

Факултет техничких наука, Чачак  
Агрономски факултет, Чачак

## **ХАРДВЕРСКО – СОФТВЕРСКИ СИСТЕМ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОРИЈЕНТАЦИЈЕ ТЕЛЕСКОПА**

Пројекат: **Развој и моделовање енергетских ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских система мале снаге**

Ознака пројекта: **ТР 32043**

Руководилац пројекта: **Горан Димић**

Врста документа: **Техничка документација пројекта**

Степен поверљивости: **Поверљиво - интерно**

Одговорно лице: **Дејан Вујичић, e-mail: [dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs](mailto:dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs)**

Реализатори: **Дејан Вујичић, Дијана Јагодић, Урош Пешовић, Жељко Јовановић, Душан Марковић, Сениша Ранђић**

## Садржај

1.	КРАТАК ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА .....	3
2.	СТАЊЕ У СВЕТУ .....	5
3.	ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА .....	5
3.1	Увод.....	5
3.2	Спецификација система .....	6
3.2.1	Функционални захтеви .....	6
3.2.2	Интерфејси .....	6
3.2.3	Напајање.....	6
3.2.4	Услови рада.....	6
3.2.5	Цена .....	6
3.3	Архитектура система .....	7
3.3.1	Архитектура уређаја за одређивање оријентације телескопа .....	7
3.3.2	Архитектура софтвера уређаја за одређивање оријентације телескопа .....	8
3.3.3	Архитектура софтвера рачунарске апликације .....	9
3.4	Верификација прототипа.....	11
3.4.1	Верификација хардвера .....	11
3.4.2	Верификација софтвера .....	12
3.4.3	Верификација система .....	13

## 1. КРАТАК ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Примена од (dd.mm.gggg) 27. 09. 2016. године  
Година: 2016  
Одговорно лице: Дејан Вујичић

Опис: Систем за одређивање оријентације телескопа је намењен за одређивање небеских екваторских координата (деклинације и ректасцензије) небеског тела у које је телескоп уперен. Како би се то постигло, морају се познавати хоризонтске координате наведеног тела (азимут и висина), али и локално средње звездано време и географска ширина и дужина места на којем се телескоп налази.

Како би се ови подаци добили, потребно је користити сензор са девет степени слободе, који у себи инкорпорира три сензора: жироскоп, акцелерометар и магнетометар и који омогућавају да се одреди оријентација сензорске плочице у хоризонтском систему. Напајање сензорске плочице је реализовано употребом Li-Ion батерије.

Подаци о тачном времену и географској ширини и дужини се добијају коришћењем GPS пријемника. Међутим, уколико услови не омогућавају довољну прецизност GPS пријемника, може се користити и време добијено са рачунара, као и ручно унете координате локације на којој се телескоп налази.

Како би се добијени подаци могли искористити за одређивање небеских екваторских координата, неопходно је реализовати РС апликацију која бежичним путем, преко Bluetooth-а, добија тражене податке са сензора и потом прерачунава небеске екваторске координате. Апликација је реализована у програмском језику C#.

Техничке карактеристике:	Напон напајања:	3,3 – 5 V
	Батерија:	Li-Ion 3,7 V 850 mAh
	Пуњење батерије:	SparkFun LiPo USB Charger
	Сензорска плочица:	SparkFun 9DOF Razor IMU SEN – 10736
	Акцелерометар:	Analog Devices ADXL345
	Жироскоп:	InvenSense ITG-3200
	Магнетометар:	Honeywell HMC5883L
	GPS пријемник:	GlobalTop FGPMMPA6B
	Bluetooth уређај:	SparkFun Bluetooth Mate Gold
	FTDI уређај:	SparkFun FTDI Basic Breakout – 3.3 V

Техничке могућности: Систем за одређивање оријентације телескопа омогућава добијање података са сензорске плочице са девет степени слободе (акцелерометра, жироскопа и магнетометра) и

GPS уређаја и њихов бежични пренос преко Bluetooth везе до рачунара, на којем се налази апликација која на основу примљених података рачуна небеске екваторске координате тела у које је телескоп уперен.

Реализатори: Дејан Вујичић, Дијана Јагодић, Урош Пешовић, Жељко Јовановић, Душан Марковић, Сениша Ранђић

Корисници: Астрономска опсерваторија Београд

Подтип решења: Прототип (M85)

## 2. СТАЊЕ У СВЕТУ

За одређивање оријентације телескопа, у свету се углавном користе системи који су засновани на напредним алгоритмима за одређивање екваторских координата преко Ојлерових углова коришћењем високо осетљивих сензора. Алгоритми који се користе за одређивање Ојлерових углова су претежно засновани на проширеном Калмановом филтру, Madgwick-овом филтру или комплементарном филтру који захтевају релативно велику процесну моћ, а самим тим и скупа микроконтролерска окружења.

Ради што веће прецизности, у алгоритме је уграђен систем за анулирање грешака које настају услед несавршености рада акцелерометра, жироскопа и магнетометра. Такође, сензори се пакују у кућишта која им омогућавају несметани рад и сваки вид заштите од удара, вибрација или шума насталог услед магнетних сметњи у спољашњем магнетном пољу. Самим тим, и цена оваквих система није мала и може износити и неколико хиљада долара.

## 3. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

За сагледавање карактеристика овде представљеног техничког решења неопходно је указати на функционалне захтеве које је било потребно задовољити, могуће начине повезивања са окружењем, захтеве у погледу напајања уређаја, потребне климе – механичке карактеристике уређаја и са аспекта могуће комерцијализације цену његовог коштања. Такође, потребно је дати приказ и архитектуре система као целине, али и његових појединих подсистема.

### 3.1 Увод

У астрономији је од велике важности познавање координата одређеног небеског тела како би се могли пратити објекти од интереса, нпр. астероиди или комете. Уколико се ради о досад неоткривеном небеском телу, онда га је неопходно лоцирати на небеској сфери. Координатни систем који се користи за те сврхе се назива небески екваторски координатни систем и дефинисан је двема координатама: деклинацијом и ректасцензијом.

Како би се наведене координате могле израчунати, неопходно је одредити оријентацију телескопа који је уперен у одређено небеско тело, као и географску ширину и дужину места на којем се телескоп налази и тренутно време. Под оријентацијом се, у овом смислу, подразумева одређивање екваторских координата (азимута и висине) небеског тела, а на основу Ојлерових углова који се добијају са сензора прикаченог на телескоп. Ојлерови углови (угао сопствене ротације – roll, угао прецесије – yaw, угао нутације – pitch) представљају међусобно независне параметре помоћу којих се може одредити позиција тела у односу на референтни координатни систем (обично координатни систем са центром у центру Земље).

