

# Електротехнички факултет Универзитет у Београду

Катедра за електронику



Предмет: 32-битни микроконтролери и примјена

Пројекат: Процјена оријентације објекта у простору помоћу *9DOF*  
инерцијалних сензора

Студент:

Радослав Аничич 3274/2012

[radoslav.anicic@gmail.com](mailto:radoslav.anicic@gmail.com)

Професор

Др Драган Васиљевић

# 1 Увод

У излагању које слиједи описан је систем процјене оријентације објекта у простору. Систем периодично врши аквизицију података са три инерцијална сензора, жirosкопа, акцелерометра и магнетометра. На основу тих података помоћу алгоритма за процјену оријентације добија се апсолутна оријентација објекта у простору. Подаци који су добијени из алгоритма шаљу се рачунару гдје је визуелно приказана оријентација објекта за који су фиксирани сензори.

Систем процјене оријентације у простору данас налази примјени у навигационим системима авиона, хеликоптера, бродова, аутомобила и многим другим мањим уређајима као што су мобилни телефони нове генерације, таблет рачунари и тако даље.

У другом поглављу укратко је описан развојни систем *STM32VLDISCOVERY* и његов контролер *ARM7 Cortex M3*.

У трећем поглављу описана је сензорска плочица *ATAVRSBIN2* и њени сензори жirosкоп *IMU-3000*, акцелерометар *KXTF9* и магнетометар *HMC5883*.

У четвртом поглављу описан је хардвер система. Приказана је блок шема и описане су коришћене периферије контролера.

У петом поглављу описан је програм који се извршава на контролеру и приказана је програмска блок шема.

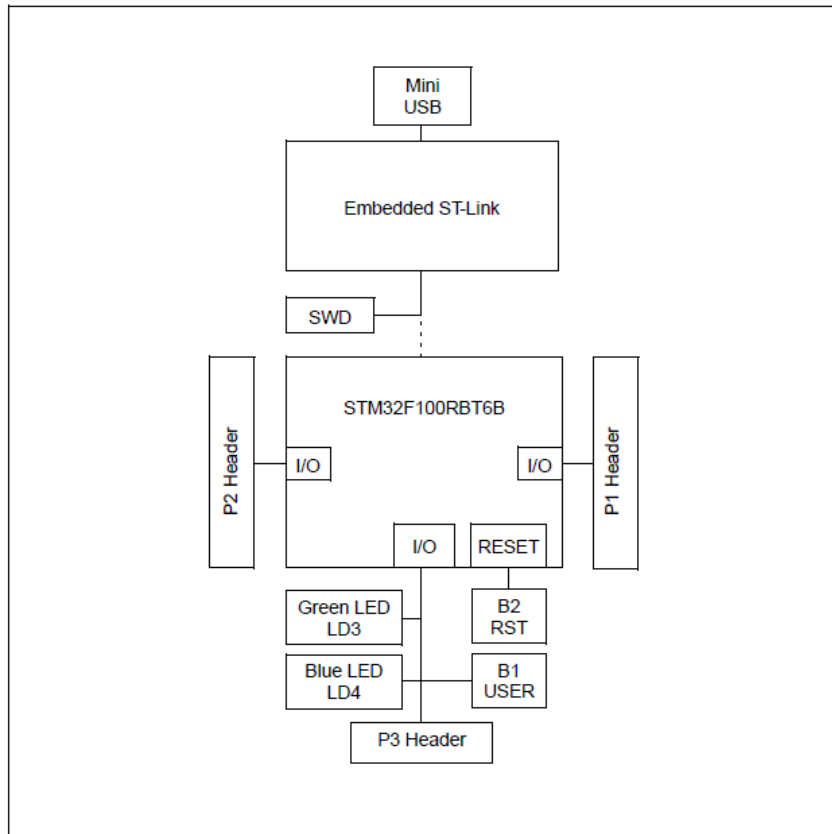
У шестом поглављу дат је закључак са добијеним резултатима и могућностима проширења система. Сликвито је приказана заузетост процесора.

