući u obzir ograničenja hardverske platforme. Softver predviđen za WSN mreže efikasno mora koristiti ograničene resurse čvorova, njihovu energiju i procesorsko vrijeme. Još jedan bitan zadatak ove arhitekture je da obuhvaća hardverske komponente i programeru omogući bržu i efikasniju interakciju sa sklopovljem. TinyOs je operacijski sustav za rad u stvarnom vremenu koji je na najbolji mogući način zadovoljio postavljene zahtjeve i postao je najčešće korištena programska platforma od strane korisnika i istraživača. Posebno za potrebe senzorskih mreža, dizajniran je programski jezik nesC (Network Embeded System C), koji podržava programski model koji izvršava aplikacije putem događaja (engl. event oriented). Aplikacije u nesC-u konstruiraju se povezivanjem komponenti, programskih modula koji predstavljaju niz sklopovskih komponenti. Bežične mreže su komunikacijski sustavi koji koriste bežične medije kao što je tehnologija radio valova za odašiljanje i preuzimanje podataka, smanjujući potrebu za "žičanom" povezanosti. Na ovaj način moguće je prenositi podatke na kratkim udaljenostima od nekoliko metara (televizijski daljinski upravljač) ili velikim udaljenostima od tisuća ili čak i milijuna kilometara,

u slučaju radio komunikacija. Bežične mreže često se koriste kao dopuna klasičnim žičanim mrežama, kao rješenje "problema posljednje milje". Očite su prednosti ovog tipa umrežavanja: jeftinije je u početnoj implementaciji i kasnijem proširivanju jer iziskuje bitno manju infrastrukturu, a održavanje je tehnički manje zahtjevno.

5.1. Počeci mrežnih tehnologija

Ethernet je najviše korištena mrežna tehnologija u LAN mrežama. Razvila ga je sredinom 1970 godine tvrtka Xerox, a 1979. godine *Digital Equipment Corporation* (DEC) i Intel su ujedinili snage sa Xeroxom da bi standardizirali sustav. IEEE uveo je 1983. godine službeni standard za Eternet i nazvao ga IEEE 802.3 po imenu radne grupe odgovorne za njegov razvoj, dok je 1985. godine uvedena verzija 2 (IEEE 802.3a). Eternet se održao dugi niz godina, u vrlo velikoj mjeri zahvaljujući svojoj velikoj fleksibilnosti i relativnoj jednostavnosti za implementaciju i razumijevanje. Razlog uspjeha je u tome što Ethernet ima dobru ravnotežu između brzine, cijene i jednostavnosti instalacije, prema [4].

Prednosti Ethernet mreža su:
- mreže su jednostavne za planiranje i ekonomične za instalaciju;
- mrežne komponente su jeftine;
- tehnologija se pokazala kao pouzdana;
- jednostavno je dodati i ukloniti računala sa mreže;
- podržavaju ga mnogi softverski i hardverski sustavi.

Nedostaci Etherneta su:
- Ethernet je otvorena arhitektura gdje svaki čvor može slati ili primati;
- koristi širokodifuzne (broadcast) komunikacije;
- lako ga je prisluškivati;
- nema nikakav hardver za osiguranje;
- lako je onesposobiti mrežu.

5.2. Ad-hoc mreže

Ad-hoc mreže su formirane od strane korisnika koji žele komunicirati bez potrebe za infrastrukturom. Svaki modul u mreži ima mogućnost bežičnog komuniciranja, te može u svakom trenutku pristupiti i napustiti mrežu. Zbog ograničenog broja modula koji mogu

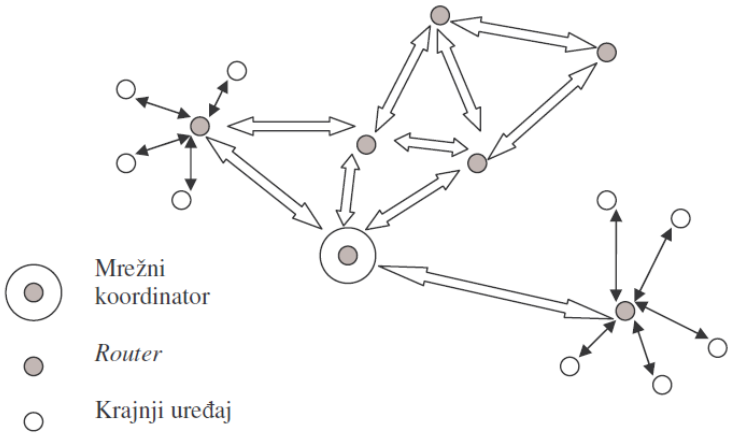
istovremeno komunicirati u mreži koristi se 'multi-hop' način komuniciranja. Osnovne karakteristike ad-hoc mreža su sljedeće: ad-hoc mreže su mreže definirane na način da njeni korisnici mogu komunicirati bez potrebe za postojanjem infrastrukture ili prethodno uređenih odnosa među potencijalnim korisnicima mreže. Ad-hoc komunikacija može nastati na različite načine i neovisno o pojedinim uređajima, načinu bežičnog prijenosa, mreže i protokola. Ad-hoc mreža se može značajno razlikovati u veličini; može postojati s dva modula koji razmjenjuju podatke, pa sve do na tisuće malih senzora koji promatraju okolinu. Moduli mogu pristupati i napuštati mrežu u bilo kojem trenutku.

5.3. Važnost i uloga bežičnog protokola ZigBee

ZigBee je mrežni protokol namijenjen bežičnim privatnim mrežama sa malom potrošnjom energije kao što su senzorske mreže te mreže za kontrolu, nadzor ili upravljanje, prema [2]. Temelj ZigBee-a je IEEE specifikacija 802.15.4 za bežične privatne mreže (WPAN – *wireless personal area networks*) sa malom propusnošću. Ta specifikacija ne određuje samo malu propusnost mreže, već i malu potrošnju energije te malu složenost. Propusnost je ograničena na 250 kbps na 2,4 GHz području, 20 kbps na 868 MHz (Europa) i 40 kbps na 915 MHz (Sjeverna Amerika i Australija) tzv. ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) frekvencijskom području.

ZigBee koristi digitalne odašiljače i prijemnike za komuniciranje između uređaja. Tipična mreža se se sastoji od tri vrste uređaja. Mrežni koordinator je uređaj koji konfigurira mrežu te upravlja protokom podataka unutar nje. Svaka ZigBee mreža mora imati jednog koordinatora. Ostali uređaji mogu biti routeri, koji kao i koordinator moraju biti FFD, te krajnji uređaji, koji su tipično RFD.

Slika 5.1 pokazuje koncept topologije ZigBee mreže, slično kao u [2]. Topologije koje su podržane su mreža (eng. mesh), zvijezda (eng. star) te kombinirana (eng. cluster tree). Zvijezda topologija je korisna ukoliko se radi o malom broju uređaja na nekom prostoru, te mogu komunicirati isključivo sa jednim routerom. Takav skup čvorova može biti zaseban, ili preko routera mogu komunicrati sa ostatkom mreže, do mrežnog koordinatora.



Slika 5.1. *Topologija ZigBee mreže*

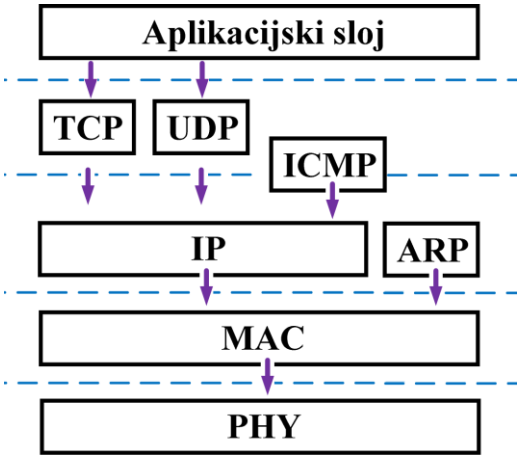
Topologija mreža omogućava više mogućih putova, te čak i u slučaju isključenja routera može naći alternativni put. ZigBee podržava dva tipa komunikacije u mreži: komunikacija sa sinkronizacijom na mrežnu zraku (*beacon mode*) i bez mrežne zrake (*non beacon mode*). *Beacon mode* je potpuno kontrolirana komunikacija u kojoj svi uređaji imaju točno određeni period kada mogu komunicirati. U ovom načinu rada, koordinator povremeno pošalje mrežnu zraku i tako „probudi“ uređaje u mreži. Uređaj tada potvrdi ukoliko ima li podataka za slanje, pošalje ako ima, te se vrati natrag u spavanje. *U non beacon* načinu rada je manje koordinirana komunikacija budući da svaki uređaj šalje podatke kada mu je to potrebno. Ovakav način komunikacije, osim što dopušta zagušenje medija, troši i više energije, budući da koordinator mora cijelo vrijeme biti uključen.

5.4. Struktura slojeva senzorskog čvora

MAC sloj kod senzorskih čvorova zadužen je za pristup prijenosnom mediju. Isti se koristi za tvorbu i upravljanje okvirima (adresiranje, polja za provjeru) - utvrđuje i uklanja okvire s pogreškom. Prilikom fizičkog spajanja mrežnog kabela upravo do izražaja dolazi upotreba MAC sloja. Naime, MAC adresa koja je unaprijed definirana u Ethernet čipu upisom mikrokontrolera moguće je istu izmijeniti u sustavu registra Ethernet čipa. Dodjeljivanje IP adrese MAC adresi odrađuje se ARP rutinom koju pozivamo kroz programske sekvence.

Fizički sloj zastupljen je u velikoj mjeri primjenom upravo kod senzorskih čvorova gdje on osim naponskih razina na pojedinim mrežnim konekcijama vrši prilagodbu prema digitalnim ulazima/izlazima i analognim ulazima/izlazima. Fizički sloj senzorskog čvora kao takav, sastavni je element komunikacijskih vodova i sustavom registara unutar Ethernet čipa povezan je sa

MAC slojem koji nadalje otvara pristup višim slojevima modela. Jedan takav model prikazan je slikom 5.2.



Slika 5.2. *Definicija modela (STOG)*

Korisnički profil i aplikacijsko okruženje elementi su iznad mrežnog sloja, dok mrežni sloj čine komponente protokola iznad MAC sloja. Važno je napomenuti još nekoliko stavki koje se povezuju sa fizičkim slojem a to su upravo kodiranje/dekodiranje signala, generiranje/uklanjanje preambule (preamble) za sinkronizaciju, slanje/primanje bitova. Fizički sloj uključuje i specifikaciju prijenosnih medija i topologija. Navedeni slojevi na slici 5.2 od izuzetne su važnosti korisniku jer mu omogućuju pristup pojedinim lokacijama karakterističnim za svaki sloj. Takav model predstavljen je sa IEEE 802.3 normom koja se bavi standardizacijom lokalnih mreža koje koriste metodu višestrukog pristupa mediju nazvanu CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), poznatijih pod nazivom Ethernet.