Да би се добиле вредности Ојлерових углова, неопходно је имплементирати алгоритам који је способан да врши фузију података добијених са акцелерометра, жироскопа и магнетометра, као и да у што већој мери поништи грешке које се добијају услед несавршености мерења. У овом случају је коришћен DCM алгоритам (Direct Cosine Matrix), који се заснива на коришћењу матрица косинуса смерова и матрица ротације ради представљања координатног система везаног за сензорску плочицу у односу на референтни координатни систем.

Вредности Ојлерових углова се преносе преко Bluetooth везе на рачунар на којем се налази покренута апликација за пријем података, њихову обраду и крајње рачунање небеских хоризонтских координата небеског тела.

### 3.2 Спецификација система

У оквиру ове секције биће дат приказ функционалних захтева које је приказани уређај требао да оствари, преглед комуникационих интерфејса са којима уређај располаже, аспекте напајања ради обезбеђења аутономности рада, као и потребне климо – механичке услове у којима уређај треба да ради.

#### 3.2.1 Функционални захтеви

Систем за одређивање оријентације телескопа треба да обезбеди следеће функционалности:

- **Самостална иницијализација уређаја** – Уређај се по укључењу иницијализује и након 20 секунди је способан за успостављање бежичне везе са рачунаром.
- **Пренос измерених података** – Након успостављања везе са рачунаром, уређај преноси податке добијене са акцелерометра, жироскопа, магнетометра и GPS пријемника на даљу обраду рачунарске апликацији.
- **Аутономија система** – Уређај је батеријски напајан, при чему се батерија може допуњавати преко FTDI адаптера са USB порта рачунара. Аутономија у потпуности напуњене батерије износи 2 – 3 дана непрекидне употребе уређаја.
- **Одговарајуће окружење** – Уређај за свој несметан рад захтева окружење у којем нема вибрација или сметњи у магнетном пољу од стране других уређаја или металних предмета.
- **Развојно окружење** – Рачунарска апликација захтева инсталиран .NET Framework 4.0 на рачунарску на којем се покреће.

#### 3.2.2 Интерфејси

GPS пријемник се повезује директно са рачунаром преко USB порта. Bluetooth модул је повезан са сензорском плочицом преко интерног GPIO интерфејса. Акцелерометар, жироскоп и магнетометар су повезани у оквиру сензорске плочице преко серијске I<sup>2</sup>C везе. Бежична Bluetooth веза се успоставља креирањем виртуелног серијског порта на рачунару.

#### 3.2.3 Напајање

Уређај се примарно напаја преко пуњиве Lithium-Ion батерије капацитета 850 mAh, која му пружа аутономију од 2 до 3 дана рада. Lithium-Ion батерија се пуни преко FTDI пуњача који даје напон на излазу од 3,3 V, а на улазу захтева напон у опсегу 3,3 V – 5 V. Напон у уређај се може доводити из мрежног исправљача или преко USB порта на рачунару.

#### 3.2.4 Услови рада

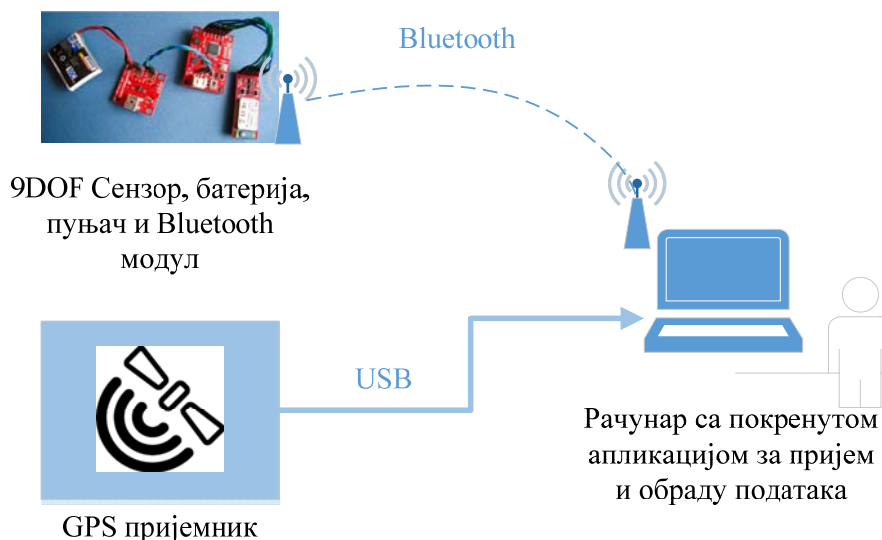
Уређај је предвиђен за рад на отвореном или затвореном простору, при чему окружење мора бити изоловано од вибрација и магнетних сметњи које би негативно утицале на рад сензора. Уређај се може користити у опсегу температура од –30 °C до +85 °C.

#### 3.2.5 Цена

Цена уређаја зависи од конфигурације одабраних сензора и начина напајања. За описану конфигурацију са сензорском плочицом са девет степени слободе, FTDI пуњачем, Bluetooth модулом и GPS пријемником, цена уређаја износи 200 €.

### 3.3 Архитектура система

Уређај се састоји од сензорске плочице са три сензора (акцелерометар, жироскоп, магнетометар), FTDI пуњача, батерије, Bluetooth модула и GPS пријемника. Од свих наведених компоненти, једино GPS пријемник није повезан са остатком система, већ директно са рачунаром преко USB везе. Апликација на рачунару је задужена за пријем и обраду података, као и процењивање стабилности сензорских очитавања. Архитектура система је приказана на слици 1.



Слика 1. Архитектура система за одређивање оријентације телескопа

#### 3.3.1 Архитектура уређаја за одређивање оријентације телескопа

SparkFun Razor IMU 9DOF сензорска плоча се састоји од три сензора: акцелерометра (ADXL345), жироскопа (ITG-3200) и магнетометра (HMC5883L). Сва три сензора мерења врше у три осе, чиме се добија сензор са девет степени слободe. На плочи се налази процесор Atmel ATmega328 који ради на фреквенцији од 8 MHz. Самој плочи је потребан радни напон од 3,3 V. Плоча се може програмирати преко Arduino платформе. Излази са сензора се могу прослеђивати рачунару преко серијског интерфејса. Изглед ове сензорске плоче је приказан на слици 2.