## 2 Развојни систем

У наредном поглављу укратко је описан развојни систем *STM32VLDISCOVERY*, приказана је блок шема система. Укратко је описан контролер *STM32F100RBT6B* са *ARM7 Cortex M3* језгром.

### 2.1 *STM32VLDISCOVERY*

На слици 2-1 је приказана блок шема *STM32VLDISCOVERY* развојног система. Главни дио развојног система је микроконтролер *STM32F100RB*, базиран на *ARM7 Cortex M3* језгру. Развојни систем се напаја са *USB*-а, а може и са 3.3V или 5V екстерног напајања. На развојном систему се налази и *ST-Link debugger/programmer*, помоћу којег се успоставља веза са развојним окружењем за програмирање и дебаговање. На евалуционој плочици се налазе три *PinHeader*-а помоћу којих се успоставља веза између контролера и додатног хардвера. За потребе корисника налазе се двије *Led* диоде и један тастер.



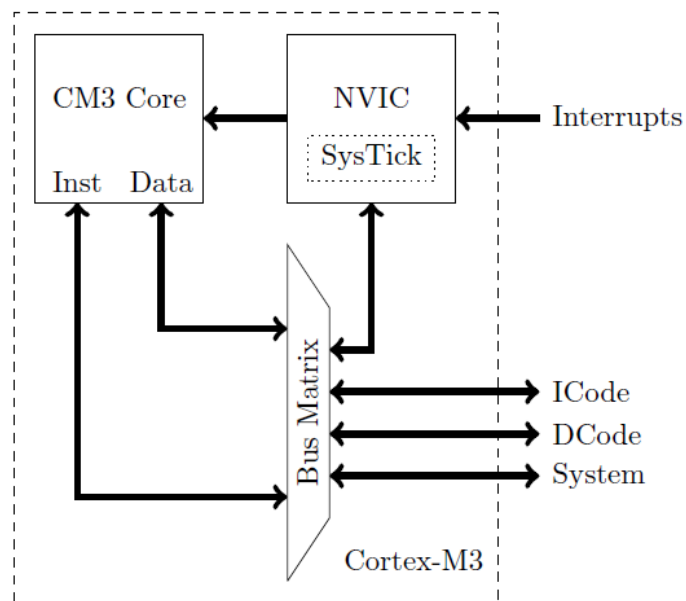
Слика 2-1: Блок шема развојног система.

## 2.2 Микроконтролер *STM32F100RB*

Микроконтролер је заснован на *ARM* архитектури са *Cortex M3* језгром, са 32-битном дужином инструкције. Радна фреквенција износи 24MHz, са 128KB *Flash* меморије и 8KB *SRAM*-а. Садржи три *USART* периферије, један 12-битни *AD* конвертор са 16 канала, два 12-битна *DA* конвертора, шест 16-битних тајмера опште намјене, као и један са напреднијим функцијама. Налази се у 64-пинском *LQFP* паковању.

### 2.2.1 *Cortex M3*

*Cortex-M3* архитектура језгра се састоји од 32-битног процесора са малим бројем периферија, као што је *NVIC*, *SysTickTimer* и *BusMatrix*. *CM3* језгро има Харвардову архитектуру, што значи да има одвојене интерфејсе за прихватање инструкција и података. *CM3* процесор има имплементиран *Thumb-2* инструкцијски сет који обезбјеђује и 16-битне и 32-битне инструкције истовремено. Као и сви остали *RISC* процесори, има три основна типа инструкција, регистарске операције за процесирање података, меморијске операције за размјену података између меморије и регистара и операције за контролу протока које обезбјеђују софтверску контролу протока *if* и *while* наредбама.