6. SAMOBALANSIRAJUĆA VOZILA

6.1. Usporedba samobalansirajućih vozila

Većina komercijalno dostupnih samobalansirajućih vozila ima podjednake dimenzije, vozne karakteristike i radijus kretanja uz iznimku namjenskih vozila kao što su npr. vozila za kretanje zahtjevnijim terenima i vozila namjenjena korištenju na golf terenima. U nastavku (tablice 6.1 i 6.2) će se prokomentirati neke od brojki koje čine osnovne karakteristike komercialnih i konceptnih rješenja samobalansirajućih vozila.

Tablica 6.1. *Usporedba masa i nosivosti samobalansirajućih vozila*

	Segway	Windrunner	Koncept rješenja vozila
Masa	47.7kg	49kg	72kg
Nosivost	45 ~ 118kg	20 ~ 120kg	120kg

Relativno male dimenzije i težina vozila omogućuju lagan transport u prtljažniku većine današnjih automobila. Veći dio mase vozila odlazi na lithium-ion baterije i na samu konstrukciju vozila koja bez problema podnosi težinu prosječnog čovjeka i osobne prtljage.

Tablica 6.2. *Usporedba baterija, kapaciteta, naponskog napajanja, brzina i radijusa kretanja samobalansirajućih vozila*

	Segway	Windrunner	Koncept rješenja vozila
Baterije	2x Lithium-ion	2x Lithium-ion	2xLiPo
Kapacitet i naponsko napajanje	5.8Ah, 73.6V	5.6Ah, 76.8V	5.8Ah, 29,6V; kad je puna 33,6V
Brzina	20km/h	20km/h	14km/h
Radijus kretanja	38km	40km	9km

Kao i kod drugih prijevoznih sredstava, kod samobalansirajućih osobnih vozila postoji mogućnost gubitka kontrole nad vozilom. Da bi se to spriječilo, uz druge sigurnosne sustave ugrađene u samo vozilo brzina istog je elektronički ograničena na maksimalnih 20km/h što uvelike smanjuje mogućnost nesreće.

Osim kapaciteta baterija, na radijus kretanja utječu različiti čimbenici, kao npr. masa vozača, zahtjevan teren te prosječna brzina kretanja i drugi. Korištenjem regenerativnog sustava kočenja koji prilikom kočenja ili spuštanja niz nizbrdicu polako puni baterije produžujemo vrijeme između dva ciklusa punjenja.

6.2. Segway

Segway [6] je prijevozno sredstvo namijenjeno osobnom gradskom transportu. Predstavlja moguće rješenje problema prenapučenosti gradova vozilima i zagađenja uzrokovanog njihovim ispušnim plinovima.

Zamisao osobnog samobalansirajućeg prijevoznog sredstva pokretanog električnom energijom jest da takvo vozilo ima operativni doseg na gradskim relacijama, te da je jednostavno za upotrebu bez kompliciranih upravljačkih komandi. Osim toga, ono mora imati dimenzije pješaka stoga i paralelan raspored kotača.

Paralelnim postavljanjem kotača jedan pored drugog narušava se ravnoteža vozila i kao takvo nemože stajati uspravno. Odgovor na taj problem nalazimo upotrebom tehnologije dinamičke stabilnosti, koja za samobalansiranje, odnosno održavanje ravnoteže upotrebljava žiroskope i akcelerometre. Ravnotežom upravlja elektonika koja položaj vozila zajedno s vozačem mjeri 100 puta u sekundi. Na taj način umjesto upravljačkim komandama, vozač položajem tijela – nagibom naprijed, nazad ili u stranu određuje brzinu i smjer kretanja vozila.

Takva sinergija vozača i vozila bez kompliciranih upravljačkih komandi omogućava gotovo trenutno ubrzanje i izmjene smjera na jednostavan i prirodan način. Na slici 6.1 prikazan je Segway koji se pokazao kao pouzdan partner u raznim poslovnim segmentima djelatnosti korisnika kao što su to policija, zaštitarske tvrtke, hotelski kompleksi, pružatelji turističkih sadržaja, turističke agencije, marketinške agencije, zračne luke, skladiša, izložbeni kompleksi i sajmovi, turistički kampovi i drugi.

Prema [3], Segway je električno prijevozno sredstvo s dva kotača koje je dizajnirao Dean Kamen. Sredstvo je predstavljeno javnosti u prosincu 2001. godine. Nastalo je nakon petogodišnjeg istraživaja, razvoja i testiranja prototipova, a to je prvi samobalansirajući osobni transporter. To je prijevozno sredstvo koje je ekološki prihvatljivo i može se voziti po pješačkim zonama i ostalim javnim površinama. Nije punopravno prijevozno sredstvo. Savršeno je jednostavan za upotrebu, jer pomoću mikroprocesora reagira na minijaturne pomake tijela tako da je praktički dovoljno samo pomisliti o kretanju naprijed ili zaustavljanju, pa da se to i dogodi. Ravnotežu održava sustav žiroskopa. Potrebno je samo nekoliko minuta da se vozač sasvim sigurno osjeća na Segwayu. Napajanje je iz paketa baterija nove generacije koje omogućuju oko 40 kilometara vožnje po ravnoj cesti, maksimalne brzine 20 km/h i vozača tjelesne mase do 120 kg. Segway teži svega 39 kg.



Slika 6.1. *Segway*

Zbog svoje atraktivnosti je izvrsno sredstvo za promidžbu proizvoda tehnološki i ekološki osviještenih tvrtki. Zahvaljujući inovativnom sustavu žiroskopa koji ga drže uspravnim nemoguće ga je prevrnuti. Svoju je primjenu pronašao u vojsci, policiji, zaštitarstvu, zračnim lukama, skladištima, kolodvorima, industriji, turizmu, naccionalnim parkovima i turističkim centrima. Predstavljen je 2001. godine i još uvijek se smatra najinovativnijim prijevoznim sredstvom predstavljenim u posljednjih desetak godina. U Hrvatskoj se koristi u turističkim obilascima grada u Zagrebu i Dubrovniku.

6.3. Wind Runner

Uređaji raspolažu sa rasklopivim mehanizmom za upravljač. Razlika sa originalom "i2" je subjektivno malo „tvrđi“ pri vožnji. Prednosti su metalni naplatci (čvršći), pojačani plastični blatobrani, jednostavniji kodirani "InfoKey" na 433MHz, alarm, status baterije i mjenjanje tri razine brzina. Posebna prednost mu je: promjer guma koji je za 2 - 3cm manji od Segwaya, što omogućuje spremanje uređaja u prtljažnik. Original je po standardnim veličinama prtljažnika nemoguće prevoziti bez skidanja kotača. Primjer Wind Runnera je prikazan na slici 6.2.



Slika 6.2. *Wind Runner*

6.4. Koncept rješenja vozila

Prilikom konstruiranja konceptnog rješenja išlo se na veće mehaničke parametre i više stupnjeve dimenzioniranja, a prikazuje ga slika 6.3 [2]. Tako je zbog praktičnih razloga korišten širi skup kotača kako se programski ne bi morala kompenzirati druga akcelerometarska i žiroskopska os. Za vozilo je dimenzionirano podvozje sa osiguranom platformom koja omogućava testiranja.
Među-osovinski razmak proširen je na 90cm kako bi vozilo moglo proći kroz kritične prolaze. Sustav se temelji na mjernim pretvornicima i aktuatorima koji čine mehaničku platformu stabilnom. Aktuatori su motori od 450W (550W pod vršnim opterećenjem) dok je razvijena struja pod opterećenjem osigurana pogonskim dijelom do 60A. Optimalnim radom potrošnja struje je reda veličine 25A za svaki pojedini motor.



Slika 6.3. *Koncept rješenja vozila*

Ovim praktičnim rješenjem ostvareno je vozilo koje je minimalno tri puta jeftinije u odnosu na originalno postojeće rješenje uz dodatak i prednost da je koncept građen za ekstremne uvjete. Koncept vozila je poboljšan dodatnim elementima za pouzdanost, kao i vizualnim aplikacijskim dodacima za praćenje, praćenje stvarnih parametara u vožnji koje originalni Segway ne nudi svojim korisnicima. Dijelovi konstrukcije i platforme vozila prikazana su na slici 6.4.



Slika 6.4. *Dijelovi platforme vozila*

7. REZULTATI MJERENJA S ANALIZOM

Cilj LabView programiranja je upoznati osnove grafičkog programiranja, tj. kreirati vlastiti virtualni mjerni instrument čije funkcije ostvaruje računalo, dizajnirati programsku aplikaciju za mjerenje uporabom grafičkog programskog jezika, zatim primjeniti LabView programski alat integriranjem računala i Labview programskih paketa u proces mjerenja i prikaza podataka, te upotrijebiti računalo kao mjerni instrument povezivanjem sa vanjskim jedinicama.

Ideja je osmisliti okruženje ili scenarije kojima će se pokriti raspon kretnji samobalansirajućih vozila, te pomoću kojih će se dobiti vjerodostojna mjerenja putem bežičnih čvorova koristeći pritom računalo i program LabVIEW za prikupljanje podataka.

