Vrednotenje implementacije algoritma za obdelavo signalov pridobljenih iz 3D žiroskopa in pospeškometrov na pametnih telefonih

Aleksander Kovač

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 133, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: [ak78348@student.uni-lj.si](mailto:ak78348@student.uni-lj.si)

Mentorica: doc. dr. Sara Stančin

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: sara.stancin@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** V članku je predstavljen izziv za vzpostavitve ogrodja za analiziranje podatkov iz meritev s pomočjo 3d žiroskopa (angl. »Gyroscope«) in pospeškometra (angl. »accelerometer«) na dveh pametnih telefonih. Podatki so bili obdelani in predstavljeni v programu MATLAB. V izziv sem se osredotočil najprej na pravilni zajem in implementacijo osnovnih algoritmov za pridobitev podatkov. Pri tem sem uporabljal vrednosti, ki jih predpisujejo proizvajalci omenjenih mikro-mehanskih električnih struktur (angl. »Micro electric structure«). Rezultat je prikaz izračunanega nagiba, zasuka ter nagnjenja iz meritev inercijskih merilnih enot (angl. »Inertial Measurement Unit«) in komentar, kako bi se v praksi lahko lotili takega sistema, kjer bi z večimi senzorji merili pravilnost drže pri hoji.

**Ključne besede:** 3d žiroskop, pospeškometer, filter, frekvenca, inercijska merilna enota

**Evaluation of the implementation of an algorithm for processing signals obtained from 3D gyroscopes and accelerometers on smartphones.**

The article presents a challenge in establishing a framework for analyzing data from measurements using a 3D gyroscope and accelerometer on two smartphones. The data was processed and presented using MATLAB software. In the article, I initially focused on proper data acquisition and the implementation of basic algorithms for data retrieval. I used values prescribed by the manufacturers of the mentioned micro-electric structures. The result is a display of calculated paths from measurements of inertial measurement units (IMUs) and commentary on how to approach such a system in practice, where posture correctness during walking could be measured using multiple sensors.

**Keywords:** 3D gyroscope, accelerometer, filter, frequency, Inertial Measurement Unit

# Uvod

V današnji dobi imajo uporabniki na voljo pri roki vsaj eno napravo (pogosto pametni telefon), ki ima na svojih vezjih vključen vsaj en senzor, pa naj si bo to fotoaparat, ki služi zajemu fotografij, in ga uporabimo občasno, ali pa 3D žiroskop in pospeškometer, ki poleg kakim razvedrilnim funkcijam, služita še praktičnim namenom (npr. enostavno zaznata trenutek, ko uporabnik želi iz »portretnega načina« (angl. »portrait mode«) v »ležeč način« (angl. »lanscape mode«) ali obratno …). 3D žiroskop (v nadaljevanju enostavno žiroskop) in pospeškometer se prav tako danes uporabljata za merjenje števila narejenih korakov preko različnih aplikacij. V primeru večih senzorjev, bi se tako dalo narediti sistem v katerem bi izmerili držo uporabnika pri izvajanju hoje ali druge aktivnosti (npr. plesa, kjer so poteze tekoče). Seveda je najprej potrebno zajeti signale senzorjev in implementirati osnovno logiko obdelave podatkov, da lahko začnemo sploh s konkretno analizo. V naslednjem poglavju je opisan proces zajemanja in obdelave podatkov.

# Navodila za oblikovanje

Za zajem podatkov sem izbral dva pametna telefona Google Pixel 4a 5G, (v nadaljevanju Pixel) in Samsung Galaxy A53 5G (v nadaljevanju Samsung), ki oba uporabljata senzorje podjetja STMicroelectornics, konkretno LSM6DSR [1] za Pixel in LSM6DSO [2] za Samsung. Podatke lahko razberemo s pomočjo različnih aplikacij, ki dostopajo do notranjih podatkov telefona. Ena od takih je tudi aplikacija PhyPhox [3], ki poleg prikazovanja teh informacij, nudi tudi zajem različnih parametrov iz senzorjev (odvisno od pametnega telefona, kateri senzorji in meritve so na voljo), izvedbo lastnih poskusov in izvoz rezultatov v različnih podprtih formatih (npr. CSV).

Slika, ki vsebuje besede besedilo, posnetek zaslona, programska oprema, večpredstavnostna programska oprema

Opis je samodejno ustvarjen

Slika Prikaz aplikacije.

V skladu s specifikacijami proizvajalca lahko podatke zajemamo podatke v različnih intervalih, npr. 417Hz, za katere potem nastavimo »cut off« frekvenco na 133Hz (Pixel) oziroma 135.9Hz.