Слика 2. SparkFun 9DOF Razor IMU сензорска плочица

Analog Devices ADXL345 акцелерометар је мали, танак, троосни акцелерометар ниске потрошње струје којег карактеришу висока резолуција мерења (13-битна) и велики опсег убрзања које може да мери (од  $-16\text{ g}$  до  $+16\text{ g}$ ). Овај сензор мери статичко гравитационо убрзање, као и динамичко убрзање услед кретања или удара. Његова висока резолуција ( $4\text{ mg/LSB}$ ) омогућава мерење промене нагибног угла за мање од  $1^\circ$ .

InvenSense ITG-3200 је троосни жirosкоп урађен у MEMS технологији. Поседује три 16-битна аналогно – дигитална конвертера за дигитализацију излаза жirosкопа и интерни нископропусни филтер. Додатне особине су уграђени температурни сензор и интерни осцилатор прецизности од 2%. Опсег мерења овог сензора износи  $\pm 2000$  °/sec. Сензор се састоји од три независна жirosкопа, који детектују ротацију око X (roll), Y (pitch) и Z (yaw) осе.

Honeywell HMC5883L магнетометар се састоји од три AMR сензора и поседује 12-битни аналогно – дигитални конвертер који омогућава прецизност при мерењу од 1° до 2°. Сензор поседује и особину поништавања офсета. Сензор мери смер и јачину Земљиног магнетног поља у опсегу од неколико милигауса до 8 G.

SparkFun Bluetooth Mate Gold уређај је замишљен као идеална замена за серијску жичану комуникацију. Брзина на којој се могу слати или примати подаци је од 2.400 до 115.200 bps. На њему се налази RN-41 Bluetooth модул. Овај модул припада класи 1, што значи да му је највећи домет 100 m при брзини преноса података од највише 3 Mbps у проширеном опсегу рада. Комуникација је заштићена са 128-битном енкрипцијом. Поседује могућност корекције грешака при преносу што осигурава исправност послатих пакета.

### 3.3.2 Архитектура софтвера уређаја за одређивање оријентације телескопа

Како би се мерења са три сензора на плочи комбиновала у Ојлерове углове, неопходно је инсталирати одговарајући firmware у SparkFun RAZOR IMU 9DOF плочицу. Овај firmware је заснован на DCM алгоритму и може се користити са жичаним и бежичним начином преноса података.

За убацивање firmware-а у уређај, користи се Arduino софтвер. Како би се на исправан начин одабрала плоча, у Arduino програму треба одабрати Arduino Pro или Pro Mini (3.3v, 8MHz) за плочу, а ATmega 328 (3.3V, 8MHz) за процесор. Након тога се firmware може учитати у уређај.

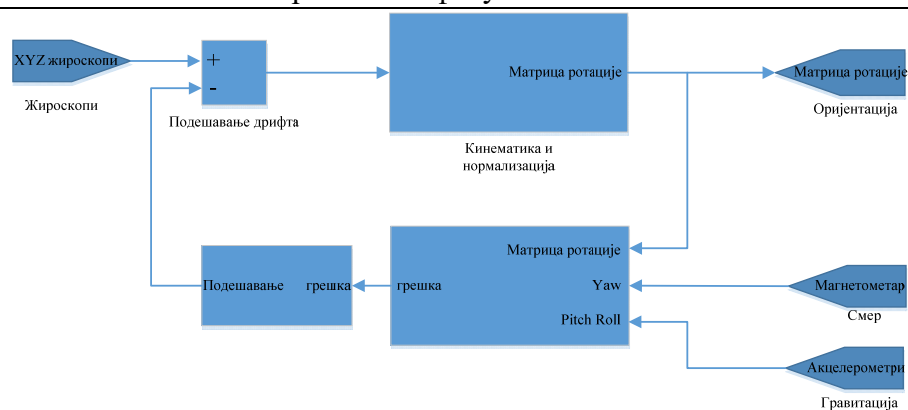
Да би се извршила провера да ли је firmware успешно унет у уређај, треба отворити серијски порт на којем се налази прикључен SparkFun RAZOR IMU 9DOF преко SparkFun FTDI Basic Breakout – 3.3V уређаја и подесити брзину преноса на 57.600 bps. Уколико је све урађено како треба, на екрану који приказује садржај серијске комуникације се јавља поворка вредности Ојлерових углова, у формату:

```
#YPR=yaw,pitch,roll
```

где се уместо yaw, pitch и roll налазе бројне вредности ова три Ојлерова угла.

За одређивање оријентације сензорске плоче, а самим тим и Ојлерових углова, користи се DCM алгоритам. У овом алгоритму се користе матрице косинуса смерова за представљање ротација, а елементи ове матрице се ажурирају користећи податке са сензора. Жirosкоп се користи као примарни извор информација о оријентацији. Временом долази до акумулирања нумеричких грешака, тако да се праве мала, регуларна подешавања елемената матрице како би се ове грешке анулирале. Магнетометар се користи за детекцију грешака у прецесионом елементу (yaw), а акцелерометар се користи за одређивање нутационог (pitch) и ротационог елемената (roll). Користи се и пропорционално – интегрални (PI) контролер са негативном повратном спрегом како би се дрефт појединачних сензора отклонио пре него што се акумулира. Овај процес је шематски приказан на слици 3.



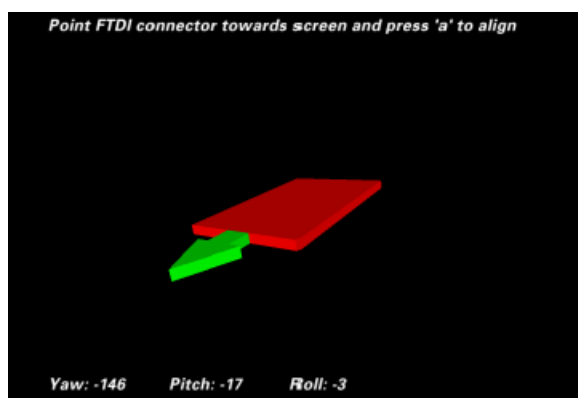


Слика 3. Блок дијаграм принципа рада DCM алгоритма

Ради елиминисања грешака које се јављају током мерења, неопходно је извршити калибрацију сва три сензора. За акцелерометар, потребно је наћи најмање и највеће вредности Земљине силе гравитације за сваку осу. Код жирокопа је потребно израчунати средњу вредност шума за све три осе. Калибрација магнетометра је нешто сложенија, јер се морају узети у обзир тзв. hard – iron и soft – iron сметње у магнетном пољу, па се рачуна одступање које показују мерења од јединичне сфере која представља магнетно ненарушено окружење.