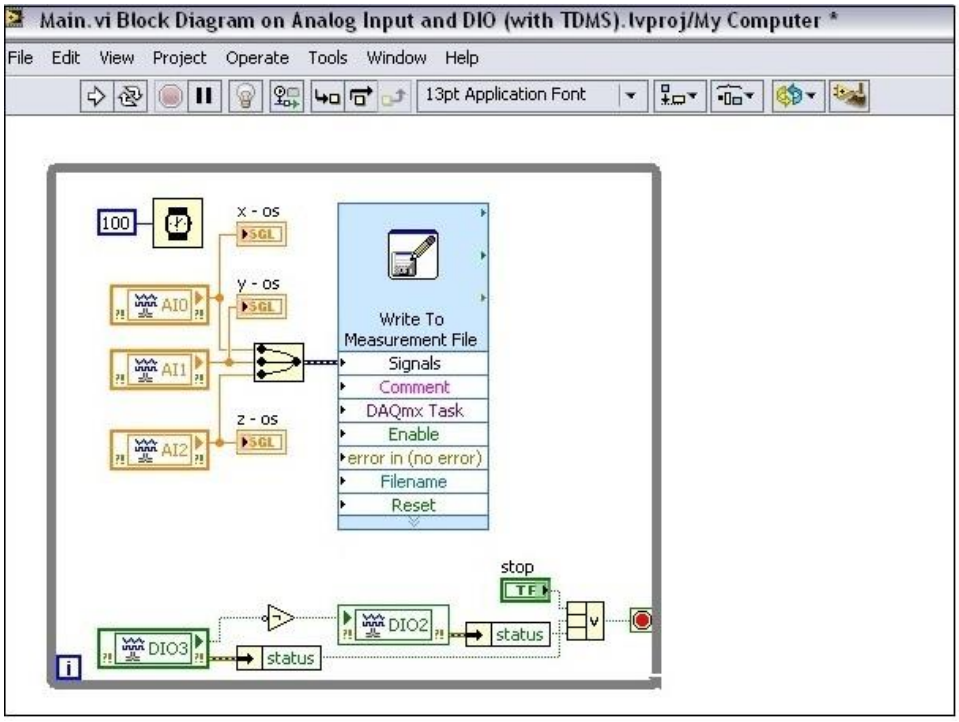
LabVIEW programi se nazivaju virtualni instrumenti, ili VI zato jer njihov izgled i operacije imitiraju fizičke instrumente. Stoga je ekstenzija u LV pisana sa .vi (*virtual instruments*). Rad u LabVIEW-u omogućava dizajniranje korisničkog okružja koristeći za to definirane alate i objekte, tj. koristeći ikone koje već sadrže tekstualni kod. To je grafički programski jezik G u kojemu korisnik ima mogućnost stvaranja prilagođenih aplikacija. LabVIEW je hijerarhijski program, jer se može koristiti samostalno na najvišoj razini, ali i kao potprogram. LabVIEW je i modularan, postoji mogućnost rješavanja problema podjelom na niz zadataka koji se dalje dijele na jednostavna rješenja koja spajanjem zajednički rješavaju složen problem. Nezavisnost potprograma olakšava otkrivanje pogrešaka. LabVIEW sadrži bogate baze podataka gotovih funkcija za kontrolu i za upravljanje mjernim instrumentima, kako za prikupljanje tako i za analizu i skladištenje podataka. Jedno jedinstveno sučelje istovremeno prati više važnih čimbenika koji utječu na procese, te postiže kontinuirano unapređivanje proizvodnje, brzo donošenje odluka, brza kontrola više sustava odjednom.

7.1. LabVIEW

LabVIEW [7] je grafički programski jezik za izradu instrumentacijskih sustava. Pomoću LabVIEW-a, brzo se kreira front-panel korisničko sučelje, koji omogućava interaktivnu kontrolu izvršenja korisničkog programa. Kako bi se specificirala funkcionalnost sustava, vrši se intuitivno grafičko sklapanje dijagrama pomoću gotovih funkcionalnih blokova, što je prirodan način tehničarskog predstavljanja sustava. LabVIEW ima sve razvojne alate i mogućnosti standardnih programskih jezika, kao što je programski jezik C. Dakle, ima petlje, strukture grananja, alate za konfiguriranje, kao i prevoditeljske performanse.

LabVIEW je revolucionarno grafičko programsko razvojno okruženje namijenjeno prikupljanju podataka i procesnom upravljanju, analizi i prikazu podataka. LabVIEW pruža fleksibilan i snažan programski jezik, bez teškoća koje uobičajeno prate konvencionalno programiranje, jer je intuitivno programiranje mnogo bliže tehničarskom pristupu projektiranja sistema.

Razvojni program u LabVIEW okruženju, vrši se asembliranjem programskih objekata koji se nazivaju virtualnim instrumentima. Koristeći *drag – and – drop* metodu, može se brzo kreirati grafički korisničko sučelje i generirati izvorni kod u obliku blok – dijagrama. Blok dijagram mjernog sučelja prikazan je na slici 7.1.



Slika 7.1. *Blok dijagram mjernog sučelja*

Programiranje u okviru LabVIEW-a se svodi na dva koraka:

1. Kreiranje korisničkog sučelja (front panel), postavljanjem raznih kontrola i indikatora.
2. Pisanje koda za kontrolu korisničkog sučelja (pisanje koda uglavnom znači kreiranje blok dijagrama sa već definiranim strukturama).

U okviru Front Panela je moguće pokrenuti izvršavanje LabView programa gdje bi se prikazao njegov rad sa trenutnim kontrolama koje su iskorištene.

Programi pisani u LV se zovu virtualni instrumenti i imaju ekstenziju *.vi. Svaki vi sastoji se od dva dijela: front panel i blok dijagram.

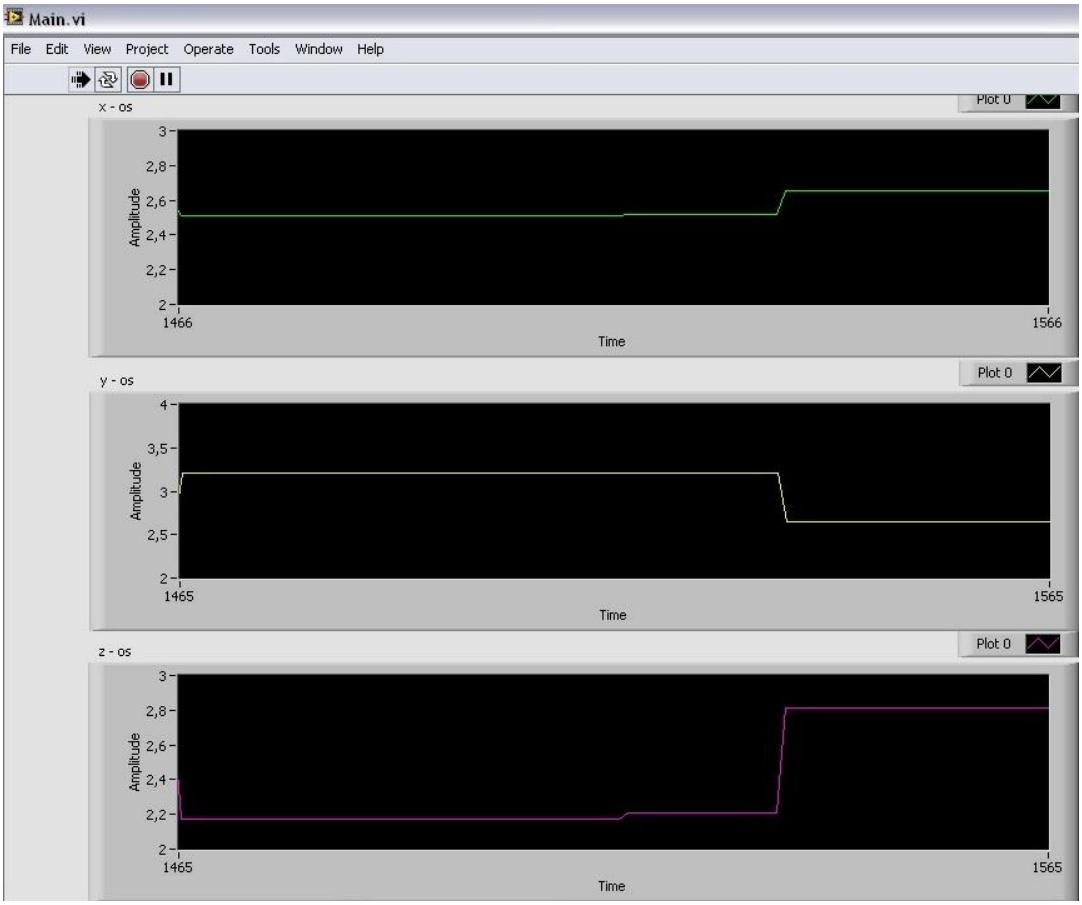
LV program-front panel

Front panel predstavlja korisničko sučelje programa. Ovaj dio simulira panel fizičkog instrumenta. Front panel sadrži kontrolere i indikatore. Kontroleri predstavljaju ulazne terminale, a indikatori izlazne. Kontoleri simuliraju ulazne dijelove uređaja i osiguravaju podatke za blok dijagram vi programa. Indikatori simuliraju izlazne dijelove uređaja i služe za prikaz rezultata iz blok dijagrama vi programa. Svaki element front panela ima odgovarajući terminal u blok dijagramu.

LV program-blok dijagram

Blok dijagram je grafički prikaz tijela programa. Za razliku od front panela koji je namijenjen korisniku, blok dijagram je namijenjen programeru. Blok dijagram se konstuira u programskom jeziku "G". Programiranje u blok dijagramu vrši se povezivanjem terminala i korištenjem glavnog menija blok dijagrama.

Front dijagram 3D sustava je prikazan na slici 7.2.