Pri zajemu sem opravil pot, skupaj dolgo 18.538 metrov, kjer sem v prvi polovici poti držal normalno držo, v drugi pa sem simuliral premikanje hrbta. Meritvi iz obeh telefonom sem opravil istočasno. Podatke sem uvozil v Matlab skripto, kjer je bila prva naloga pretvorba enot (zaradi lažje obdelave), v obliko enako poskusom v laboratoriju LaIT (iz m/s^2 v g-je ter iz radianov v stopinje).

Podatke je potem potrebno peljati čez več različnih postopkov, pri čemer koristi tudi sproten izris, za vrednotenje vmesnih korakov obdelave signalov.

Slika, ki vsebuje besede besedilo, posnetek zaslona, pisava, številka

Opis je samodejno ustvarjen

Slika Zajeti podatki skozi čas trajanja meritev.

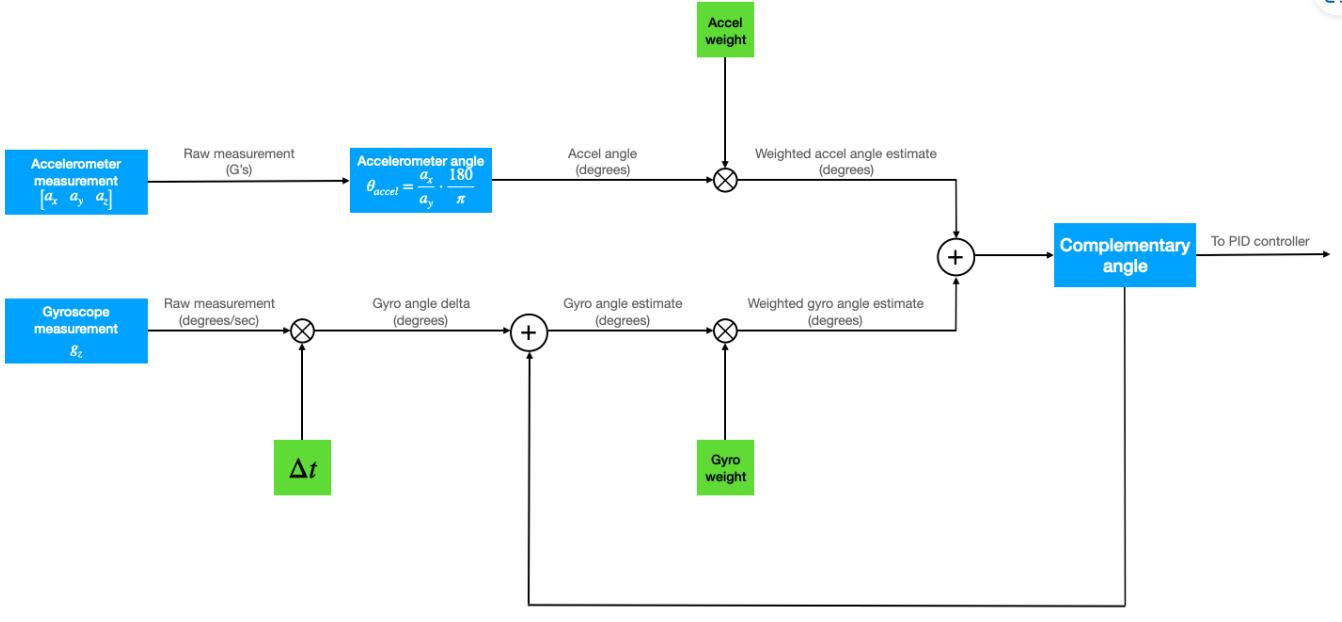
Postopek se izvede na sledeč način. Zajete podatke je potrebno sinhronizirati tako med samimi senzorji, kot senzorji na drugih napravah, sledi pa izračun končnih signalov za posamezne senzorje.

Podatke je potrebno peljati čez nizko prepustno sito, kjer iščemo tiste frekvence, ki v signalu dejansko nastopajo. To dosežemo s prej omenjeno »cut off« frekvenco. V tem primeru sem uporabil Butterworthov filter, ki prepušča nizke frekvence.

Filtriranju sledi izračunanje rotacije ter izračun vektorja gibanja. S slednjim potem lahko izračunamo tudi druge parametre, kot so hitrost, kot za katerega se je senzor obrnil, rotacijska matrika ter pripadajoč g. Na podlagi teh parametrov potem izračunamo prave pospeške. Ob tem velja omeniti, da obstoječa MATLAB koda omogoča izbiro intervala za katerega želimo izračunati prave pospeške in kotno hitrost.

