

КУРСОВ ПРОЕКТ

Моторизиран Телескоп

ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Студент: Владимир Владинов

Факултетен номер: 06MI3400853

Учебен план: Компютърна графика (редовно, магистър)

Активен период: 2025/2026 зимен, магистри

Дисциплина: Вградени и автономни системи

Съдържание

Увог.....	2
Обзор на функциите на моторизирания телескоп	2
Избор на основни и допълнителни функции.....	5
Проектиране	7
Поток на данни	7
Механично разположение	7
Алгоритъм	7
Схема	9
Избор на компоненти и бюджет	10
Сорс код.....	12
Калибрация на компаса	13
Завъртане на сърво мотора	19
Завъртане на стъпковия мотор	20
Финален Прототип	21
Демонстрация	22
Бъдещи подобрения	22
Източници и използвана литература	24

Увог

С развитието на вградените и автономни системи автоматизацията намира все по-широко приложение в различни технически области, включително и в астрономията. Моторизираните телескопи с автоматично насочване улесняват наблюдението на небесни обекти, като повишават точността и намаляват необходимостта от ръчно управление.

Целта на този проект е разработването на прототип на моторизиран телескоп, който може автоматично да се насочва към позицията на избрана планета. Системата използва сензор за ориентация, микроконтролер за управление на двигатели и софтуер за изчисляване и контрол на движението, като е проектирана да работи с минимална човешка намеса.

В проекта се разглеждат основните хардуерни и софтуерни компоненти, тяхното взаимодействие и възможностите за бъдещо надграждане на системата.

Обзор на функциите на моторизирания телескоп

Основните компоненти на моторизираните телескопи включват гла ключови аспекти: първо, получаването на точна информация за местоположението на небесните тела спрямо текущото време и географска позиция; и второ, механичното движение на обектива до съответната точка на небосклона. Тези данни за местоположение могат да бъдат анализирани в реално време, което позволява на телескопа автоматично да проследява траекториите на небесните тела без необходимост от човешка намеса. За успешното разработване на този телескоп са необходими следните компоненти, които са подробно описани в приложената таблица по-долу:

Основни компоненти на моторизирания телескоп

<p>Мотори: В астрономията се използва сферична координатна система, която описва местоположението на небесните тела чрез две основни координати: надморска височина (елевация) и азимут. За да се постигне автономно управление на телескопа, е необходимо той да бъде оборудван с моторизирани механизми, които да позволяват движение около тези две оси. Това осигурява възможността за прецизно насочване и проследяване на небесните обекти в реално време.</p>	
<p>Сензори за разположение: събират информация за текущото положение на телескопа. Те използват технологии като акселерометри и жироскопи, за да определят точното местоположение и ориентация на устройството.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Accelerometer</i> <i>Gyroscope</i> <i>Compass</i></p>
<p>Сензори за текущо местоположение: събират информация за географската локация и точния час. Те използват технологии като GPS, часовници с висока прецизност и други сензори, за да определят точното място и време.</p>	

Интерфейс:

Потребителският интерфейс служи за интеракция и управление на цялостната система на телескопа. Той предоставя лесен и удобен начин за потребителите да контролират настройките, да задават цели и да наблюдават резултатите от наблюденията. Интерфейсът може да включва графични елементи, менюта и команди, които улесняват взаимодействието с телескопа и оптимизират неговата употреба.

**Захранване:**

Моторизираният телескоп трябва да бъде проектиран така, че да може да се използва извън градска среда. За тази цел захранването му трябва да бъде гъвкаво и да позволява използването на портативна батерия. Това гарантира, че телескопът може да функционира надеждно гори в отдалечени райони, където няма достъп до стандартни електрически източници.



Избор на основни и допълнителни функции

Основни функции:

- Автоматично насочване към специфична локация - Телескопът може самостоятелно да се насочва към предварително зададени координати на небесни обекти.
- Ръчно насочване към локация - Позволява на потребителя ръчно да управлява насочването на телескопа към желани точки на небосклона.
- Следене на траектория - Системата следи и компенсира движението на небесните тела, поддържайки ги в зрителното поле.
- Мониторинг на релефантната информация - Показва важни данни като текущо местоположение, време, координати и статус на телескопа.
- Модулна структура - Дизайнът на телескопа е модулен, което позволява лесна подмяна и надграждане на компоненти.

Допълнителни функции:

- Позициониране без значение от локация, наклон - Телескопът може да се позиционира точно независимо от географското местоположение и наклона на терена.
- Подсещане за космически събития - Системата напомня за предстоящи астрономически събития като метеорни потоци, лунни затъмнения и др.
- Печатане на PCB и оптимизиране на кабелите - Възможност за печат на печатни платки и оптимизация на кабелните връзки за по-добра производителност и надеждност.
- Интеграция на системата на реален телескоп - Вграждане на системата към предварително закупен телескоп.