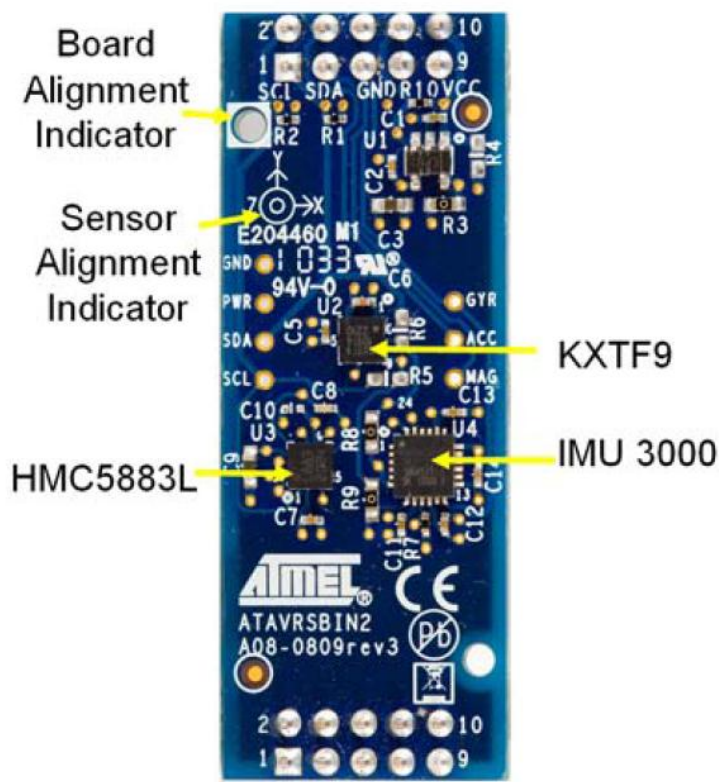


Слика 2-2:Блок шема *Cortex-M3* процесора.

### 3 Сензорска плочица ATAVRSBIN2

На слици 3-1 приказана је сензорска плочица са инерцијалним сензорима, жироскоп *IMU-3000*, акцелерометар *KXTF9* и магнетометар *HMC5883*. Сензори су дигитални, на контролер се повезују преко *I2C* интерфејса. Сва три сензора мјере величине по све три осе локалног координатног система који је везан за плочицу, па се зато користи појам *9DOF – 9 Degrees Of Freedom*.

На плочици се налази регулатор напона на 2.5V и то је номинални напон сензора. Поред пинова *I2C* магистрале доступни су и пинови који могу да дају прекид од сва три сензора. Прекиди су програмабилни и могу да дају прекиде кад су спремни резултати по свим осама.



Слика 3-1: Сензорска плочица.

#### 3.1 Жироскоп *IMU-3000*

*InvenSense IMU-3000* је дигитални 3-осни *MEMS* жироскоп, који има уграђен *Digital Motion Processor* са секундарним *I2C* интерфејсом. На овај секундарни *I2C* интерфејс се повезује

акцелерометар, тако да се у једном циклусу читања жироскопа добијају и подаци са акцелерометра. На тај начин се смањује процесорско вријеме које би се потрошило на додатно адресирање акцелерометра и његових регистара.

### **3.2 Акцелерометар KXTF9**

*Kionix KXTF9* је дигитални 3-осни *MEMS* акцелерометар са програмабилном скалом од  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ , или  $\pm 8g$ . Има уграђене алгоритме за детекцију „tap“ и „double tap“. Повезује се преко *I2C* интерфејса. На сензорској плочици је спојен преко жироскопа, али остављена је и могућност директног повезивања.