Како би се визуелно приказала оријентација сензорске плоче у простору, може се користити Processing скица која се налази заједно са фајловима firmware-а. У самој скици неопходно је подесити који се серијски порт користи за комуникацију, ако је на рачунару присутно више од једног серијског порта.

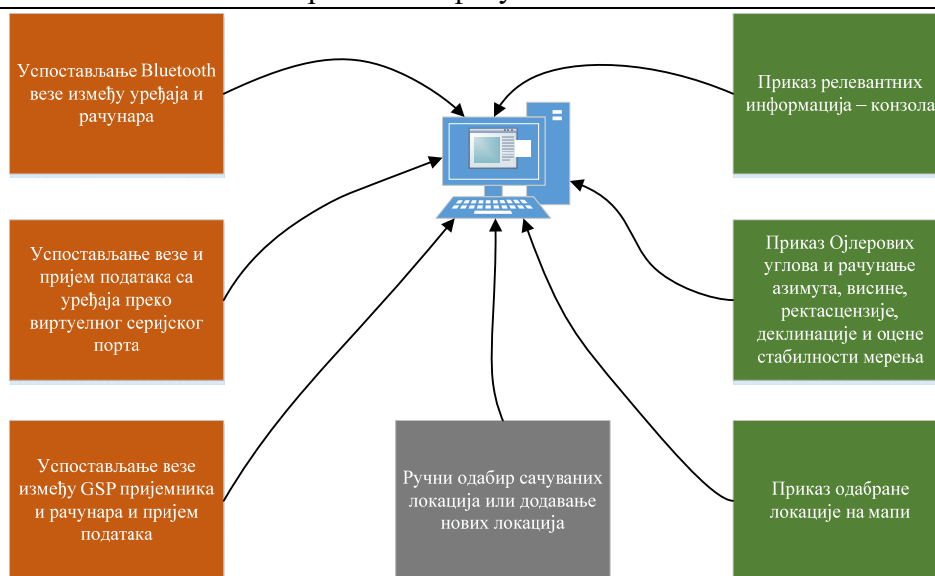
Изглед прозора покренуте Processing скице за тестирање оријентације сензорске плоче је приказан на слици 3. На слици се може видети да програм даје целобројне вредности Ојлерових углова.



Слика 4. Изглед прозора покренуте Processing скице за тестирање оријентације сензорске плоче

### 3.3.3 Архитектура софтвера рачунарске апликације

Рачунарска апликација која прима податке са сензора и врши рачунање хоризонтских и небеских екваторских координата је урађена у програмском језику C#. Шематски приказ потпрограма рачунарске апликације је дат на слици 5.



Слика 5. Шематски приказ потпрограма рачунарске апликације

Апликација је предвиђена да ради са и без GPS пријемника. Будући да се телескоп углавном налази на фиксној локацији, тада је могуће ручно унети географску дужину и ширину локације, док се време узима са рачунара. Зато је претходно потребно синхронизовати рачунарску време са неким сервером времена (на пример [time-b.nist.gov](http://time-b.nist.gov)).

Потпрограм за успостављање везе између уређаја и рачунара најпре проверава да ли је Bluetooth адаптер присутан на рачунару. У случају да није, испишује се порука о грешци. Ако је Bluetooth адаптер присутан, започиње се скенирање свих доступних Bluetooth уређаја. Уколико је међу скенираним уређајима присутан и Bluetooth модул који се користи на уређају, почиње процес спаривања (узето је да се сензорски Bluetooth модул аутоматски препозна, на основу своје јединствене MAC адресе). Током процеса спаривања, најпре се проверава да ли је дати модул већ присутан у систему рачунара (да ли је аутентификован). Уколико није, врши се аутентификација помоћу PIN кода и ако је све у реду, процес спаривања је окончан. Након тога, почиње процес повезивања, који, ако се успешно оконча, означава крај успоставе везе, тј. да је сензорски Bluetooth модул успешно пријављен оперативном систему рачунара. Важно је напоменути да је овај процес потребно урадити само једном, када се први пут повезује сензор са рачунаром. Ако је процес успешно окончан, сензорски Bluetooth модул ће остати запамћен у оперативном систему рачунара.

Потпрограм за успостављање везе и пријем података са уређаја преко виртуелног серијског порта је реализован тако да се скенирају сви доступни серијски портали на рачунару, а потом је потребно одабрати виртуелни серијски порт и успоставити везу са брзином преноса података од 57.600 bps.

Потпрограм за успостављање везе између GPS пријемника и рачунара и пријем података је реализован на сличан начин. Корисник треба да одабере серијски порт на којем се налази прикључен GPS уређај, будући да се он рачунару пријављује као серијски порт. Потом се успоставља веза са брзином преноса података од 9.600 bps и испишују се подаци добијени од GPS сателита. Користи се GGA формат порука, а испишују се вредности о UTC времену, географској ширини и дужини (у формату степени, минути, секунде), да ли постоји фикс, са колико сателита се примају информације, колика је прецизност одређивања локације и која је надморска висина GPS уређаја.

Потпрограм за ручни одабир сачуваних локација или додавање нових локација се употребљава уколико се не користи GPS пријемник. У њему се приказује локално и UTC време узето са рачунара, као и списак сачуваних локација, уколико постоје. Сачуване локације су смештене у текстуалном фајлу који је саставни део апликације. Такође, могуће је додати нову локацију, тако што се упише назив локације, као и њена географска ширина и дужина, у децималном формату.

Потпрограм за приказ релевантних информација – конзола служи за приказивање порука које обавештавају корисника о успешности извршавања одређене радње (нпр. отварање серијских портова, успостава везе, грешке у пријему података, и сл.).

Потпрограм за приказ Ојлерових углова и рачунање азимута, висине, ректасцензије, деклинације и оцене стабилности мерења служи за приказ и рачунање наведених информација. Азимут се рачуна на основу вредности прецесионог Ојлеровог угла ( $\alpha$ ), а висина на основу вредности нутационог Ојлеровог угла ( $\beta$ ). За одређивање вредности ректасцензије и деклинације, претходно је потребно израчунати вредности Јулијанског дана, средњег звезданог времена у Гриничу, локалног средњег звезданог времена и часовног угла. Такође, рачуна се стабилност одређивања ректасцензије и деклинације применом методе стандардне девијације узорка од десет тренутно расположивих података са уређаја. Ојлерови углови и Јулијански дан су приказани у децималном формату. Азимут, висина и деклинација су приказани у формату степени : лучни минути : лучне секунде. Ректасцензија, средње звездано време у Гриничу, локално средње звездано време, часовни угао и оцене стабилности одређивања ректасцензије и деклинације су приказани у формату сати : минути : секунде.