В рамките на настоящия проект ще бъде разработен прототип на моторизиран телескоп. Причината за ограничаването на проекта до прототип е свързана с няколко фактора: Високата цена на компоненти като мотори с голям въртящ момент и необходимите захранващи модули, сложността и времето, необходими за проектиране и прототипиране на механичните части, както и трудностите при представянето на завършен продукт. Вместо това, ще бъде създаден моторизиран 3D принтиран модел на телескоп, който ще демонстрира основните функционалности и концепции на пълномащабния проект. Този подход

ще позволя по-бързо и икономично тестване на идеите и ще улесни представянето на проекта пред аудитория.

Платформата, избрана за този проект, е ESP8266 с интегриран OLED дисплей. Тя е предпочетена поради своите компактни размери, ниска цена, вграден екран и възможността за безжична свързаност чрез вградения Wi-Fi модул.

Моторизирането на телескопа е осъществено чрез два типа мотори: стъпков мотор (stepper motor) и серво мотор (servo motor). Стъпковият мотор е избран за въртене на 360 градуса във всяка посока, като той ще насочва телескопа на база на азимуталната координата в сферичната координатна система. Серво моторът е предпочтен за ротация на база на надморската височина, тъй като има способността да върти на точни градуси и не е необходимо да се върти на повече от 180 градуса. Тази комбинация от мотори осигурява прецизно и ефективно управление на телескопа.

Сензорите ще отговарят за събирането на информация за текущото местоположение на телескопа. Към телескопа могат да бъдат свързани следните сензори: акселерометър, жироскоп, магнетометър (компас), GPS и часовник. Тези сензори ще предоставят точни данни за ориентацията, движението и географските координати на телескопа.

Потребителският интерфейс ще бъде реализиран чрез уеб сървър, качен на микроконтролера. Чрез този уеб интерфейс потребителите ще могат да изпращат команди на телескопа и да го управляват дистанционно. Допълнителна информация за статуса и настройките на телескопа ще бъде показвана на вградения OLED дисплей, което ще улесни мониторинга и контрола на устройството.

Проектиране

Поток на данни

Потокът на данни започва с включването на системата. След успешно свързване към Wi-Fi сигнал, се стартира уеб сървърът и системата преминава в режим на изчакване. Командите се подават през уеб сървъра до микроконтролера, който чете информация от сензорите и изпраща команди до моторите, за да насочи телескопа към съответното местоположение. След изпълнение на команда, статусна информация се изписва на гисплея и системата отново влиза в режим на изчакване, готова за нови инструкции.

Механично разположение

Всички сензори, включително и микроконтролерът, трябва да бъдат здраво фиксираны за въртящата се част на телескопа. Моторите трябва да бъдат монтирани на статичната основа, като техните въртящи елементи са фиксираны към съответните оси на въртене. Захранването трябва да бъде проектирано така, че да не пречи на механичните движения и да осигурява стабилно и непрекъснато подаване на енергия. Целият механичен дизайн трябва да бъде насочен към осигуряване на максимална надежност и дълготрайност на системата.