### **3.3 Магнетометар HMC5883**

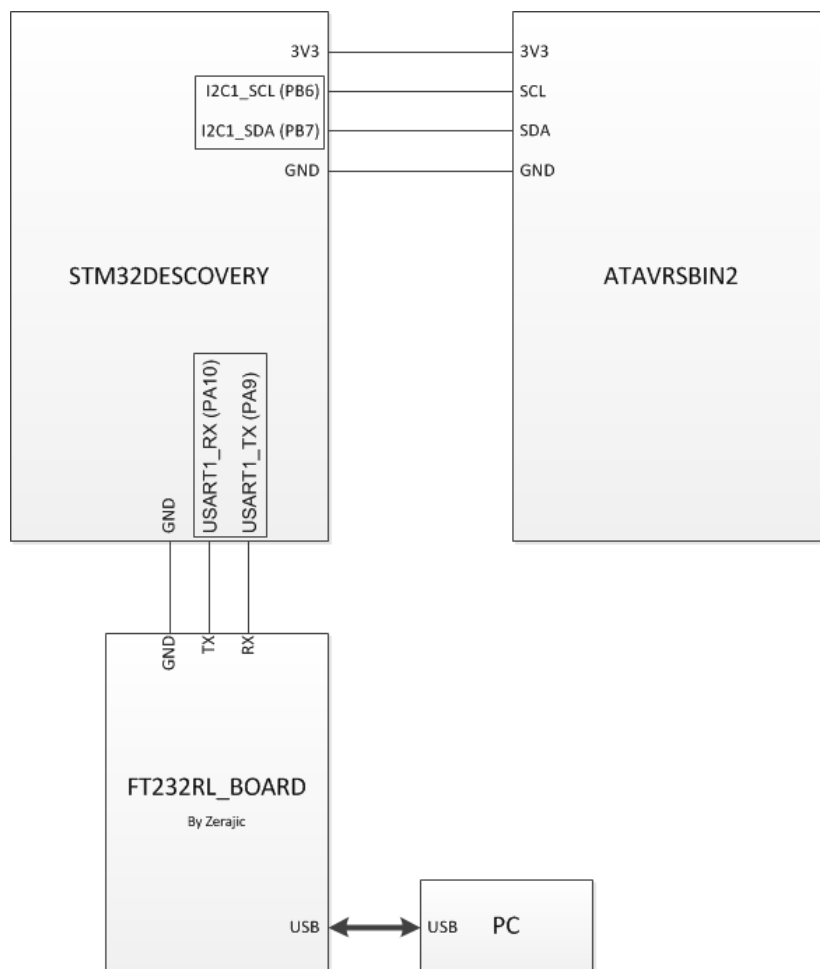
*Honeywell HMC5883L* је дигитални 3-осни *MEMS* магнетометар. Велике је резолуције и има аутоматску демагнетизацију и аутоматско поништавање офсета. *ADC* конвертор је 12-битни. Због велике осјетљивости и прецизности је погодан за израду компаса и може да мјери и смјер и јачину магнетног поља земље.

## 4 Хардвер

У наредном поглављу описан је хардвер система. Приказана је блок шема и описане су коришћене периферије контролера. Дата је и слика са имплементираним харвдвером.

### 4.1 Блок шема система

На слици 4-1 је приказана блок шема система. На развојни систем *STM32VLDISCOVERY* преко пинова PB6 и PB7, тј. I2C1\_SCL и I2C1\_SDA повезана је сензорска плочица *ATAVRSBIN2*. Ови пинови се повезују на исте пинове плочице, то јест на линију за *Clock* и линију за податке, SCL и SDA. Такође да би систем функционисао, сензорској плочици треба да се доведу напајање и маса са развојног система.



Слика 4-1:Блок шема система.

На пинове PA9 и PA10, тј. USART1\_TX и USART1\_RX се повезује плоча *FT232RL\_BOARD* која врши конверзију са серијског порта *UART-a* на *USB* рачунара. На рачунару је потребно инсталирати драјвер за *FT232RL* чип, тако да се овај *USB* види као виртуелни *Com Port*. *FT232RL\_BOARD* плоча се напаја са *USB*-а рачунара, али да би систем функционисао правилно, треба да буду спојене масе развојног система и ове плочице.

## 4.2 Коришћене периферије контролера

За реализацију система од периферија се користи *USART1*, који служи за комуникацију са рачунаром, тајмер *TIM7*, који обезбјеђује периодично извршавање алгорита. Сензорска плочица је са контролером повезана преко *I2C1* магистрале.

### 4.2.1 USART1

*USART* интерфејс може да оствари комуникацију и до 3 Mbit/s. Подржава хардверску контролу протока помоћу *CTS* и *RTS* сигнала и *half-duplex* комуникацију преко једне жице. Може да га опслужује *DMA* контролер.

Комуникација која је остварена у систему одвија се брзином од 115200 b/s, затим, дужина поруке је 8 бита, са једним стоп битом, и није укључена хардверска контрола.

### 4.2.2 TIM7

*TIM7* представља основни 16-битни тајмер који поред тригеровача *AD* конвертора може служити за креирање временске базе са дефинисаном периодом.