Потпрограм за приказ одабране локације на мапи приказује географску ширину и географску дужину локације, било ручно одабране, било добијене са GPS пријемника. Уколико је рачунар повезан на интернет, приказује се и место локације на мапи, коришћењем Google Maps услуге. Испод мапе се налази клизач који служи за увећање или умањење мапе.

### 3.4 Верификација прототипа

Пре и током непосредног коришћења развијеног уређаја спроведена је верификација рада његових подсистема, као и уређаја као целине.

#### 3.4.1 Верификација хардвера

Верификација хардвера је вршена према дефинисаним процедурама, а мерења су вршена на мерном месту на реализованом уређају прикаченом за телескоп:

- Прва процедура се односи на визуелни преглед повезаности интерних делова уређаја. Утврђено је да је квалитет међусобних веза на задовољавајућем нивоу као и да су све присутне компоненте правилно оријентисане.
- Друга процедура се односи на проверу квалитета напајања у систему. Прва фаза ове процедуре је омска провера напајања којом је потврђено да нема кратких спојева у уређају. Следећа фаза је провера батерије пре повезивања са остатком уређаја, која је показала да батерија генерише напон у специфицираним границама.
- Трећа процедура представља проверу исправне иницијализације уређаја. Утврђено је да се притиском на тастер за укључивање на сензорској плочици успешно укључује уређај, што се сигнализира помоћу одговарајуће LED диоде на сензорској плочици.

- Четврта процедура је провера повезивања уређаја преко USB порта са рачунаром ради калибрације сензора и учитавања firmware-а. Утврђено је да се уређај успешно повезује са рачунаром и да су процедуре калибрације сензора и учитавања firmware-а успешно одрађене.
- Пета процедура је верификација серијских интерфејса. Након успешнoг програмирања, отворена је серијска комуникација са уређајем и утврђено је да уређај исправно шаље измерене податке.
- Шеста процедура је провера исправности повезивања Bluetooth модула и успостављања везе са рачунаром. Утврђено је да је Bluetooth модулу потребно 20 секунди за иницијализацију и да је након тога спреман за успостављање везе, што се сигнализира помоћу LED диоде на модулу.
- Последња, седма процедура је провера успешности повезивања GPS пријемника са рачунаром преко USB порта. Утврђено је да се GPS пријемник успешно пријављује на рачунару као серијски интерфејс и да шаље податке у исправном формату.

### 3.4.2 Верификација софтвера

Верификација софтвера је вршена на рачунару на којем постоје сви потребни предуслови за рад апликације и повезивање уређаја (један USB порт, Bluetooth адаптер и инсталиран .NET Framework v4.0):

- Прва процедура представља тестирање потпрограма за успостављање везе између уређаја и рачунара. У ту сврху, написан је посебан програм који тестира само део успоставе Bluetooth везе између уређаја и рачунара. Утврђено је да овај потпрограм успешно ради и врши успоставу Bluetooth везе.
- Друга процедура је тестирање потпрограма за успостављање везе и пријем података са уређаја преко виртуелног серијског порта. Креиран је виртуелни серијски порт на рачунару који је повезан са Bluetooth модулом на уређају. Утврђено је да се овај процес успешно извршава и да је успостава серијске комуникације са брзином преноса података од 57.600 bps могућа.
- Трећа процедура је тестирање потпрограма за успостављање везе између GPS пријемника и рачунара и пријем података. За ту сврху, креирана је посебна апликација која ради само успоставу везе и приказ података. Утврђено је да се GPS уређај исправно пријављује на рачунар као серијски интерфејс и да је могуће успоставити везу при брзини преноса података од 9.600 bps. GPS пријемник успешно прима податке са сателита, а апликација их исправно приказује.
- Четврта процедура је тестирање потпрограма за ручни одабир сачуваних локација или додавање нових локација. Утврђено је да се приликом покретања апликације исправно учитавају подаци о сачуваним локацијама из текстуалног фајла, као и да се успешно читава време са рачунара. Одабиром локације, географска ширина и дужина се исправно учитавају. Одабиром опције за додавање нове локације и уносом назива локације, географске ширине и дужине, утврђено је да се нова локација успешно уписује у текстуални фајл и приказује у прозору апликације.
- Пета процедура је прегледање потпрограма за приказ релевантних информација – конзоле. Установљено је да се све системске поруке успешно могу приказати.
- Шеста процедура је тестирање потпрограма за приказ Ојлерових углова и рачунање азимута, висине, ректасцензије, деклинације и оцене стабилности

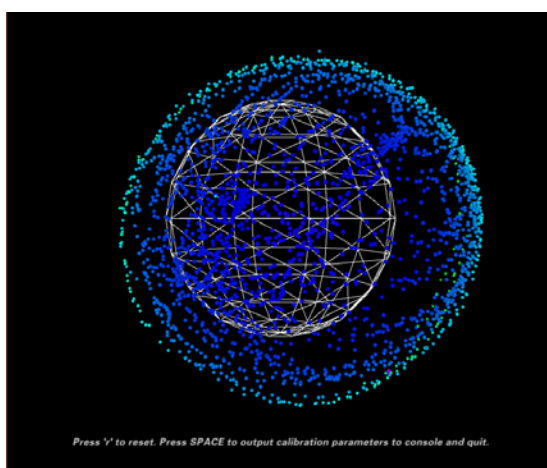
мерења. За ту сврху су креиране две посебне апликације. Прва апликација служи само за пријем и приказ Ојлерових углова са уређаја, рачунање азимута и висине и одређивање оцене стабилности мерења. Алгоритам за оцену стабилности мерења је тестиран у овој апликацији јер зависи од примљених података са уређаја. Установљено је да се наведене радње исправно извршавају. Друга апликација служи за проверу исправности формула за рачунање Јулијанског дана, средњег звезданог времена у Гриничу, локалног средњег звезданог времена, часовног угла, ректасцензије и деклинације. За ту сврху су ручно унете вредности азимута и висине за неколико звезда и времена њихових мерења, као и географска ширина и дужина локације. На основу претходно израчунатих вредности за тражене податке, установљено је да овај потпрограм успешно ради.

- Последња, седма процедура је тестирање потпрограма за приказ одабране локације на мапи. Утврђено је да, уколико координате нису учитане, успешно се појављује порука о грешци. Учитавањем података са GPS уређаја, географска ширина и дужина се исправно приказују, као и координате на мапи. Одабиром ручно унете локације, такође се наведене информације успешно приказују. Клизач за увећање или умањење мапе исправно ради.