Алгоритъм

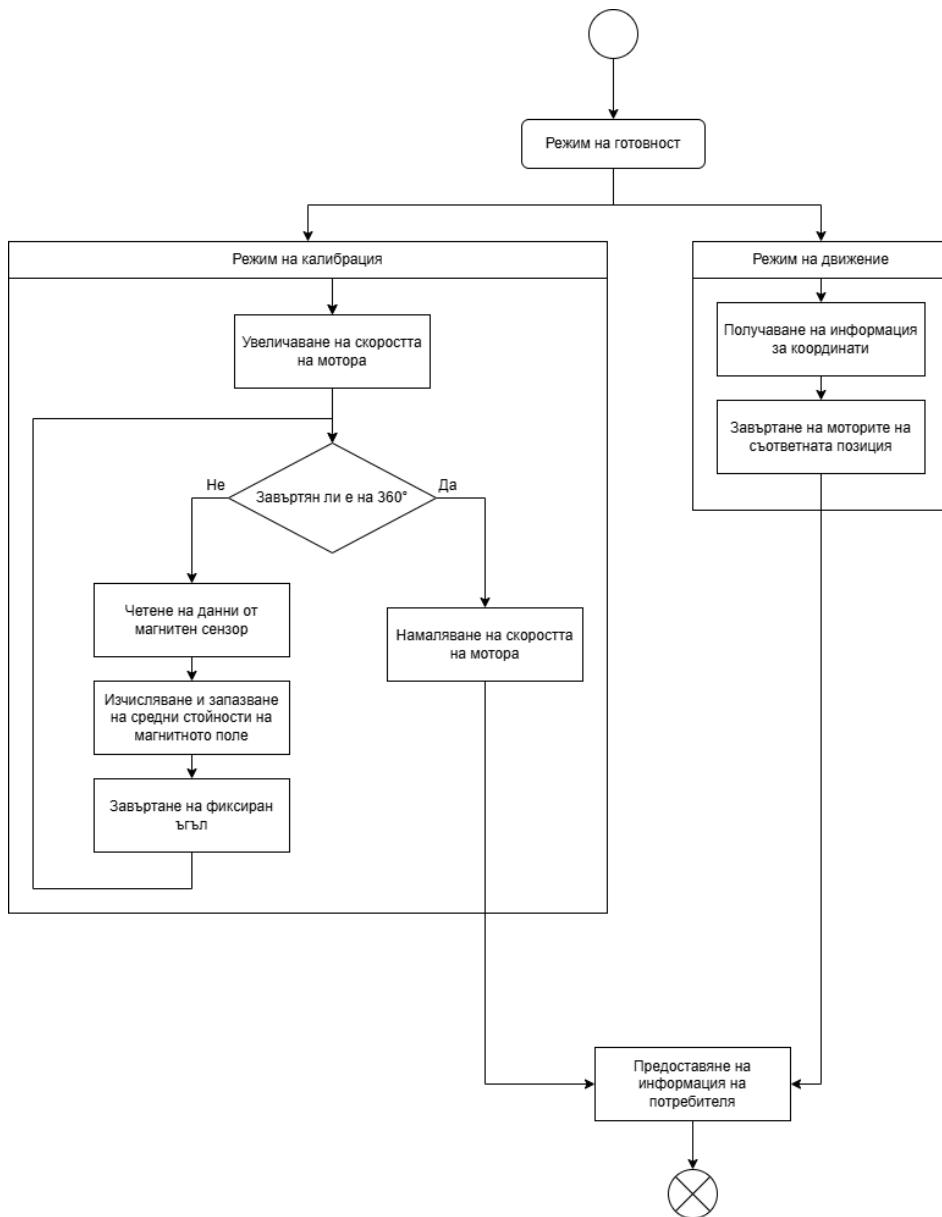
Проектът на телескопа започва с подаване на захранване. Първоначално, системата извършва самоинициализация и проверява работоспособността на всички компоненти. След като микроконтролерът е стартиран и всички свързани компоненти (сензори, уеб сървър) са активирани, системата преминава в режим на готовност.

Потребителят получава достъп до потребителския интерфейс на телескопа, чрез който може да въвежда различни команди. Този интерфейс предлага да основни режими на работа: калибрационен режим и режим на движение.

Режим на калибрация: Той е задължителен за изпълнение поне веднъж при преместване на телескопа на ново местоположение. В този режим системата анализира магнитните полета около телескопа и настройва магнитния сензор така, че да игнорира тяхното влияние. Това гарантира точността на измерванията и правилното функциониране на телескопа.

Режим на движение: Взема под внимание предварително изчислените данни за магнитното поле и текущата позиция на телескопа. На базата на тези данни, системата изчислява необходимите ъгли на завъртане по всяка от двете оси. След като извърши тези изчисления, тя подава съответните сигнали към моторите, които осъществяват физическото завъртане на телескопа.