Slika 7.2. *Front dijagram 3D sustava*

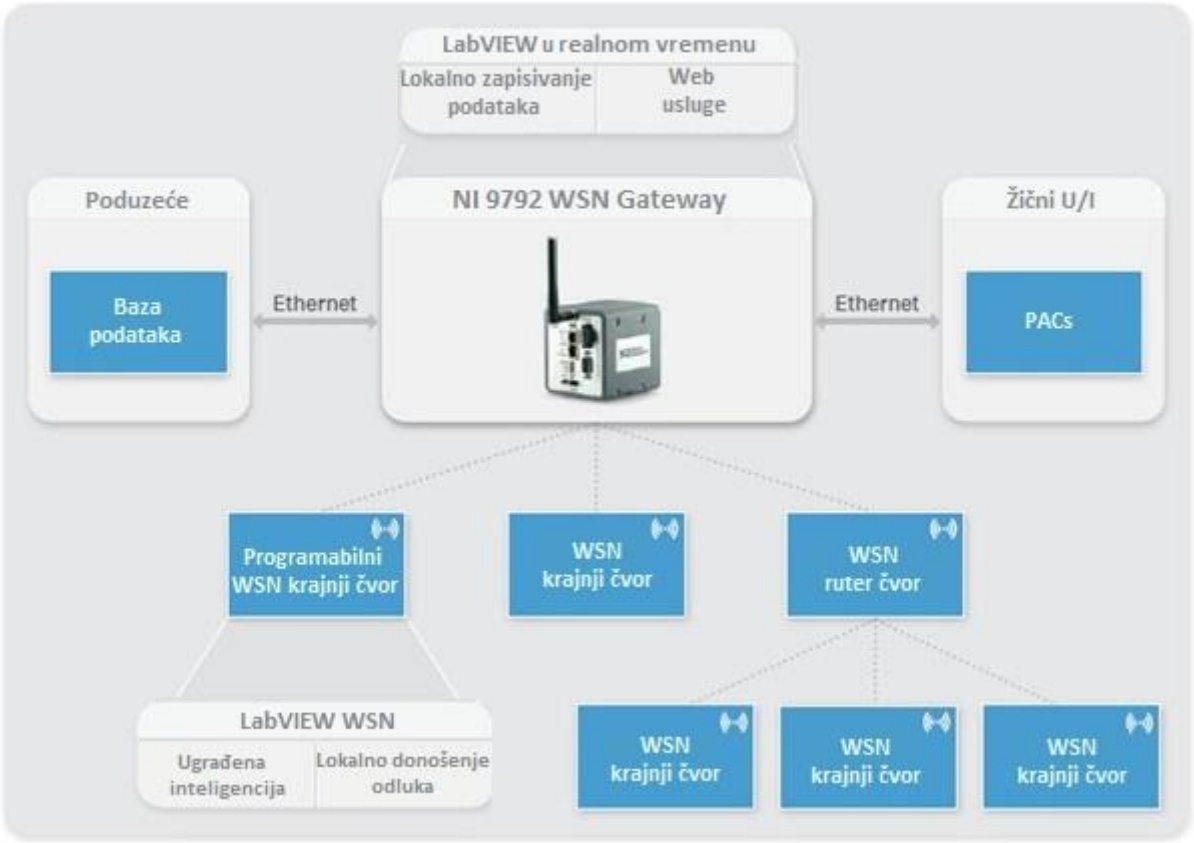
7.1.1. Razvoj sustava

Pomoću LabVIEW-a možete upravljati sustavima i vršiti prikaz rezultata preko interaktivnog grafičkog front panela. Na raspolaganju su brojne opcije za obradu podataka – pohranu podataka na disk ili direktno u bazu podataka, mrežno povezivanje između dvije ili više aplikacija, povezivanje na Internet ili ispisivanje izvještaja. Nakon prikupljanja podataka mjerenja, rezultati se mogu obrađivati primjenom snažnih alata za analizu i vizualizaciju. LabVIEW pojednostavljuje i skraćuje razvoj kompletnog sustava metodologijom intuitivnog programiranja i brojnim neophodnim funkcijama integriranim u razvojno okruženje. S obzirom na modularnost i hijerarhijsku strukturu LabVIEW-a, u kratkom vremenu je moguće izvršiti izradu prototipa, izvršiti modifikaciju i zavrsiti dizajn aplikacije.

Veliki broj LabVIEW-ovih „add-on“ programskih paketa omogućava ostvarenje složenih zadataka, kao što je slanje podataka na Internet, akvizicija slike, programiranje baze podataka i slično, jednostavnim integriranjem ovih paketa u LabVIEW razvojno okruženje.
LabVIEW se koristi u različitim područjima znanosti i tehnike: mjerenja, testiranja, nadziranja i procesno upravljanje, objektno orijentirano programiranje (LVOOP). Ove aplikacije obuhvaćaju nadzor transportnih sustava, laboratorije, automatsko ispitivanje dijelova, upravljanje.

7.2. Upravljač NI 9792

NI 9792 upravljač, prema [8] koji je programirljiv s LabVIEW grafičkim programskim jezikom, može komunicirati s bežičnim senzorskim mrežama (WSN) kao i s drugim sklopovljem putem različitih komunikacijskih standarda. Ovaj visoko učinkoviti kontroler ima 533 MHz procesor, 2GB prostora za pohranu podataka i 2.4 GHz radio antenu bežičnog standarda IEEE 802.15.4 za komunikaciju sa 8 WSN čvorova (zvijezda topologija), odnosno do 36 raspodijeljenih WSN čvorova (u 3 mrežaste topologije).
NI 9792 također ima dvostruke Ethernet pristupe radi pružanja fleksibilnijeg povezivanja s drugim uređajima mjernog sustava. S takvom fleksibilnošću može se kreirati bilo kakav žičani ili bežični mjerni sustav prilagođen trenutnim mjernim potrebama.
Programiranjem NI 9792 kontrolera putem LabView programa može se prikupljati, analizirati i prikazivati podatke dobivene putem mjerenja bežičnih uređaja (slika 7.3), prema [8].



Slika 7.3. *NI WSN sustav koji omogućuje fleksibilno povezivanje s drugim uređajima u skladu s potrebama, prema [8]*

7.3. Programirljivi mjerni čvor NI WSN – 3202

Programirljivi NI WSN - 3202 mjerni čvor [9] je bežični uređaj koji nudi četiri analogna ulazna kanala i četiri dvosmjerna digitalna kanala. Uređaj se napaja sa četiri 1.5V AA alkalne baterije kojima se postiže vijek trajanja do tri godine ili možemo vanjskim putem napajati mjerni čvor preko 9V pa sve do 30V napajanja.

Koristeći LabVIEW Wireless Network (WSN) grafičko programiranje, može se prilagoditi ponašanje čvora i na taj način produžiti vijek trajanja baterije, povećati analogne i digitalne ulazne preformanse, obavljati kontrolu i analizu podataka, te spajanje s drugim senzorima.

Zadano ponašanje NI WSN - 3202 čvora je prenositi svaki dobiveni uzorak na gateway. Međutim to nije uvjet u mnogim primjenama čvora. Korištenjem LabVIEW programa može se isprogramirati čvor na taj način da odašilje samo bitne podatke, te na taj način produžiti vijek trajanja baterije.

Mjerni čvor bežičnim putem prima LabVIEW postavke i ažuriranja putem ugrađene 2.4 GHz antene koja također služi i za odašiljanje podataka na WSN gateway. Na slici 7.4 je prikazan programirljivi mjerni čvor NI WSN-3202 priključni ulazi i mjerni čvor.

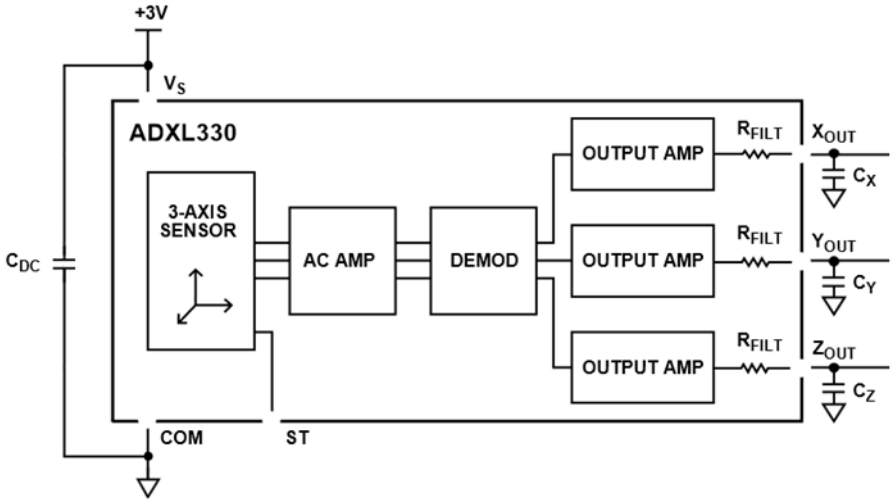
WSN – 3202 se može konfigurirati i kao mrežni usmjerivač, te tako povećati udaljenost mreže i povećati broj čvorova WSN sustava. Može se povezati osam mjernih čvorova (zvijezda topologija) ili do 36 mjernih čvorova (*mesh* topologija) na jedan WSN gateway.



Slika 7.4. *NI WSN-3202 konektorski ulazi i mjerni čvor*

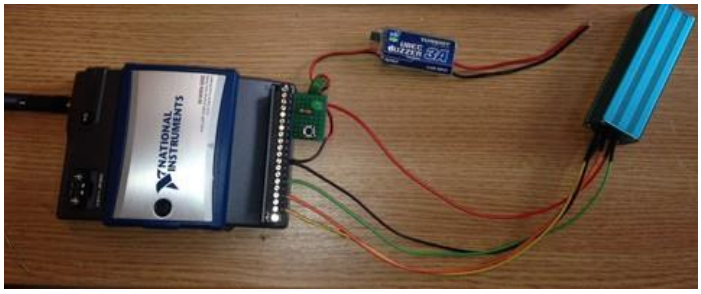
7.4. Mjerni sustav ubrzanja ADXL330

ADXL330 [10] je mjerni sustav ubrzanja u tri osi koji ima mjerni raspon minimalno ± 3g. Može se koristiti u uređajima gdje je potrebno mjeriti statičko ubrzanje sile teže u sustavima gdje se koristi osjet nagiba, kao i dinamičko ubrzanje uslijed pokreta, udarca ili vibracija. Koristeći kondenzatore Cx, Cy i Cz, na izlazima XOUT,YOUT, ZOUT može se podesiti osjetljivost senzora u skladu s njegovom primjenom i to s rasponom od 0,5 Hz do 1600 Hz za X i Y osi, te rasponom od 0,5 Hz do 550 Hz za Z osi. Primjer mjernog sustava ubrzanja ADXL330 je prikazan na slici 7.5 koja prikazuje funkcionalni blok dijagram mjernog sustava ubrzanja ADXL330.



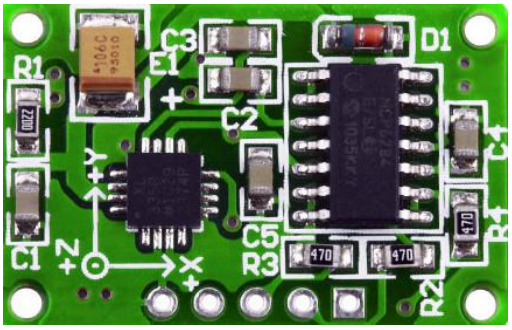
Slika 7.5. *Funkcionalni blok dijagram mjernog sustava ubrzanja ADXL330*

ADXL330 koristi jedan sklop za očitavanje X, Y i Z osi. Kao rezultat toga, osjetilo pravca tri osi je vrlo ortogonalno s malim međuosnim smetnjama. Slika 7.6 prikazuje ADXL330 akcelerometar spojen sa mjernim čvorom NI WSN – 3202.