Помоћу овог тајмера се врши периодично позивање алгорита за процјену оријентације. Подешена је временска база или периода на 5ms, и дозвољен је прекид. То значи да је фреквенција читања сензора и позивање алгорита 200 Hz.

### 4.2.3 I2C

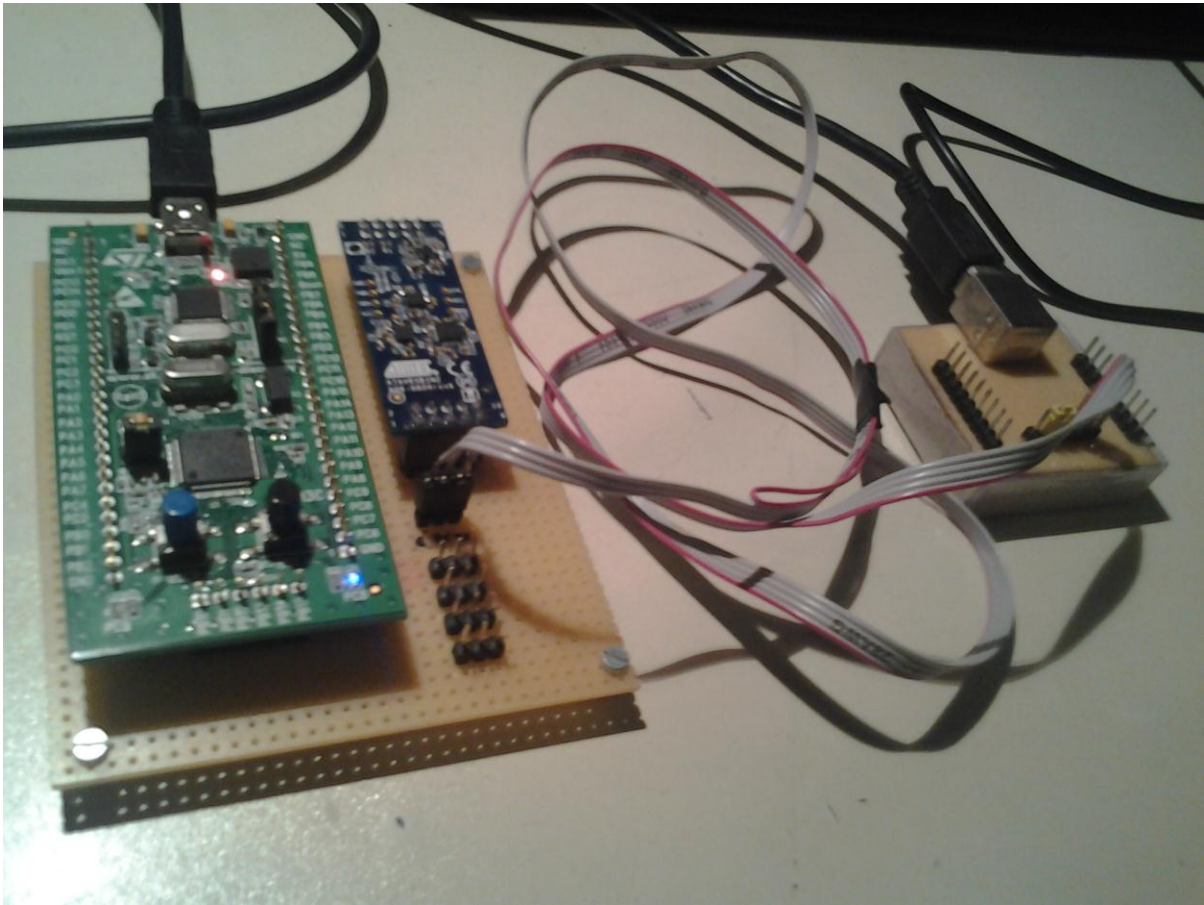
*I2C* интерфејс може да се конфигурише да ради у *master* или *slave* моду. Подржава стандардни и брзи мод. Подржано је и адресирање *slave*-а и у 7-битном адресном моду и у или 7-битном или 10-битном адресном моду. Може да га опслужује *DMA* контролер.