Na podlagi znanih parametrov se je potrebno lotiti izračunov za globalne vrednosti senzorjev, ki jih dobimo iz referenčnih vrednosti senzorjev, med drugim globalne pospeške, globalne hitrosti ter globalne pozicije, pri čemer je potrebno paziti, da so upoštevane tudi prejšnje pozicije.

Sledi filtriranje s komplementarnim filtrom, ki temelji na uporabi dveh različnih senzorjev, pri čemer vsak od njih pokriva različne vidike istega sistema ali procesa. Ti dve merjenji sta pogosto nepopolni in občutljivi na različne napake. Komplementarni filter združuje te podatke, da bi dobil boljšo oceno celotnega stanja sistema, tako, da določimo utež »lambda«, pri čemer lambda > 0.5 pomeni večjo utež na žiroskopu, med tem, ko lambda < 0.5 pomeni večjo utež na pospeškometru [4]. Izkaže se, da je primeren razpon vrednosti med 0.9 in 0.98, s čimer je večji poudarek na žiroskopu. Odločil sem za vrednost lambde 0.98 po večkratnem poskušanju.



Slika Prikaz sheme komplementarnega filtra.

S pomočjo komplementarnega filtra lahko torej izvemo več o gibanjih senzorjev skozi čas in iz tega izluščimo informacijo o gibanju. Implementacija je pomanjkljiva, saj v dokumentaciji nisem uspel razbrati napak senzorjev, kot tudi ne vrednosti prisotnega šuma za kar bi bila primerna druga implementacija filtra (npr. Kalmanov filter), potrebna pa bi tudi bila boljša simulacija pravih pogojev nošenja senzorjev na telesu, kot tudi izbrati en konkreten model senzorja in implementirati (brezžičen) sistem zajemanja in posredovanja podatkov za sprotne izračune in analizo.

Po izračunu filtra lahko izračunamo tudi nagnjenje (angl. »roll«), zasuk (angl. »yaw«) in nagib (angl. »pitch«).

Slika, ki vsebuje besede besedilo, diagram, vrstica, grafični prikaz

Opis je samodejno ustvarjen

Slika Prikaz kumulativne poti skozi čas, ter kot v vseh treh dimenzijah.

Omenjen proces je mogoče tudi do določene mere implementirati na ravni strojno-programske opreme (angl: »firmware«), se je pa potrebno v tem primeru, še bolj sklicevati na dokumentacijo proizvajalca senzorja.

# Zaključek

V kolikor bi želeli narediti preciznejše analize gibanja (npr. drža hrbtenice pri gibanju ali plesu), bi bilo najprej potrebno določiti oziroma definirati pojem pravilna drža, kot nek univerzalen pojem. Sledilo bi modeliranje človeškega telesa ter izbira števila senzorjev (žiroskopov in pospeškometrov), hkrati pa je tudi potrebno poskrbeti za njihovo ustrezno postavitev in optimalno število. Rezultate bi potem še morali ovrednotit s trenutno v veljavnimi smernicami pravilne drže. V naslednjih fazah pa bi lahko vpeljali merjenja in vrednotenja v gibanja, ki so bolj tekoča in tudi te rezultate ustrezno ovrednotiti.

# Literatura

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | STMicroelectronics, „iNEMO inertial module: always-on 3D accelerometer and 3D gyroscope - LSM6DSR,“ 2020. [Elektronski]. Available: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm6dsr.pdf,. [Poskus dostopa 10 september 2023]. |
| [2] | STMicroelectronics, „iNEMO¸¸1 inertial module: always-on 3D accelerometer and 3D gyroscope - LSM6DSO,“ 2019. [Elektronski]. Available: https://eu.mouser.com/datasheet/2/389/lsm6dso-1393615.pdf. [Poskus dostopa 10 september 2023]. |
| [3] | 2nd Institute of Physics of the RWTH Aachen University, „phyphox - Physical Phone Experiments,“ 2nd Institute of Physics of the RWTH Aachen University, [Elektronski]. Available: https://phyphox.org/. [Poskus dostopa 10 september 2023]. |
| [4] | V. H. Adams, „vanhunteradams.com,“ [Elektronski]. Available: https://vanhunteradams.com/Pico/ReactionWheel/Complementary\_Filters.html#:~:text=A%20complementary%20filter%20is%20a,filters%20that%20you%20might%20consider.. [Poskus dostopa 10 september 2023]. |