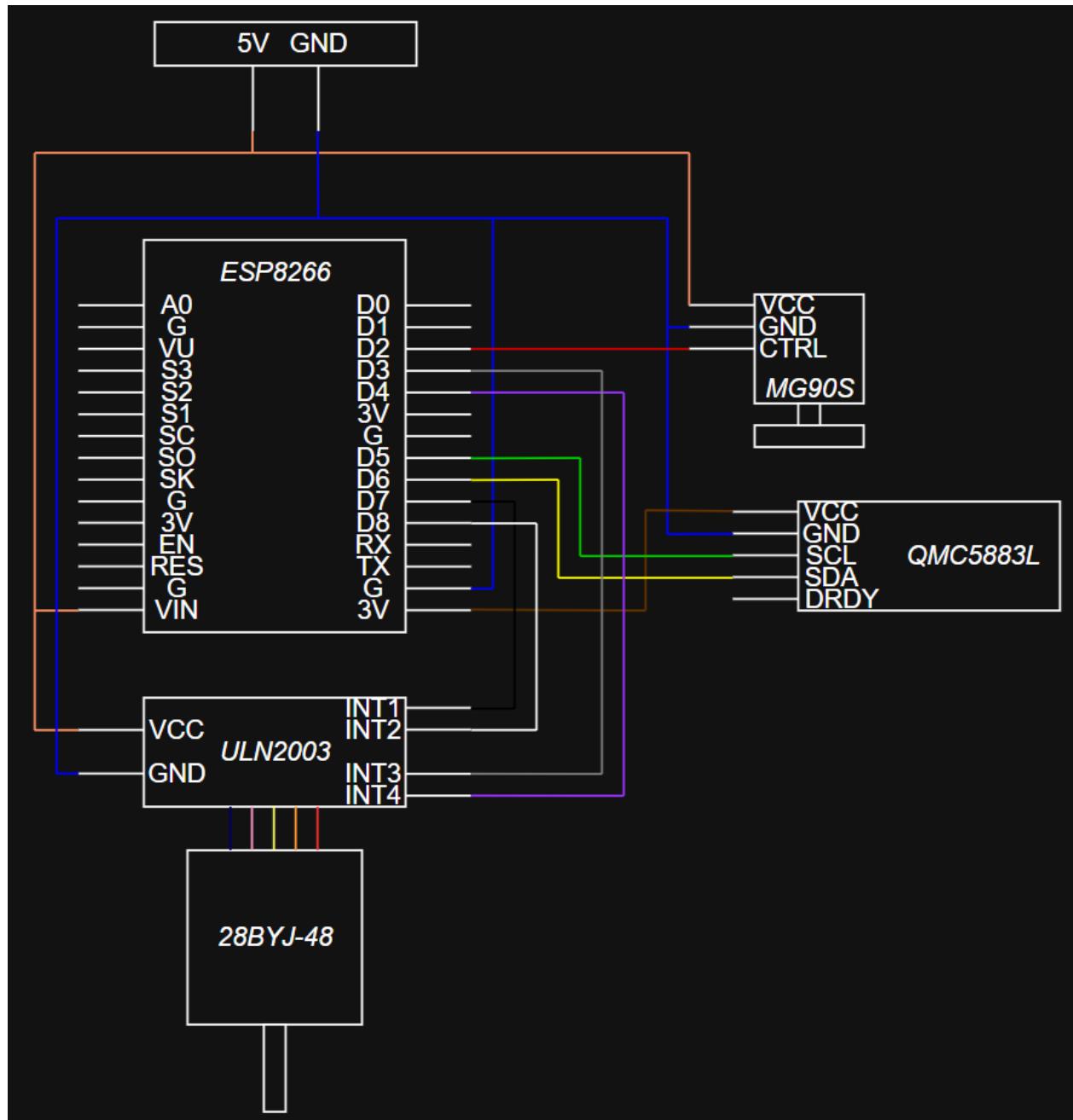
След успешното изпълнение на всеки от режимите, телескопът предоставя релевантна обратна връзка на потребителя и автоматично преминава в режим на готовност. Цялата тази последователност от действия се повтаря в непрекъснат цикъл, докато не бъде прекратена от потребителя или до изключване на захранването.



Схема

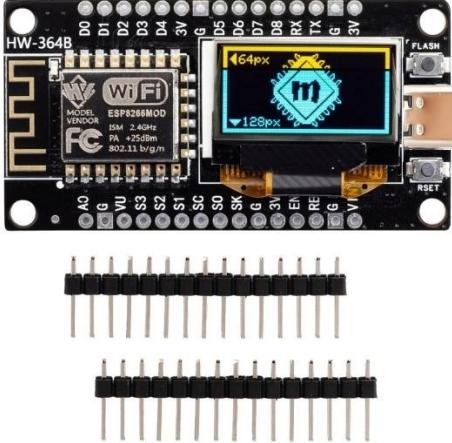
Схемата съдържа следните компоненти:

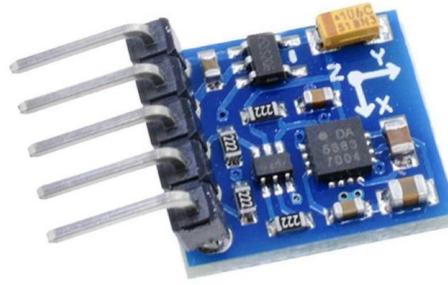
- NodeMCU ESP8266 V3 платка с 0.96" OLED дисплей
- MG90S микро серво мотор
- Стъпков мотор 28BYJ-48 + платка с ULN2003 управляващ чип
- Кум магнетометър (компас) GY-271 с чип QMC5883L
- 5V захранване



Серво моторът и стъпковият мотор са със захранване от 5V, докато магнитния сензор се нуждае от 3V. Самия микроконтролер също се захранва от 5-волтовия изоточник. Дисплея е вграден в самата платка и затова не е изобразена връзката към него. Комуникацията към дисплея и магнитния сензор се осъществява чрез I2C протокола.

Избор на компоненти и бюджет

<p>ESP8266 микроконтролера беше избран поради ниската си цена, вградения OLED дисплей и Wi-Fi модул. Чрез дисплея процеса на дебъгване беше улеснен, понеже може да показваме стойностите на различни промениливи в реално време на него. Допълнително извеждането на информация към потребителя е в много по-улеснен вид и няма нужда от четене на серийния монитор.</p>		8.64€
<p>MG90S серво мотора има малка конструкция и метална предавка. Също така предоставя завъртане на 180°. Достъпен модел, който не е най-висока точност, но предоставя достатъчно тяга (1.8 kgf·cm на 4.8V) за да завърти горната част на телескопа заедно с някоя бъдеща приставка.</p>		4.96€