У систему интерфејс је конфигурисан да ради у брзом моду на 400kHz. Адресе сензора су 7 бита, тако да је укључено 7-битно адресирање.



### 4.3 Имплементирани хардвер

На слици 4-2 је приказан имплементирани хардвер. У другом плану се види и плочица *FT232RL\_BOARD* помоћу које се остварује веза са рачунаром.



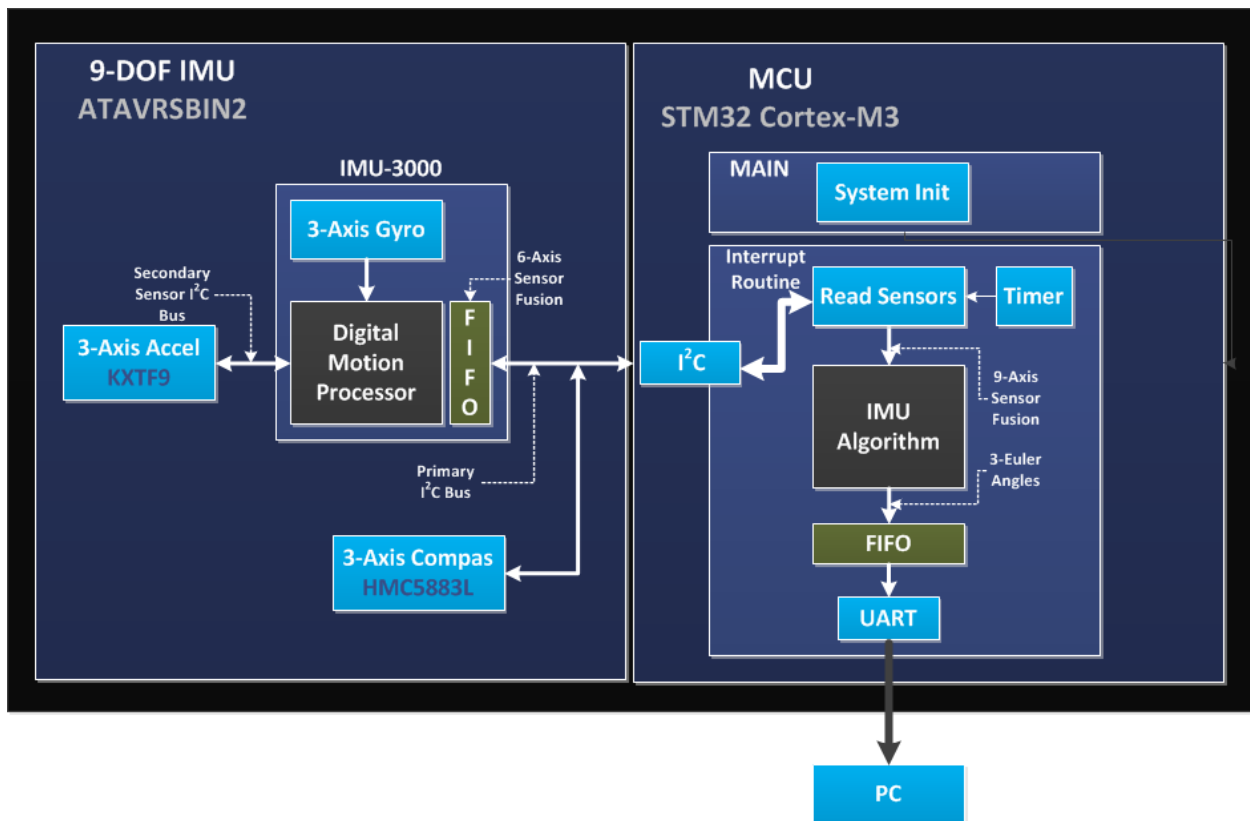
Слика 4-2: Имплементирани хардвер.

## 5 Софтвер

У наредном поглављу описан је програм који се извршава на контролеру и приказана је програмска блок шема.

### 5.1 Програмска блок шема

На слици је приказана је програмска блок шема. Такође на истој слици приказана је и блок шема сензорске плочице и њено повезивање са програмом.