Slika 7.6. *ADXL330 akcelerometar spojen sa mjernim čvorom NI WSN – 3202*

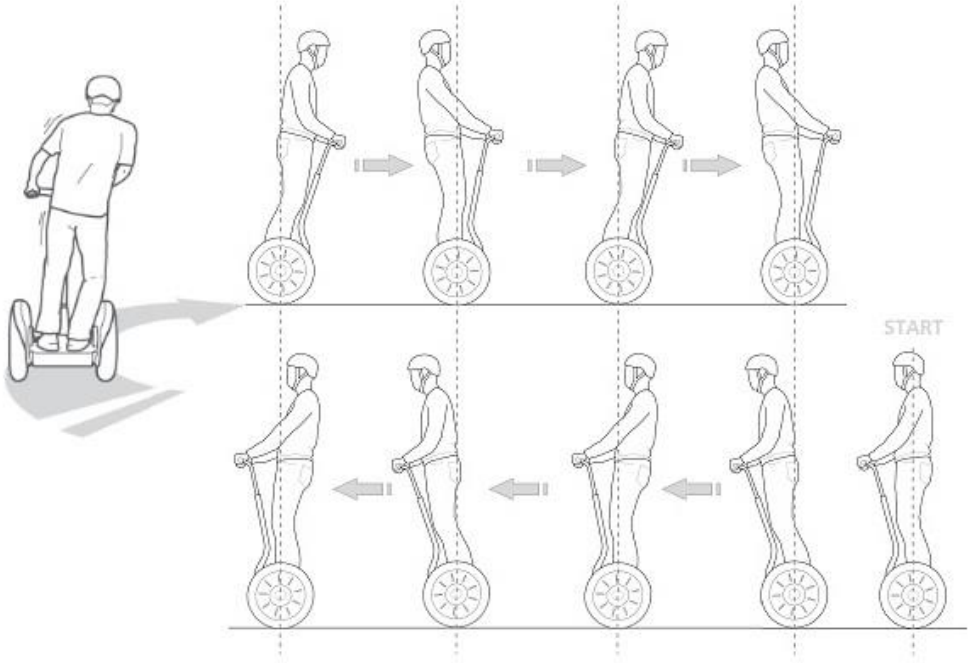
Zbog niske cijene i malih dimenzija ADXL330 akcelerometar (slika 7.7) može naći primjenu u različitim uređajima kao što su uređaji za osjet pokreta, nagiba, za stabilizaciju slike i dr.



Slika 7.7. *ADXL330 akcelerometar*

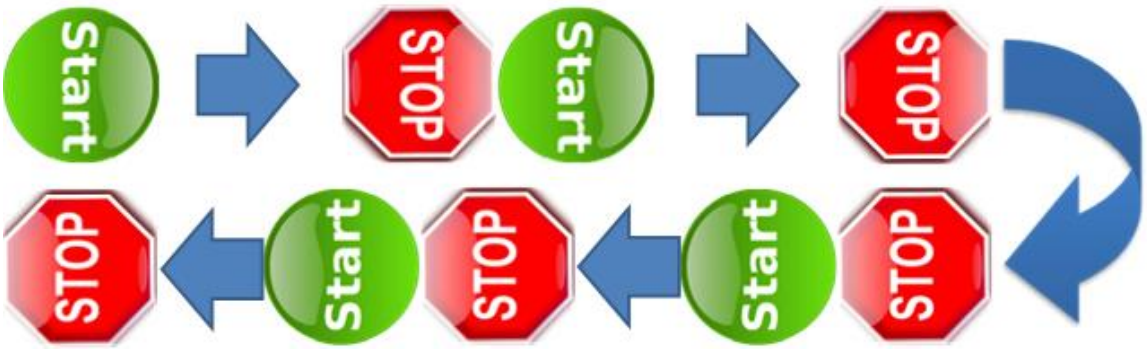
7.5. Pravocrtno kretanje

U prvom scenariju uspoređivalo se sva tri samobalansirajuća vozila u pravocrtnoj kretnji uz naglo zaustavljanje te ponovno kretanje (start - stop) te okret za 180 stupnjeva uz ponavljanje start - stop radnje. Na taj način su se trebali dobiti vjerodostojni podaci u sva tri slučaja o ubrzanju i vremenu potrebnom da se svaki od njih zaustavi te silama koje utječu na vozilo prilikom tih kretnji. Na slici 7.8 je prikazano pravocrtno kretanje samobalansirajućeg vozila.



Slika 7.8. *Pravocrtno kretanje*

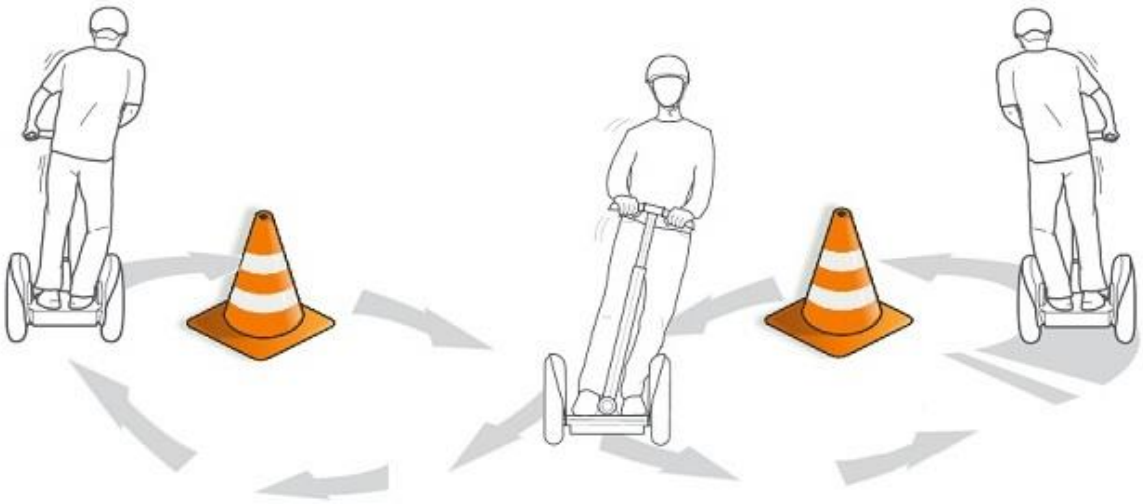
Na slici 7.9 prikazan je algoritam start-stop scenarija.



Slika 7.9. *Start-stop scenarij*

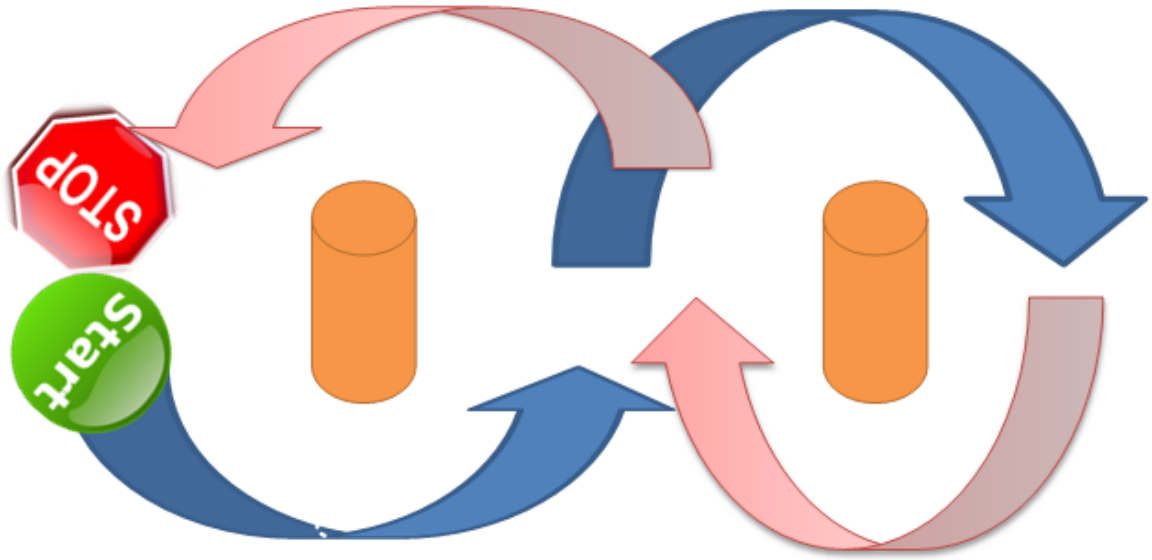
7.6. Kretanje u obliku osmice

Drugi scenarij sastoji se od kretnje u obliku broja osam, vozila su morala savladati dvije dijagonale i dva teža zavoja jednoličnom brzinom, te se tako mjerila inercija i centrifugalna sila koja djeluje na njih prilikom obavljanja takvog manevra. Na slici 7.10 je prikazano kretanje u obliku osmice.



Slika 7.10. *Kretanje u obliku osmice*

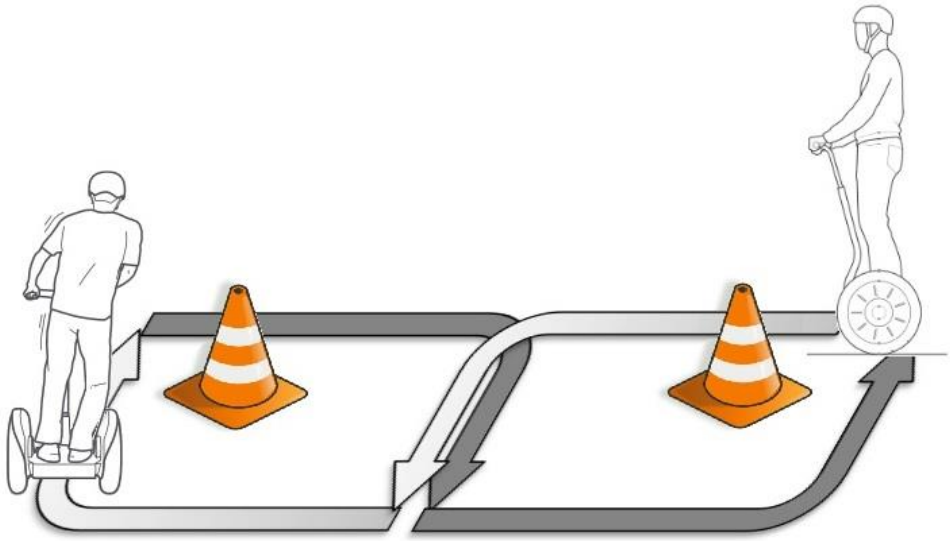
Na slici 7.11 je prikazan algoritam osmica scenarija.