### 3.4.3 Верификација система

Верификација система представља проверу исправности реализованог прототипа у целини. Пре свега је важна поузданост система, као и тачност и доступност података. У ту сврху прототип је подвргнут провери у реалним условима тако што је повезан на телескоп и вршила су се читавања сензорских података, као и провера исправности израчунатих информација.

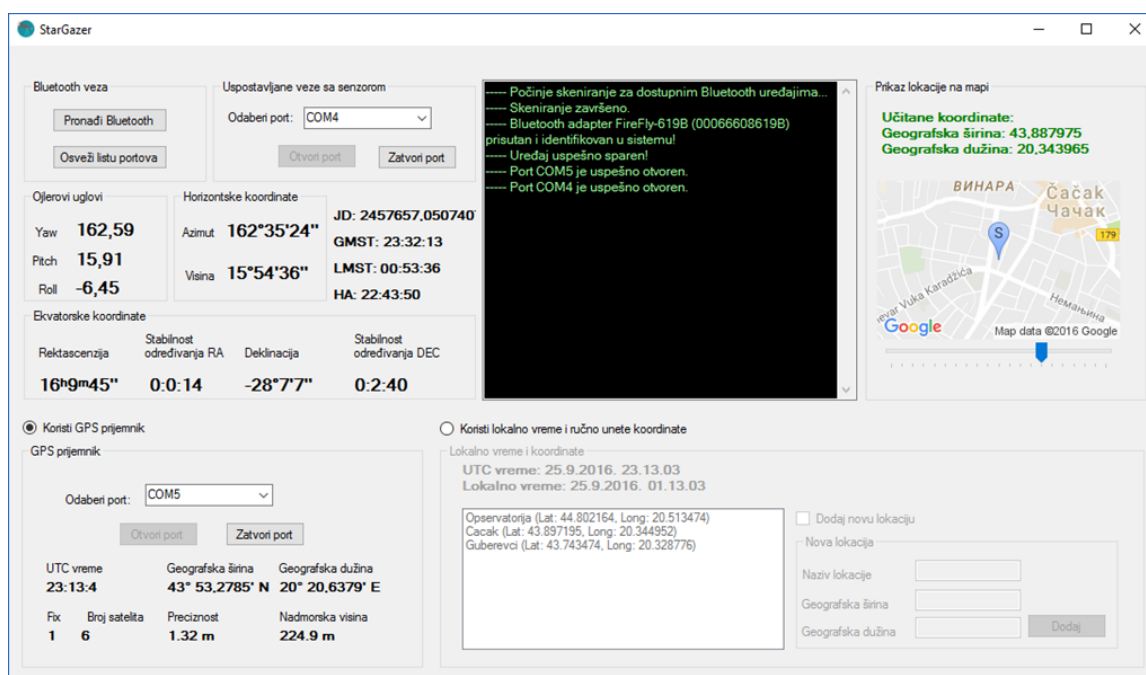
Ради што правилнијег рада уређаја, он се морао удаљити на растојање од најмање 30 cm од телескопа, будући да телескоп као метални предмет уводи soft – iron магнетне сметње. Калибрација магнетометра је извршена на локацији на којој се вршило мерење и добијене вредности су приказане на слици 6. Сам процес калибрације се врши тако што се покрене одговарајућа Processing скица и уређај ротира у свим правцима како би се сфера што равномерно покрила са подацима.



Слика 6. Приказ добијених резултата при калибрацији магнетометра

Са слике 6 се може видети да је центар сфере добијених података са магнетометра благо померен у односу на центар јединичне сфере у позадини. Узрок томе су неминовне сметње у магнетном пољу проузроковане близином рачунара на којем су се подаци прикупљали.

Потом је покренута апликација и извршена успостава везе са уређајем и GPS пријемником. Изглед апликације је приказан на слици 7.



Слика 7. Изглед покренуте апликације

Вршено је мерење хоризонтских координата и израчунавање екваторских координата за неколико звезда скоро равномерно распоређених по свим странама света, што је приказано у табели 1.

Табела 1. Приказ добијених резултата мерења. Сви подаци су дати у формату часови (степени) : (лучни) минути : (лучне) секунде.

Звезда	Азимут			Висина		
	Стваран	Измерен	Апсолутна грешка	Стварна	Измерена	Апсолутна грешка
Capella ( $\alpha$ Aur)	42:43:20	30:09:00	12:34:20	18:06:05	19:23:59	1:17:54
Mirfak ( $\alpha$ Per)	52:01:03	39:51:36	12:09:27	35:42:12	37:28:12	1:46:00
Mizar ( $\zeta$ UMa)	331:28:18	325:26:24	6:01:54	18:06:06	19:36:12	1:30:06
Altair ( $\alpha$ Aql)	228:13:41	226:54:00	1:19:41	45:22:36	47:43:12	2:20:36
Vega ( $\alpha$ Lyr)	280:07:12	269:28:12	10:39:00	52:36:24	55:08:59	2:32:35
Fomalhaut ( $\alpha$ PsA)	162:46:03	158:23:24	4:22:39	14:33:26	16:58:12	2:24:46
Средња вредност апсолутне грешке			6:43:52	1:41:42		
Звезда	Ректасцензија			Деклинација		
	Стварна	Измерена	Апсолутна грешка	Стварна	Измерена	Апсолутна грешка
Capella ( $\alpha$ Aur)	05:16:41	06:06:41	00:50:00	45:59:53	54:58:31	8:58:38
Mirfak ( $\alpha$ Per)	03:24:19	03:43:01	00:18:42	49:51:40	59:24:09	9:32:29
Mizar ( $\zeta$ UMa)	13:23:55	13:59:40	00:35:45	54:55:31	52:24:45	2:30:46
Altair ( $\alpha$ Aql)	19:50:47	19:58:48	00:08:01	8:52:06	10:20:21	1:28:15
Vega ( $\alpha$ Lyr)	18:36:56	19:01:56	00:25:00	38:47:01	34:18:20	4:28:41
Fomalhaut ( $\alpha$ PsA)	22:57:39	23:07:45	00:10:06	29:37:20	26:20:44	3:16:36
Средња вредност апсолутне грешке			00:21:05	4:19:21		

Апсолутна грешка азимута, висине, ректасцензије и деклинације је рачуната као апсолутна вредност разлике стварне и измерене вредности. Из табеле 1 се може приметити следеће:

- Апсолутна грешка одређивања азимута значајно варира, од скоро  $1^\circ$  па до  $12^\circ$ . Дакле, постоји нелинеарност у одређивању азимута, која је првенствено проузрокована грешком и непрецизношћу магнетометра, као и сметњама у магнетном пољу.
- Апсолутна грешка одређивања висине не осцилује много и њена средња вредност износи мање од  $2^\circ$ .
- Апсолутна грешка одређивања ректасцензије је веома мала, до највише  $50'$ .
- Апсолутна грешка одређивања деклинације, такође, значајно варира, у распону од нешто више од  $1^\circ$  до преко  $9^\circ$ .