<p>Стъпковия мотор 28BYJ-48 беше в комплект заедно със платка с управляващ чип ULN2003. Мотора предоставя ъгъл на единична крачка 5.625° /64 което се свежда до 4096 стъпки за една пълна ротация. Това ни позволява да осъществим въртене с голяма точност.</p>		6.39€
<p>По време на разработката на проекта смених 3 вида магнетометъра. Първия който пробах беше HMC5883L, който имаше фабричен дефект и не връщаше никаква информация. Втория сензор беше кум K2082 Компас и акселерометър LSM303DLHC, който работеше, но загряваше твърде много и имаше рисък да се повреди по време на работа. Трети и текущ сензор беше модула GY-271, който погрешно беше описан в спецификацията че съдържа чип HMC5883L, а всъщност е с QMC5883L</p>		3.53 €
Общо		23.52 €

Сопс ког

Функциите, които са използвани и тяхното кратко описание:

<code>void compass_init()</code>	Инициализация на компас сензора. Задава периода на измерване както и други настройки. Извиква се веднъж в началото на програмата.
<code>void readCompass(int16_t &x, int16_t &y, int16_t &z)</code>	Чете данните от измерванията от всяка ос от магнитния сензор, и ги форматира като стойности на 3 променливи - X, Y и Z
<code>float getHeading()</code>	Връща градуса на насоченост на телескопа (азимута) чрез четене на стойностите на магнетометъра и изчисляването на завъртането между 0 и 360
<code>void calibrateCompass()</code>	Калибрира компаса чрез извършване на Hard Iron Calibration. Завърта телескопа за 360°
<code>void rotateStepper(float targetDeg)</code>	Завърта стъпковия мотор на даден градус. Градуса е глобален като за 0 градуса се приема магнитния север.
<code>float servo_Lerp(int xIn)</code>	Помощна функция за линейна интерполяция на стойността, която да бъде подавана на сърво мотора.
<code>void rotateServo(int deg)</code>	Завърта сърво мотора на даден градус. Градуса е глобален и съответства на физическата скала, която се намира отстрани на прототипа.
<code>void display_prepare(void)</code>	Помощна функция. Задава шрифт, позиция, цвет и ротация преди да се рисува на дисплея.
<code>void displayStatusString(const char* str)</code>	Изписва текст на мястото на статуса на екрана.
<code>void displayStatusString()</code>	Изписва IP адреса на уеб сървъра и текущия час като статус.

<code>void displayHeading(float heading)</code>	Изписва гадената насоченост на телескопа на екрана.
<code>void displayString(const char *string)</code>	Изписва текст под мястото за статус на екрана.
<code>int extractAngle(String request)</code>	Извлича ъгъла от гадената HTML заявка.
<code>void updateTime()</code>	Обновява текущите час и гама.

Целия сорс код може да бъде намерен в GitHub:

<https://github.com/headedspy/Telescope>

Калибрация на компаса

Магнитните полета в околния свят могат значително да повлият на точността на измерванията, извършвани от компасите. Поради тази причина е необходимо магнетометрите да бъдат редовно калибрирани при всяка промяна на мяхното местоположение или условия на работа. В ежедневните потребителски устройства, процесът на калибрация обикновено включва въртене на устройството във въздуха по траектория, наподобяваща цифрама "8".



Въпреки че този метод е ефективен за малки и мобилни устройства, в контекста на този проект подобен подход може да се окаже твърде трудоемък и неефективен. Ето защо е важно да се разгледа по-задълбочено как точно функционира процесът на калибрация и как са основните му етапи.

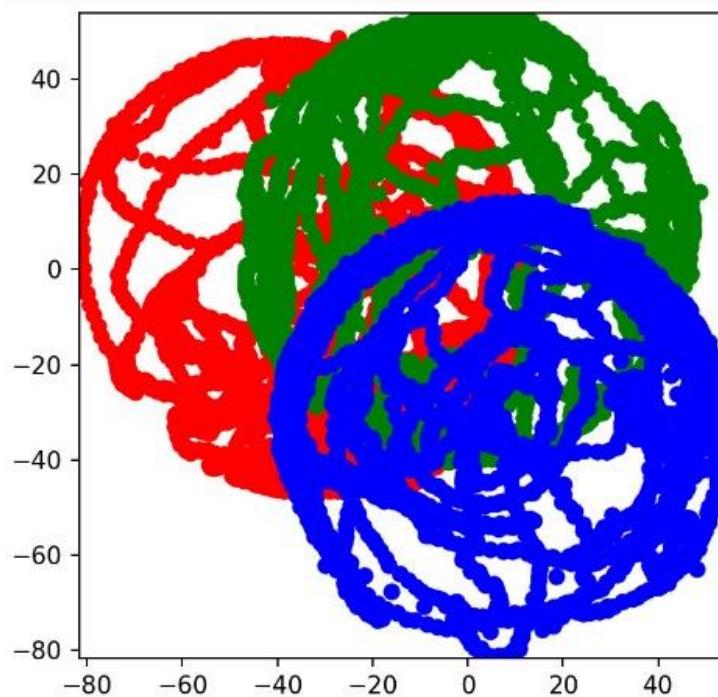
Калибрацията на магнетометъра включва три основни стъпки: Hard Iron Calibration, Soft Iron Calibration и финална корекция за магнитна деклинация. Тези стъпки гарантират, че устройството ще предоставя точни и надеждни измервания дори при наличие на силни магнитни смущения в околната среда.