Slika 7.11. *Osmica scenarij*

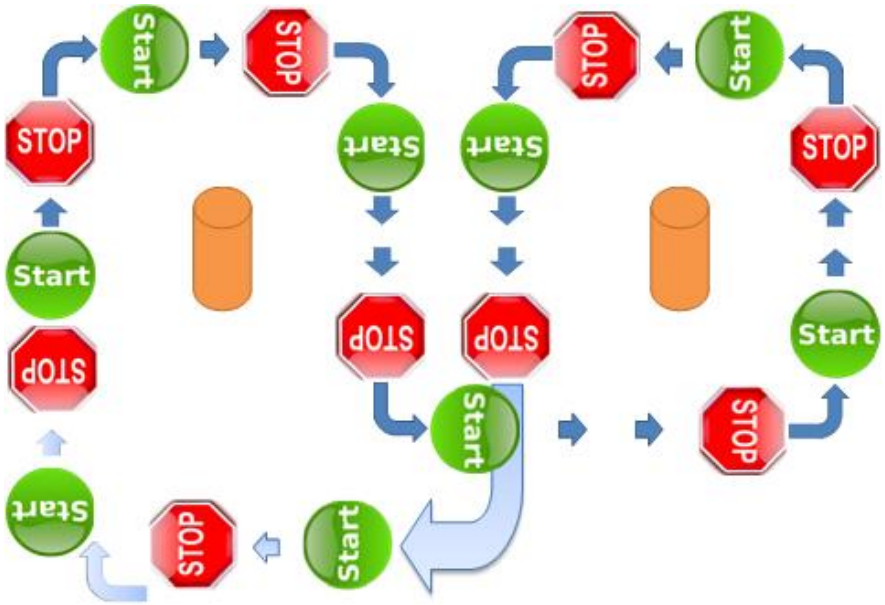
7.7. Kretanje u obliku osmice pod pravim kutem

Treći scenarij ujedno i najsloženiji od svih sastoji se od vožnje u obliku broja osam, ali ovaj put po zamišljenim stranicama dva četverokuta smještena jedan pored drugog. Prilikom svake vožnje po jednoj od stranica četverokuta potrebno je zaustaviti se te u mjestu zarotirati vozilo za 90 stupnjeva i nastaviti dalje. Čitav scenarij sastoji se od četiri skretanja u lijevo i četiri u desno. U ovom scenariju mjerila se razlika u težini upravljanja između sva tri samobalansirajuća vozila. Na slici 7.12 je prikazano kretanje u obliku osmice pod pravim kutem.



Slika 7.12. *Kretanje u obliku osmice pod pravim kutem*

Na slici 7.13 je prikazan algoritam kvadrat scenarija.



Slika 7.13. *Kvadrat scenarij*

7.8. Usporedba grafova kretanja

Određivanje prostorne orijentacije samobalansirajućih vozila bitan je podatak prilikom praćenja aktivnosti vozila kroz vremenski period zbog usporedbe i donošenja zaključaka iz većeg broja parametara. Kako bi se odredila njegova orijentacija, koriste se vrijednosti izmjerene akcelerometrom.

Mjerni čvor pričvršćen je na vozilo s poznatom orijentacijom X, Y i Z-osi. Iz akceleracije se može zaključiti o trenutnom smjeru gibanja vozila. Ukoliko se želi odrediti orijentacija vozila s obzirom na smjer gravitacije potrebno je gledati niske frekvencije signala sa akcelerometra, dok više frekvencije sadrže informacije gibanja vozila.

U prvom scenariju uspoređivalo se sva tri samobalansirajuća vozila u pravocrtnoj kretnji uz naglo zaustavljanje te ponovno kretanje (start - stop), te okret za 180 stupnjeva uz ponavljanje start - stop radnje. Tako su se dobili podaci o ubrzanju i vremenu kod sva tri slučaja koji su otprilike podjednaki osim kod Koncepta čiji je graf nešto drugačiji od Segwaya i Wind Runnera.

Y-os ima puno veću amplitudu od X-osi, dok Z-os ima pozitivnu i to preko 10 m/s^2. Akceleracija od Z osi se kreće oko 10m/s^2, a od X i Y-osi oko 0. Na lijevoj strani se nalazi prikaz 3D slike, a na desnoj prikaz istoga u koordinatnom sustavu. Sve tri osi prikazuju akceleraciju koja predstavlja ubrzanje samobalansirajućeg vozila koje ovisi o smjeru u kojem se giba.

U drugom scenariju su se uspoređivala samobalansirajuća vozila i njihove kretnje u obliku broja osam gdje su vozila trebala savladati dijagonale i prepreke jednolikom brzinom. Iz grafa se može vidjeti akceleracija na sve tri osi što znači da se mjeri ubrzanje po X, Y i Z-osi i kako ubrzanje u određenom smjeru ovisi o druga dva smjera.

U trećem scenariju se mjerila vožnja u obliku broja osam (kvadrat osmica), gdje je kod svake stranice četverokuta bilo potrebno zaustaviti se i u mjestu zarotirati vozilo za 90 stupnjeva i nastaviti dalje. Kod sva tri vozila mjerila se razlika u težini upravljanja.

Kod Segwaya i Wind Runnera u stop-start i kvadrat osmici Y-os se ističe sa većom amplitudom, a u scenariju kod osmice su amplitude podjednake. Kod Koncepta je dosta nepravilno, odnosno puno nepravilnije nego kod Segwaya i Wind Runnera, a to se primijeti kod gustoće linija. Kod Koncepta, za razliku od Segwaya i Wind Runnera se primijeti razlika s time da je Koncept nepravilniji. To se primijeti iz dva razloga: 1. po gustoći linija- u Konceptu su linije puno gušće što ukazuje na nepravilnost, 2. po tome što se kod Segwaya i kod Wind Runnera u start-stop i kvadrat osmici Y-os ističe sa većom amplitudom, dok su u osmici amplitude podjednake.

Kod koncepta je to puno teže za uočiti.

Na slikama 7.14, 7.15 i 7.16 prikazan je grafički prikaz start-stop radnje kod Segwaya, Wind Runnera i Koncepta prema [12], [13] i [14]. Na slikama 7.17, 7.18 i 7.19 prikazan je grafički prikaz radnje u obliku osmice [15], [16] i [17], a na slikama 7.20, 7.21 i 7.22 grafički prikaz radnje u oblicu kvadrat osmice prema [18], [19] i [20].
Analiza slika:

Usporedba start-stop radnji za sva tri vozila:

Kod start-stop radnje može se vidjeti da Segway ima najmanju akceleraciju, kao i najmanje promjene u amplitudi akceleracije. Kod X-osi sva tri vozila imaju podjednaku amplitudu i frekvenciju. Wind Runnner ima najveću akceleraciju, ali je zato manje stabilna u odnosu na Segway. Zbog toga ima i najveću amplitudu i akceleraciju po Y-osi i taj učinak ne bi trebao biti dobra karakteristika jer zanosi od osnovne linije kretanja. Koncept ima ubrzanje bolje od Segwaya, ali je najnestabilnije u odnosu na Segway i Wind Runner. Na slikama se vidi da jedino Koncept većinom odlazi u negativnu akceleraciju po Y-osi. Glavna os kretanja i ono što zanosi ostale dvije osi su poremećaji. S obzirom na regulaciju i stabilnost akceleracije u zadanom smjeru Z-osi, može se zaključiti da u ovom scenariju Koncept ima najlošije karakteristike, a Segway najbolje.

Usporedba radnje u obliku osmice za sva tri vozila:

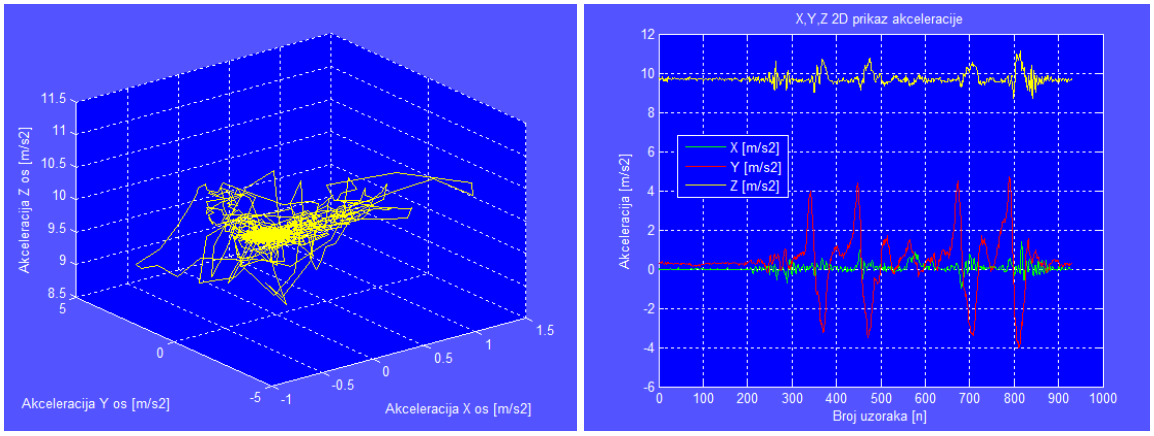
Za radnju u obliku osmice Segway ima najmanju amplitudu maksimalne promjene akceleracije, ali i duže vrijeme smirivanja poremećaja u odnosu na Wind Runner. Vidi se da Koncept ima najlošije karakteristike jer ima najveću frekvenciju poremećaja - učestalost titranja i najnestabilniju akceleraciju po Z-osi. Što se tiče X-osi, Koncept ima najbolje karakteristike zbog najmanje amplitude akceleracije, a Wind Runner najlošije - najviše zanosi po X-osi i na taj način najviše utječe na poremećaj u akceleraciji Z-osi. Kod Y-osi se vidi da Segway naginje prema pozitivnoj ravnini sustava, dok Koncept naginje u negativnu os. Koncept za razliku od Segwaya titra puno većom frekvencijom, ali manjom amplitudom. Wind Runner se za osmicu čini najbolji po karakteristikama jer najbolje regulira akceleraciju, te ima najmanje odstupanje.

Usporedba radnje u obliku kvadrat osmice za sva tri vozila:

U ovoj radnji Segway ima najveći problem sa X-osi jer je amplituda najveća, a frekvencija najmanja. Kod Koncepta je za istu os najveća frekvencija, a amplituda manja od Segwaya. Po ovoj osi najbolje karakteristike ima Wind Runner. Za Y-os, Segway ima najveću amplitudu poremećaja, dok je frekvencija poremećaja najveća za Koncept. Može se primjetiti da Y-os

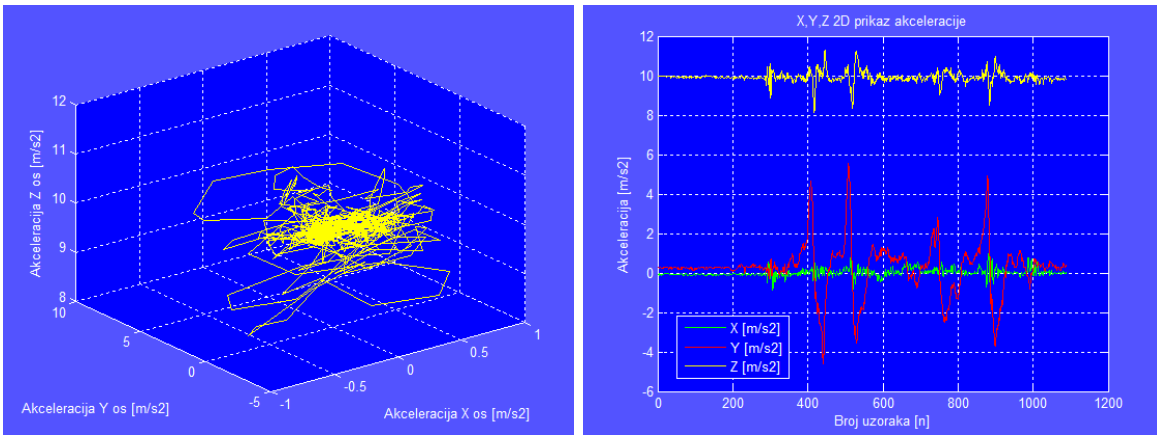
najviše problema pravi glavnoj akceleraciji Koncepta. Potrebno je smanjiti veliku frekvenciju poremećaja glavne akceleracije Koncepta (Z-os). Kod glavne akceleracije se može vidjeti da najbolje karakteristike ima Wind Runner, iako titra većom frekvencijom od Segwaya (amplituda je manja). U ovom scenariju kod Koncepta akceleracija po Y-osi ide u negativnu stranu, ali ne toliko kao u prva dva slučaja.