Са друге стране, оцена стабилности мерења сензора у стационарном стању, тј. одређивање стандардне девијације података који се добијају са сензора је показала релативну стабилност сензора при одређивању ректасцензије и деклинације, реда неколико минута (слика 7).

Будући да је уређај само прототип и да не користи напредне алгоритме за корекцију грешака и елиминисање магнетних сметњи и користи јефтине и непрецизне сензоре, наведена одступања измерених од стварних вредности су очекивана. У том смислу, уређај се може користити као привремена замена за неки скупљи индустријски уређај.

**ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ**  
**УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**  
Број 21 – 2733/20  
15. 12. 2016. године  
**Ч А Ч А К**

На основу члана 84. Статута Факултета техничких наука факултета, Наставно-научно веће, на седници одржаној 15. децембра 2016. год., донело је

**О Д Л У К У**  
**о именовану рецензената**

**Именују се рецензенти за техничко решење под називом „Хардверско-софтверски систем за одређивање оријентације телескопа”, и то:**

1. Др Мило Томашевић, ред. проф., Електротехнички факултет, Београд,
2. Др Зорица Цветковић, научни саветник, Астрономска опсерваторија, Београд.

Доставити:

- др Синиши Ранђићу, ред. проф.,
- именованима,
- архиви ННВ.



**ДЕКАН**  
**ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА**  
Проф. др Небојша Митровић, дипл. инж. ел.





АСТРОНОМСКА ОПСЕРВАТОРИЈА  
са потпуном одговорношћу  
Број 1303/1  
27. 12 2016 год.  
БЕОГРАД - Волгина 7

Волгина 7, 11060 Београд, Србија  
Телефон/факс: +381-(0)11-2419-553

## ПОТВРДА

Овим се потврђује да је техничко решење урађено у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под евиденционим бројем ТР32043:

### Хардверско – софтверски систем за одређивање оријентације телескопа

аутора Дејана Вујичића, Дијане Јагодић, Уроша Пешовића, Жељка Јовановића, Душана Марковића и Сенише Ранђића, са Факулета техничких наука у Чачку и Агрономског факултета у Чачку, у фази тестирања и предвиђено је за употребу на Астрономској опсерваторији у Београду, као замена за оптичке елементе на Великом рефрактору. Наведено техничко решење по свему задовољава потребе основног навођења телескопа.

У Београду, 23. децембра 2016. године

*З* Директор-а



др Гојко Ђурашевић

*З. Сретковић*

# РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

## 1. Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења:	<b>Хардверско – софтверски систем за одређивање оријентације телескопа</b>
Категорија техничког решења:	<b>М85</b>
Назив пројекта:	<b>Развој и моделовање енергетских ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских система мале снаге</b>
Ознака пројекта:	<b>ТР 32043</b>
Руководилац пројекта:	<b>Горан Димић</b>
Организација:	<b>Факултет техничких наука, Чачак, Агрономски факултет, Чачак</b>
Одговорно лице	<b>Дејан Вујичић, email: <a href="mailto:dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs">dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs</a></b>
Реализатори:	<b>Дејан Вујичић, Дијана Јагодић, Урош Пешовић, Жељко Јовановић, Душан Марковић, Синиша Ранђић</b>

## 2. Евалуација техничког решења

- Сажетак описа техничког решења:* Представљено техничко решење – хардверско – софтверски систем за одређивање оријентације телескопа намењен је за одређивање небеских екваторских координата небеског тела које телескоп прати. За ово је неопходно познавање хоризонтских координата датог небеског тела, као и локално средње звездано време, односно географске координате самог телескопа. За добијање ових података неопходно је коришћење сензора, који у себи садржи три сензора: жirosкоп, акцелерометар и магнетометар, који омогућавају одређивање оријентације сензора у хоризонтском систему. Подаци о тачном времену и географским координатама добијају се коришћењем GPS пријемника. У принципу може се користити и системско време рачунара, односно ручно задавање координата телескопа. За одређивање небеских екваторских координата реализована је РС апликација, која бежичним путем преузима податке са сензора и на бази њих израчунава небеске екваторске координате.
- Релевантност техничког решења за примењену област:* Познавање координата одређеног небеског тела веома је важно за астрономију. Ово је посебно значајно за случајеве праћења астероида и комета. Такође, у случају до сада непознатих небеских тела веома је важно њихово лоцирање на небеској сфери. За лоцирање небеских тела на небеској сфери користи се небески екваторски координатни систем, чије су координате; деклинација и ректасцензија. Систем који је представљен овим техничким решењем намењен је одређивању ових координата.
- Проблем који се решава:* За одређивање координата небеског тела у небеском екваторском систему неопходно је одредити оријентацију телескопа којим се прати дато небеско тело, као и географске координате места на коме се телескоп налази и време у тренутку посматрања. Екваторске координате небеског тела се добијају на основу Ојлерових углова добијених са сензора

постављеног на телескоп. Ојлерови углови се добијају реализацијом алгоритма који врши интеграцију података добијених са акцелерометра, жироскопа и магнетометра. Примењени DCM (Direct Cosine Matrix) алгоритам поред одређивања Ојлерових углова има задатак да у што већој мери поништи ефекте несавршености мерења.

4. *Стање решености истог проблема у свету:* Досадашња решења сличног проблема се базирају на системима заснованим на сложеним алгоритмима за одређивање Ојлерових углова коришћењем високо осетљивих сензора. Ови алгоритми користе Калманове филтре, Madgwick – ов филтар или комплементарни филтар који од рачунарског система захтевају велику процесну моћ, а самим тим и скупа рачунарска окружења. Такође, овакви уређаји захтевају кућишта која уређају обезбеђују добре климо – механичке карактеристике и отпорност на магнетне сметње. Због тога је цена ових система висока и може изнети и више хиљада долара.
5. *Квалитет објашњења и описа решења:* Представљено техничко решење на јасан начин описује развијени систем, мотиве за његов развој и могућности побољшања. Приказ садржи потребан ниво илустрација које додатно обезбеђују висок квалитет техничког решења и његовог описа.
6. *Применљивост резултата рада:* Систем се може користити за одређивање оријентације телескопа који не поседују моторе за позиционирање и одговарајући рачунарски програм за навигацију.
7. *Научни допринос:* Научни допринос овог техничког решења треба сагледати кроз реализацију алгоритма за одређивање Ојлерових углова и реализацију софтверског подсистема за смањење грешака услед несавршености мерења.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је комплетно и квалитетно урађено.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Решење се прихвата.