Hard Iron Calibration

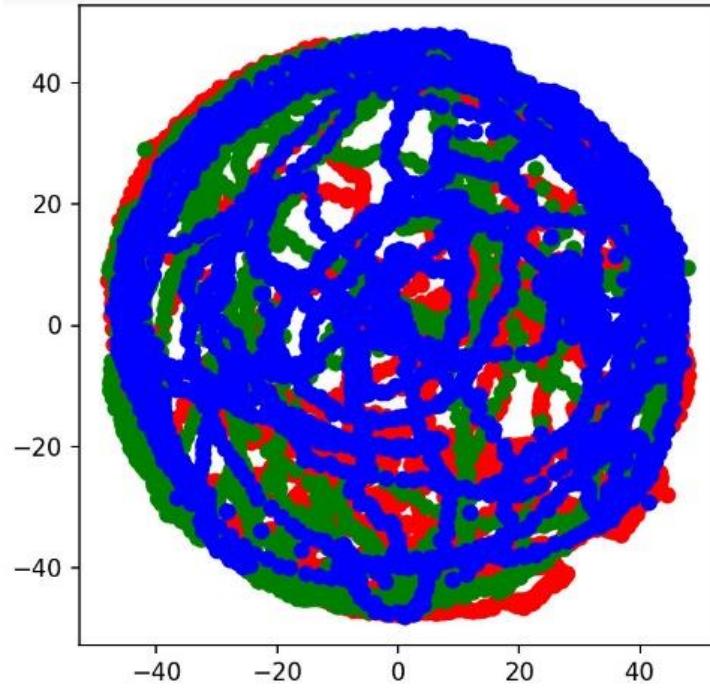
Hard Iron Distortions, произтичат от наличието на близки постоянни магнити.

Тези магнитни полета предизвикват изместване на измерванията, което означава, че те добавят или изваждат определена стойност от действителните показания на сензора. Въпреки това, тези отклонения са сравнително лесни за коригиране чрез подходящ метод за компенсиране.

Ако извършим измервания на стойностите, прочетени от компаса, гокамо го движим, и начертаем графиките на гвойките стойности (X/Y), (Y/Z) и (Z/X), ще установим, че те описват три отделни кръга.:



Ако запазим тези измервания и за всеки кръг определим средноаритметичната стойност между най-голямата и най-малката стойност, можем да извадим тази стойност от всички бъдещи измервания. По този начин ще компенсираме изкривяванията, причинени от външни силни магнитни полета. След прилагането на тази калибрация, ако отново извършим измервания на стойностите, ще установим, че и трите кръга са центрирани около нулевата точка. Това показва, че калибрацията е успешна и системата е готова за точни измервания без влиянието на външните магнитни полета.



Тъй като Въртенето, използвано за калибриране на компаса, се осъществява само около една ос, не е необходимо да вземаме предвид Z-оста при изчисленията на магнитното поле. Следователно, трябва да компенсираме изместванията само в равнината на X и Y оси. Това означава, че вместо сложното въртене по траекторията на цифрата "8", достатъчно е да извършим просто завъртане на 360 градуса около неизползваната Z ос. Въртенето се извършва на стъпки като при всяка стъпка се измерва стойността на магнитното поле и се запазва най-голямата и най-малката стойност

```
int16_t x, y, z;
readCompass(x, y, z);

min_x = min(min_x, x);
min_y = min(min_y, y);
max_x = max(max_x, x);
max_y = max(max_y, y);
```

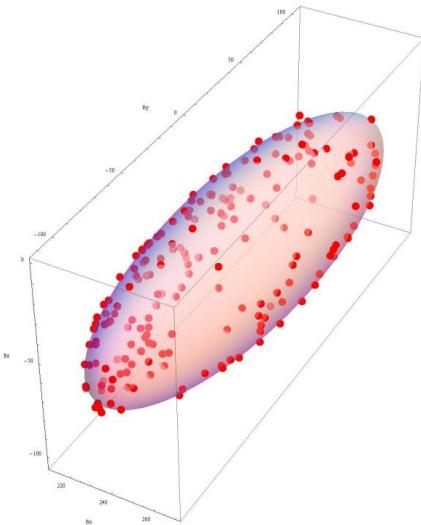
На края на завъртането се изчислява отклонението, което се изважда от всяко следващо измерване

```
hic_x = (max_x + min_x) / 2.0f;
hic_y = (max_y + min_y) / 2.0f;
```