Segway



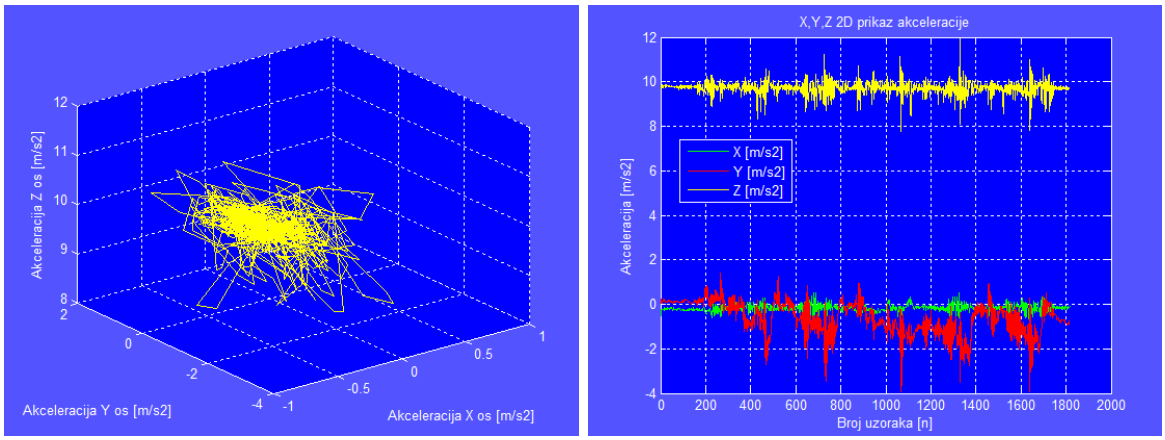
Slika 7.14. *Grafički prikaz akceleracije start-stop scenarija za Segway prikazan u izometriji u tri osi*

Wind Runner



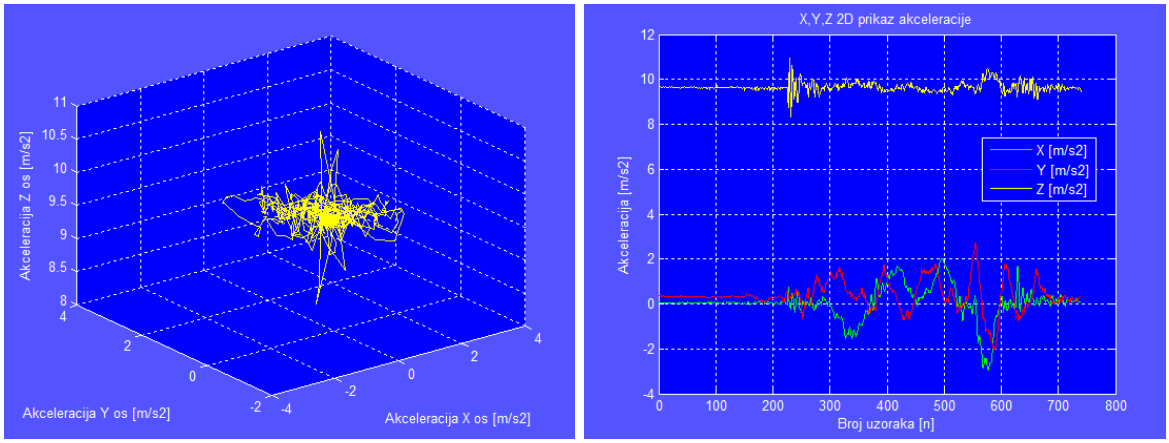
Slika 7.15. *Grafički prikaz akceleracije start-stop scenarija za Wind Runner prikazan u izometriji u tri osi*

Koncept



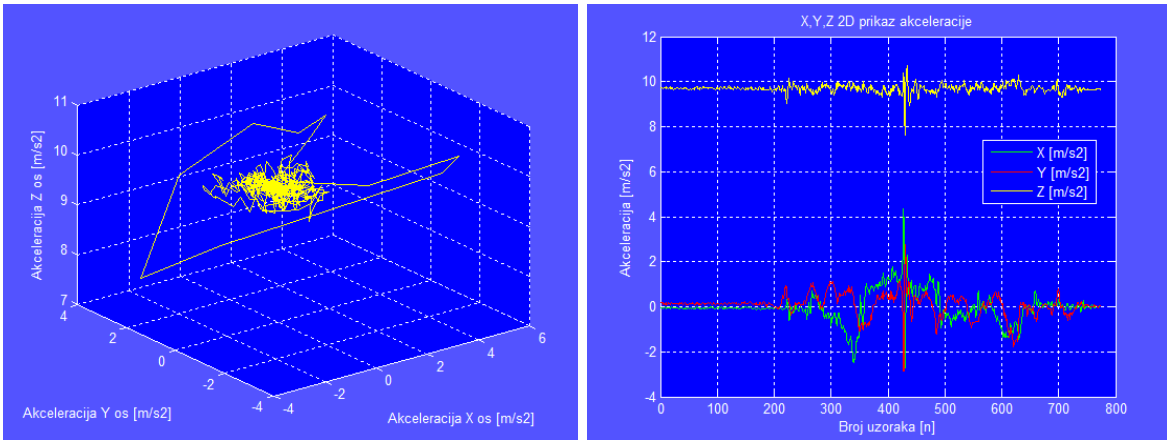
Slika 7.16. *Grafički prikaz akceleracije start-stop scenarija za Koncept prikazan u izometriji u tri osi*

Segway



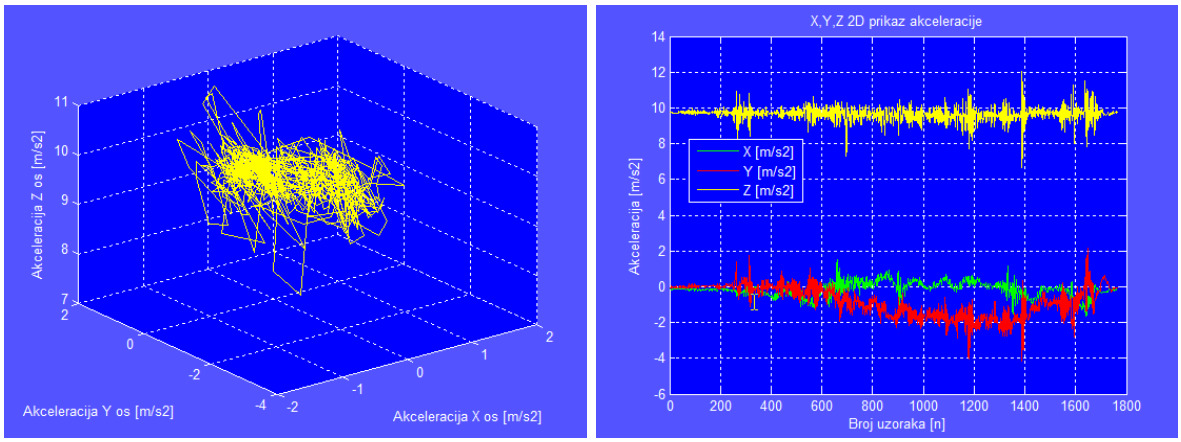
Slika 7.17. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku osmice za Segway prikazan u izometriji u tri osi*

Wind Runner



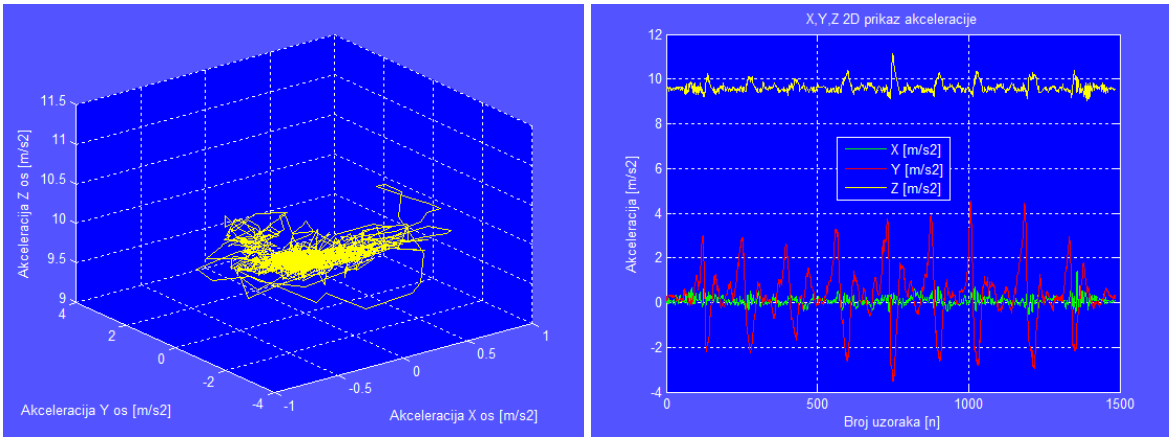
Slika 7.18. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku osmice za Wind Runner prikazan u izometriji u tri osi*