### 3. Квалитети техничког решења

Главни квалитет представљеног техничког решења огледа се у потврди да се систем за одређивање оријентације телескопа и небеских екваторских координата небеских тела могу са прихватљивим степеном тачности реализовати и коришћењем релативно јефтиних комерцијално расположивих компонената – сензора и микроконтролерских уређаја за реализацију алгоритама за израчунавање потребних параметара. Такође, квалитет овог техничког решења представља и његова мултидисциплинарност која се огледа у коришћењу примењених знања из астрономије, сензора и рачунарске технике.

### 4. Примедбе на техничко решење

#### 4.1 Суштинске примедбе

Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

#### 4.2 Ситније примедбе

У Београду, 26. децембра 2016. године

Рецензент

проф. др Мило Томашевић  
Електротехнички факултет, Београд

# РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

## 1. Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења:	Хардверско – софтверски систем за одређивање оријентације телескопа
Категорија техничког решења:	M85
Назив пројекта:	Развој и моделовање енергетских ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских система мале снаге
Ознака пројекта:	ТР 32043
Руководилац пројекта:	Горан Димић
Организација:	Факултет техничких наука, Чачак, Агрономски факултет, Чачак
Одговорно лице	Дејан Вујичић, email: <a href="mailto:dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs">dejan.vujicic@ftn.kg.ac.rs</a>
Реализатори:	Дејан Вујичић, Дијана Јагодић, Урош Пешовић, Жељко Јовановић, Душан Марковић, Синиша Ранђић

## 2. Евалуација техничког решења

- Сажетак описа техничког решења:* Представљено техничко решење – хардверско – софтверски систем за одређивање оријентације телескопа намењен је за одређивање небеских екваторских координата (деклинације и ректасцензије) небеског тела у које је телескоп уперен. Да би се то постигло, морају се познавати хоризонтске координате наведеног тела (азимут и висина), локално средње звездано време (које се добија израчунавањем вредности за Јулијански дан, средњег звезданог времена у Гриничу и часовног угла) и географска ширина и дужина места на којем се телескоп налази. За добијање ових података потребно је коришћење сензора са девет степени слободе, који у себи садржи три сензора: жirosкоп, акцелерометар и магнетометар, који омогућавају одређивање оријентације сензора у хоризонтском координатном систему. Подаци о UTC времену и географским координатама добијају се коришћењем GPS пријемника. Такође, може се користити и системско време рачунара, а координате телескопа могу се унапред дефинисати. Рачунар на коме се извршава апликација за одређивање небеских екваторских координата бежично је повезан са сензорима са којих добија потребне информације.
- Релевантност техничког решења за примењену област:* У астрономији је од велике важности познавање координата одређеног небеског тела како би се могли пратити објекти од интереса, нпр. астероиди, комете, двојне и вишеструке звезде и сл. Уколико се ради о досад неоткривеном небеском телу, онда га је неопходно лоцирати на небеској сфери. Систем који је представљен овим техничким решењем предвиђен је за одређивање локације небеског тела представљене преко деклинације и ректасцензије.
- Проблем који се решава:* Како би се могле одредити небеске екваторске координате одређеног небеског тела неопходно је извршити трансформацију из хоризонтског координатног система. Координате хоризонтског координатног система су азимут и висина и могу се добити на основу вредности прецесионог

и нутационог Ојлеровог угла. Сами Ојлерови углови се израчунавају применом матрица ротације и матрица косинуса смерова, које су имплементирани помоћу DCM алгоритма.

4. *Стање решености истог проблема у свету:* За одређивање позиције небеског тела на небеској сфери углавном је потребно користити високопрецизне сензоре чија се прецизност креће у границама од неколико лучних секунди. Овакви сензори су релативно скупи. Уколико није потребна велика прецизност тада се могу користити комерцијално расположиви сензори.
5. *Квалитет објашњења и описа решења:* Техничко решење је детаљно описано. Текст описа је добро структуриран и јасно изложен. Опис садржи потребан број слика које опис додатно чине квалитетним.
6. *Применљивост резултата рада:* Систем за одређивање оријентације телескопа се може применити на Великом рефрактору Астрономске опсерваторије у Београду, будући да су оригинални оптички елементи ван функције.
7. *Научни допринос:* Научни допринос овог техничког решења се огледа кроз имплементацију алгоритма за фузију података са сензора са девет степени слободе и реализацију апликације која на основу ових података рачуна небеске екваторске координате посматраног небеског тела.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је комплетно и квалитетно урађено.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Решење се прихвата.

### **3. Квалитети техничког решења**

Главни квалитет презентованог техничког решења је његова употребљивост у условима када на телескопу не постоји систем за навођење или су оригинални оптички елементи ван функције. Такође, реализована апликација је погодна за подучавање студената астрономије са аспекта коришћења алгоритама за израчунавање елементарних астрономских величина ради добијања координата објеката.

### **4. Примедбе на техничко решење**

#### **4.1 Суштинске примедбе**

Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

#### **4.2 Ситније примедбе**

У Београду, 23. децембра 2016. године

Рецензент

др Зорица Цветковић, научни саветник  
Астрономска опсерваторија, Београд

*Zorica Cetkovic*

**ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ**  
**УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**  
**Број 22 – 2933/19**  
**28. 12. 2016. године**  
**Ч А Ч А К**

На основу члана 84. Статута Факултета техничких наука, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 28. децембра 2016. год., донело је

### **О Д Л У К У**

**I ПРИХВАТА СЕ** извештај рецензената и усваја се техничко решење под називом: „Хардверско-софтверски систем за одређивање оријентације телескопа“, чији су аутори: **др Синиша Ранђић, ред. проф.,** Факултет техничких наука у Чачку, **Дејан Вујичић, асистент,** Факултет техничких наука у Чачку, **Урош Пешовић, асистент,** Факултет техничких наука у Чачку, **Жељко Јовановић, асистент,** Факултет техничких наука у Чачку, **Душан Марковић, асистент,** Агрономски факултет у Чачку и **Дијана Јагодић,** стипендиста Министарства, просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

**II** Извештај рецензената из тачке I, саставни је део ове Одлуке.

Доставити:

- именованим ауторима,
- продекану за науку и међународну сарадњу,
- архиви ННВ.

**ДЕКАН**  
**ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА**  
Проф. др Небојша Митровић, дипл. инж. ел.