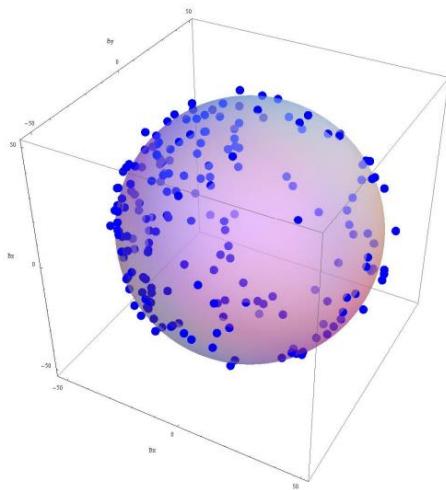
Soft Iron Calibration

Soft Iron Distortions се дължат на наличието на желязо, стомана или други феромагнитни метали в близост до компаса. Други предмети също могат да причинят някои изкривявания, тъй като различни предмети и материали могат да отклоняват и изкривяват магнитните полета.

Ако отново извършим измервания но този път начертаем триизмерна точка със чистата стойност прочетена от сензора в пространството, то ако има наличие на метали в непосредствена близост ще получим подобно изкривяване:



Решението тук е матрично умножение на стойностите с преопределена матрица която връща стойностите с сферична форма:

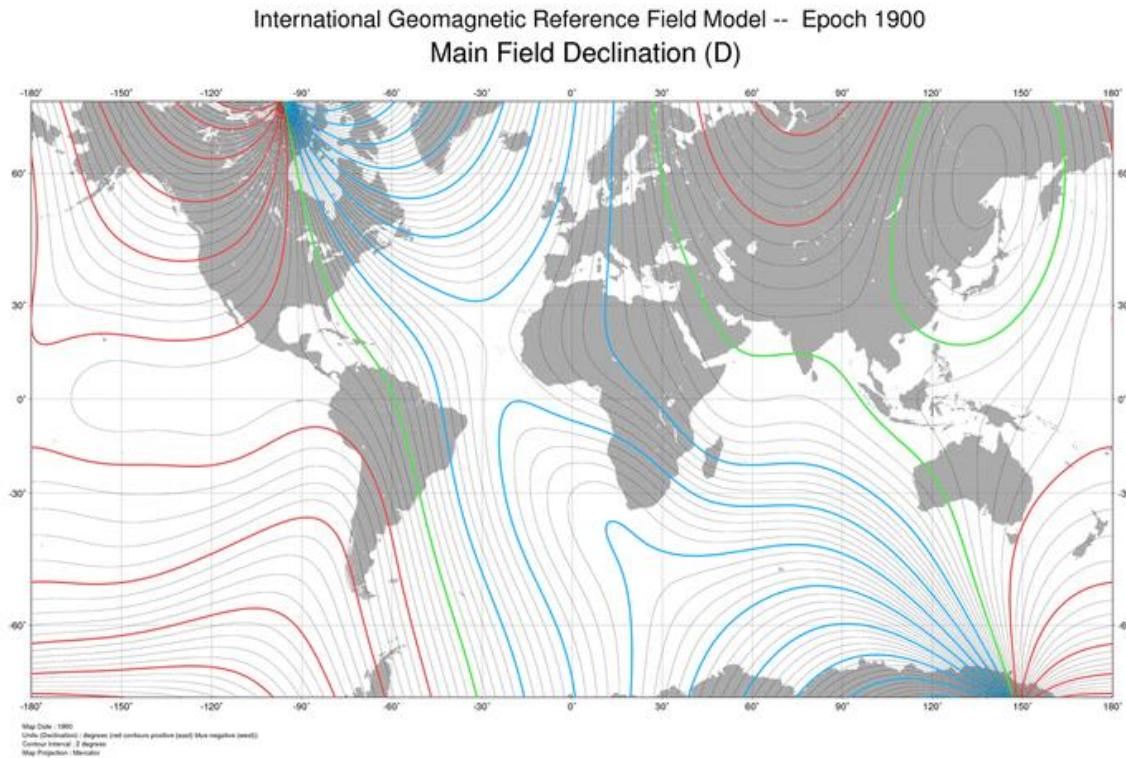


Генерирането на тази матрица представлява значителна трудност поради сложността на процеса. Макар че ограничаването на измерванията само до гве

оси (X и Y) намалява размера на матрицата до 2x2, Все още е необходимо прилагането на директен линеен метод за апроксимация на елипса чрез използване на метода на най-малките квадрати. Основният проблем възниква от ограниченията на използваните хардуерни ресурси – използвания микроконтролер разполага с ограничени възможности и недостатъчен обем на FLASH паметта, което не позволява съхранението на всички необходими стойности и временни матрици, изисквани от алгоритъма. Поради тези причини, в рамките на този проект не е възможно да се реализира калибрация за Soft Iron ефектите. Решението е телескопа да не бъде поставян в близост до големи парчета феромагнитни метали.