Koncept



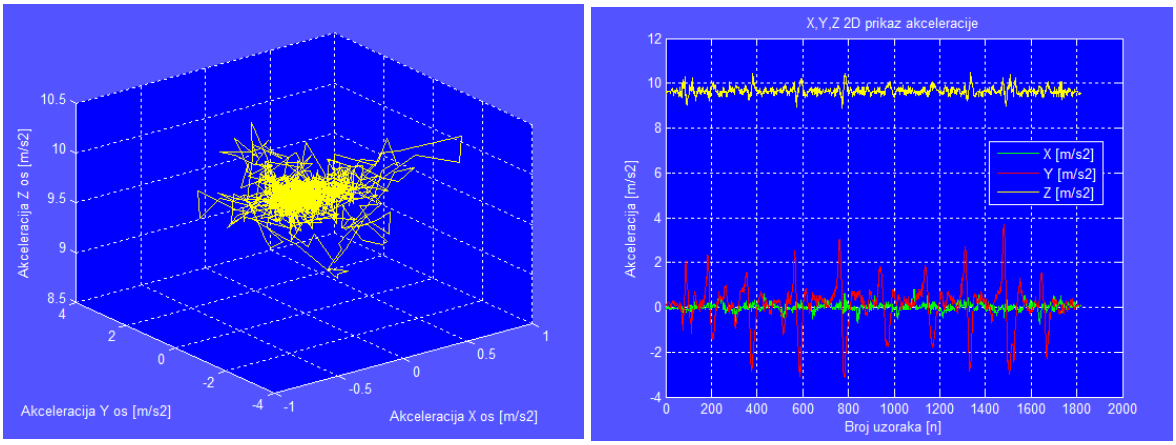
Slika 7.19. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku osmice za Koncept prikazan u izometriji u tri osi*

Segway



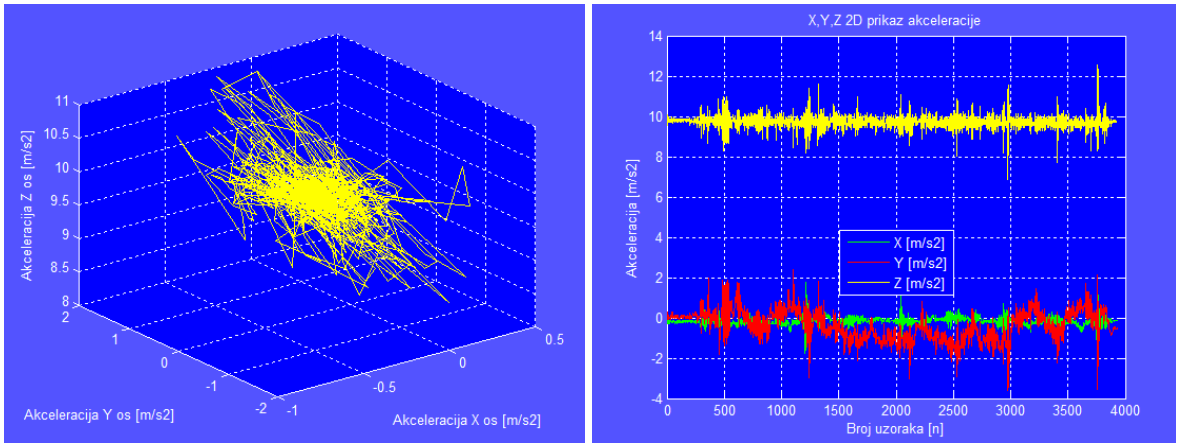
Slika 7.20. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku kvadrat osmice za Segway prikazan u izometriji u tri osi*

Wind Runner



Slika 7.21. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku kvadrat osmice za Wind Runner prikazan u izometriji u tri osi*

Koncept



Slika 7.22. *Grafički prikaz akceleracije scenarija u obliku kvadrat osmice za Koncept prikazan u izometriji u tri osi*

8. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je objasniti i vidjeti razlike između tri samobalansirajuća vozila: Segwaya, Wind Runnera i Koncepta. Koncept je poboljšan dodatnim elementima za pouzdanost, kao i dodacima za praćenje stvarnih parametara vozila tijekom vožnje koje originalni Segway ne nudi svojim korisnicima. Prikazana su mjerenja tri puta po tri scenarija: pravocrtno kretanje, kretanje u obliku osmice i kretanje u obliku osmice pod pravim kutem. U mjerenjima kod grafova se vidi razlika između ta tri vozila, gdje su Segway i Wind Runner slični, dok je Koncept nepravilniji. Kod Koncepta su linije gušće i teže je iščitati značajnije promjene prilikom mjerenja, dok se kod Segwaya i Wind Runnera za start-stop i kvadrat osmice Y-os ističe većom amplitudom. Akceleracija po Y-osi uzrokuje većinu problema vezano za glavnu akceleraciju Koncepta i taj bi se dio kontrole trebao poboljšati. Problem je vjerojatno u proporcionalnom članu, s obzirom da sustav titra velikom frekvencijom oko zadane akceleracije. S obzirom na karakteristike i razlike koje su prikazane na slikama i objašnjene u tekstu, Wind Runner se čini najboljim, osim za start-stop radnju, jer je najstabilniji tijekom vožnje, dok je Koncept najlošiji zbog prevelike frekvencije i promjene akceleracije. Mjerenja su se radila pomoću programa LabVIEW, upravljača NI 9792, programirljivog mjernog čvora NI WSN – 3202 i mjernog sustava ubrzanja ADXL330 gdje se analizirao dani problem.

9. LITERATURA

[1] T. Tomašić, A. Demetlika, *Fuzija akcelerometara i žiroskopa primjenom Kalmanovog filtra za estimaciju varijabli stanja mobilnog robota*, Seminarski rad iz kolegija Senzori, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.

[2] D. Šoštarić, *Samobalansirajuće vozilo za ekstremne uvjete*, Seminarski rad (MIPRO INOVA), Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2012.

[3] Wikipedia, *Segway*, http://hr.wikipedia.org/wiki/Segway

[4] I. Šoštarić, *SPI sučelje senzorskog čvora sa prikazom mjernih rezultata u stvarnom vremenu*, Završni rad, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2009.

[5] Recenzia: Parrot AR Drone – smartfónom ovládaná kvadrikoptéra. www.iphonemania.sk/2011/10/recenzia-parrot-ar-drone-smartfonom-ovladana-kvadrikoptera/, 15.10.2011.

[6] Segway, www.segway.hr/pdf/u-medijima/menu-16.pdf, 26.2.2009.

[7] LABVIEW, www.ss-tehnicka-rboskovic-zg.skole.hr/upload/ss-tehnicka-rboskovic-zg/images/static3/4713/File/TEHNICAR_ZA_ELEKTRONIKU4.pdf, 04.06.2012.

[8] NI 9792 Programmable WSN Gateway, sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-284/lang/hr, 11.05.2013.

[9] NI WSN-3202, sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hr/nid/206921, 22.10.2013.

[10] ADXL330, www.sparkfun.com/datasheets/Components/ADXL330_0.pdf, 24.03.2006.

[11] Segway, www.segway.hr/, 26.03.2012.

[12] Original_Segway - Scenario - start-stop, www.youtube.com/watch?v=VtZBwGMSBxo, 17.12.2013.

[13] Wind_Runner_Segway-Scenario-start-stop, www.youtube.com/watch?v=UAczbRDDJrY, 17.12.2013.

[14] CDS_Scenario_start_stop, www.youtube.com/watch?v=pEngGxy2UMo, 17.12.2013.

[15] Original_Segway - Scenario – osmica, www.youtube.com/watch?v=qm1yxfAvX3A, 17.12.2013.

[16] Wind_Runner_Segway - Scenario - osmica , www.youtube.com/watch?v=MDevKD3Sw-s, 17.12.2013.

[17] CDS_Scenario_osmica, www.youtube.com/watch?v=ehJEdT89PDo, 17.12.2013.

[18] Original_Segway - Scenario – kvadrat, www.youtube.com/watch?v=MY0aY2tI60U, 17.12.2013.

[19] Wind_Runner_Segway - Scenario-kvadrat, www.youtube.com/watch?v=gP0dp1uBhNM, 18.12.2013.

[20] CDS_Scenario_kvadrat, www.youtube.com/watch?v=sPvdMufcxOA, 17.12.2013.

SAŽETAK

U teorijskom dijelu diplomskog rada opisani su akcelerometri i žiroskopi, njihova podjela, te prednosti i nedostaci, zatim bežične senzorske mreže i samobalansirajuća vozila. Cilj ovog rada je objasniti i uočiti razlike između tri samobalansirajuća vozila: Segwaya, Wind Runnera, Koncepta i prikazati mjerenja dobivena u tri različita scenarija. Kod praktičnog dijela je dana usporedba tri samobalansirajuća vozila, njihove različite kretnje i program korišten za mjerenje. Konstrukcija robota je sama po sebi nestabilna, teži prevrtanju oko osi rotacije kotača, pa se djelovanjem motora robot pokreće u odgovarajući smjer i time vraća u uspravni položaj. Kod rezultata mjerenja je prikazana razlika samobalansirajućih vozila, te koje vozilo se u kojim radnjama najbolje pokazalo i dalo najbolje rezultate.

Ključne riječi: akcelerometar, bežične senzorske mreže, mjerni sustav ubrzanja, samobalansirajuća vozila, žiroskop.

ABSTRACT

Theoretical part of this paper describes the accelerometers and gyroscopes, their differences, advantages and disadvantages, then the wireless sensor networks and self-balancing vehicle. The aim of this paper is to explain the observed differences between the three self-balancing vehicles: Segway, Wind Runner, Concept and display measurements obtained in three different scenarios. Practical part of this paper describes a comparison of three self-balancing vehicles, their various movements and the program used to measure their performance. The construction of the robot itself is unstable, tends to tumble down on its axis of wheel rotation, so the reaction of the robot is driven by the motor in the appropriate direction, and thus returns to the upright position. The measurement part describes differences between each self-balancing vheicle and which one gave the best resoults.

Ključne riječi: accelerometer, wireless sensor networks, acceleration measurement system, self-balancing vehicle, gyroscope.

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

SPI	Serial Peripheral Interface
SČ	Senzorski čvor
PBC	Printed Circuit Board
RLG	Ring laser gyroscope
FOG	Fiber optic Gyro
WSN	Wireless Sensor Network
NesC	Network Embeded System C
LAN	Local Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
DEC	Digital Equipment Corporation
WPAN	Wireless Personal Area Networks
ISM	Industrial, Scientific and Medical
TCP	Transmission Control Protocol
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

ŽIVOTOPIS

Ivana Šoštarić, rođena 01. srpnja 1987. godine u Požegi, Republika Hrvatska. Osnovnu školu pohađa i završava u Požegi. Nakon osnovne škole upisuje srednju Tehničku školu u Požegi za zanimanje tehničar za telekomunikacije koju završava s odličnim uspjehom. Pritom ostvaruje izravan upis na Elektrotehnički fakultet u Osijeku 2006. godine. U slobodno vrijeme bavi se plesom.

_____

POTPIS