Слика 5-1: Програмска блок шема.

#### 5.1.1 Иницијализација

На самом почетку главног програма извршава се иницијализација система. Током овог дијела, иницијализују се све периферије потребне за рад.

На почетку иницијализационог блока конфигурише се системски клок да би се довео свим периферијама које се користе. *I2C1* и *TIM7* се налазе на *APB1* магистрали док су остале периферије на *APB2*.

Потом се редом конфигуришу и укључују портови *GPIOA* и *GPIOB*, затим се конфигурише *I2C1* периферија да ради у брзом моду са 7-битним адресирањем и укљученим *ACK*-ом. *USART1* је као што је речено раније конфигурисан да ради при брзини од 115200b/s, са једним стоп битом и 8-битном дужином ријечи. Дозвољени су прекиди и *TX* и *RX*. Такође је потребно конфигурирати и *NVIC*, дозвољени су прекиди *USART1* и *TIM7* периферија. *TIM7* је конфигурисан да улази у прекид на сваких 5 ms.

Конфигурисан је и системски тајмер *SysTick* да ради са периодом од 1ms, користи се за мјерење апсолутног времена и у ситуацијама када је потребно остварити кашњење. Конкретно након иницијализације сензора потребно је остварити кашњење од 100ms да би сензори постали активни.

Након конфигурисања периферија, иницијализују се сензори и њихови конфигурациони регистри.

По завршетку иницијализације остатак главног програма је бесконачна празна петља.

### 5.1.2 Прекидна рутина тајмера *TIM7*

Најважнији дио система јесте ова прекидна рутина која прекидна глани програм, који је празан, на сваких 5 ms. Приликом уласка у прекидну рутину позива се функција *statemachine()*. У функцији се испитује тренутно стање система. При првом уласку стање је почетно (нулто), и у овом стању се врши калибрација сензора. Након извршене калибрације стање се инкрементира.

При сваком следећем уласку стање је различито од почетног и то је сада оперативно стање у којем се врши редом читање сензора, затим позивање алгоритма за обраду и процјену оријентације и слање обрађених података рачунару.

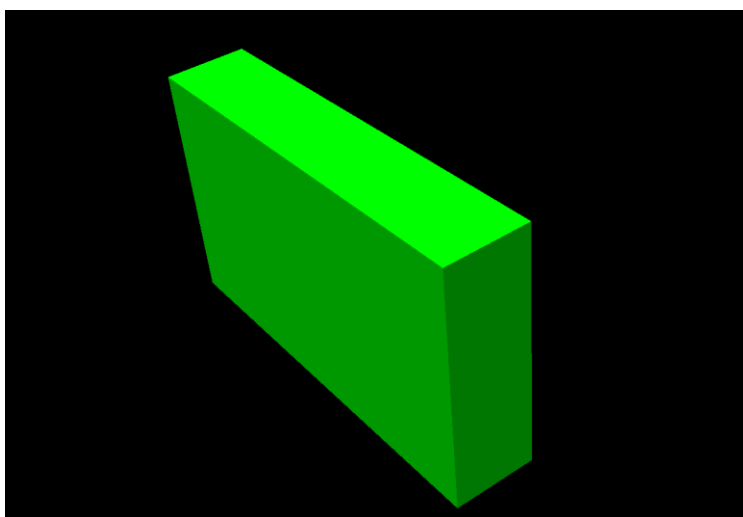
Аутор се није бавио математиком самог алгоритма, искоришћен је постојећи *MadgwickAHRS* алгоритам који је *Open Source*.

Треба напоменути да је и пријем и слање података одрађено преко прекида. У дијелу када се позове функција за слање података рачунару та се порука прослиједи кружном баферу за поруке, и дозволи се прекид *USART1* трансмитера. Потом се кад је год слободан *TX* бафер *USART1* шаље наредни бајт кружног бафера са порукама. При слању последњег бајта се забрањује прекид да се не би беспотребно улазило у прекидну рутину ако је бафер са порукама празан.

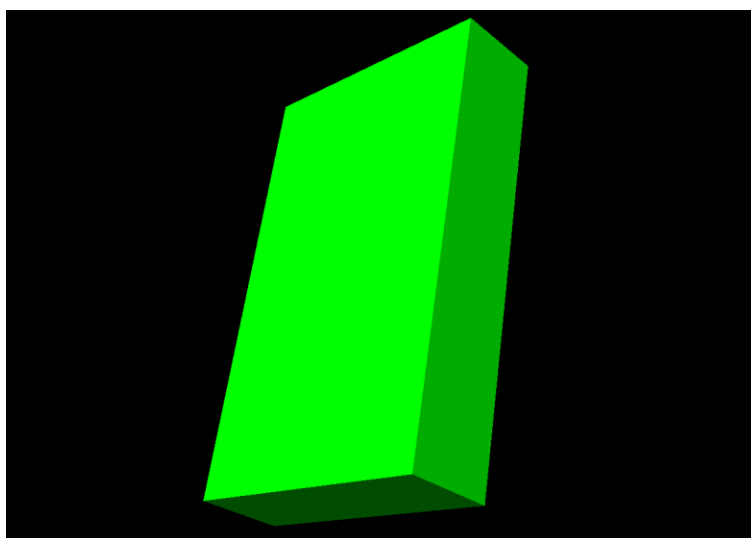
## 6 Закључак

Након извршеног тестирања, може се закључити да је систем стабилан. Тестирање је извршено помоћу тест апликације која се покреће на рачунару, која прихвата податке са контролера и приказује их у виду тродимензионалне фигуре која заузима идентичан положај као и хардверски систем са контролером и сензорском плочицом у реалном времену.

На сликама које слиједи приказан је прозор тест апликације за два различита положаја хардверског система.

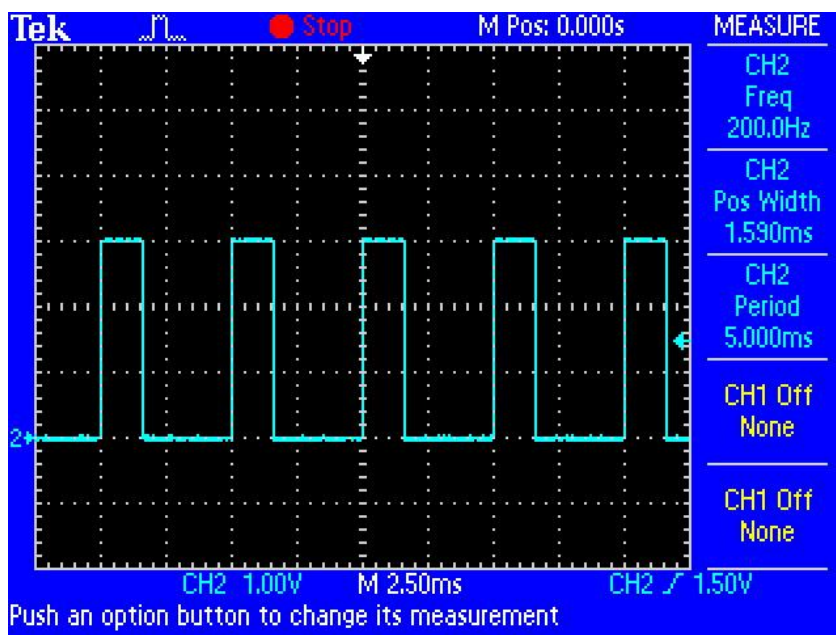


*Слика 6-1: Тест апликација-први положај.*



*Слика 6-2: Тест апликација-други положај.*

На слици 6-3 приказан је сингал снимљен осцилоскопом. Периода сигнала јесте периода уласка у прекидну рутину тајмера *TIM7*, а ширина импулса је вријеме извршавања, тј. вријеме које је потребно да се прочитају сензори и да се изврши алгоритам процјене оријентације.



Слика 6-3: Вријеме извршавања.

Са слике се јасно види да је периода 5ms, а да ширина импулса приближно износи 1.6ms, на основу чега се може рећи да је заузетост процесора 32%. Овај резултат је погодан за проширење система. Најбољи примјер за проширење система је управљање квадрокоптером.