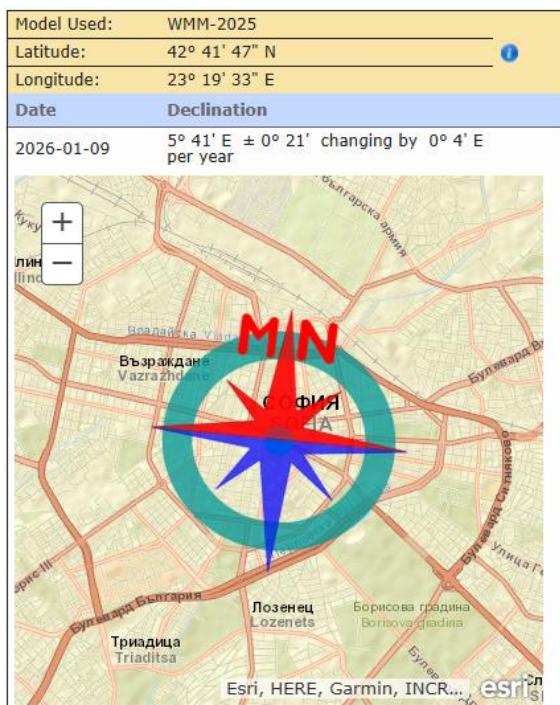
Магнитна Деклинация

Разликата между магнитен и географския север представлява ъглово изкривяване на върнатата стойност в зависимост от глобалната локация на сензора. Освен това магнитните полета на планетата са в постоянно движение и се изместват постепенно, което се отразява на върнатата стойност на компаса.



За да използваме магнитометъра като обикновен компас, не е необходимо да отчитате магнитното отклонение (тъй като обикновеният компас ще сочи към магнитния север). Обаче за проекта е нужно да определим насочеността въз основа на географските полюси и ще трябва да преобразуваме от магнитен градус в географски градус.

Има общодостъпни инструменти, които дават информация за магнитната деклинация във всяка една точка на света. Ако използваме един такъв инструмент можем да намерим отместването в София:



Виждаме че деклинацията в София е $5^{\circ} 41' E \pm 0^{\circ} 21'$ като се променя с $0^{\circ} 4' E$ всяка година. Тази стойност я конвертираме в използваема стойност и я добавяме към всяко измерване.

$$5 + \frac{41}{60} \approx 5.6833^{\circ}$$

Завъртане на сърво мотора

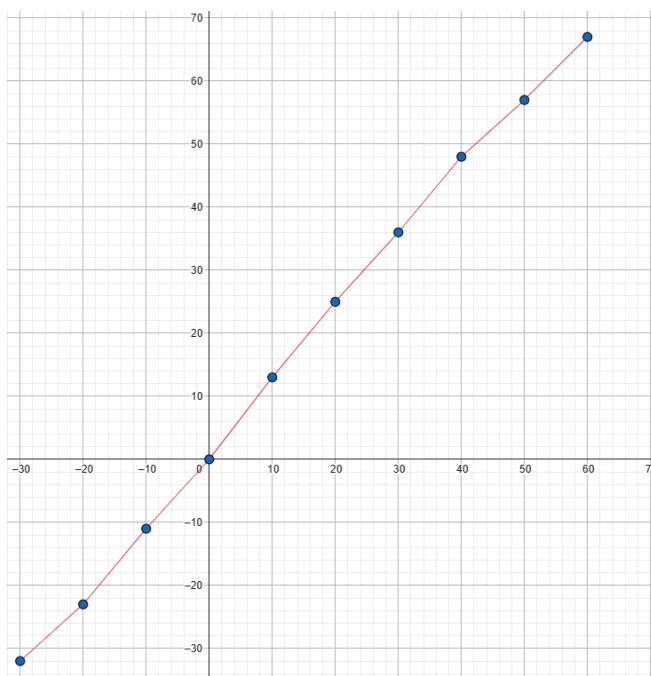
Използваният серво мотор представлява по-бюджетен вариант, но това води до компромис с точността, която е недостатъчна за постигане на желаната прецизност в насочването. Основният проблем е свързан с трудностите при придвижването на мотора на малки разстояния. Освен това, точността на завъртане не е линейна и се влияе от множество фактори като температура, натоварване и вариации в захранващото напрежение. За максимално предотвратяване на тези проблеми завъртането на мотора се осъществява спрямо линейна интерполяция и първоначално нулиране.

При всяко завъртане на произволен ъгъл, серво моторът първоначално се връща в нулевата си позиция. Това означава, че командата за ротация не зависи от предишната стойност на ъгъла, което може да доведе до неточности.

За предотвратяване на нелинейността по време на разработката на проекта бяха проведени няколко измервания след фиксирането на мотора. В масив x се записват стойностите на зададените команди за ротация, а в масив y се съхраняват действителните ъгли, на които серво моторът се е завъртял.

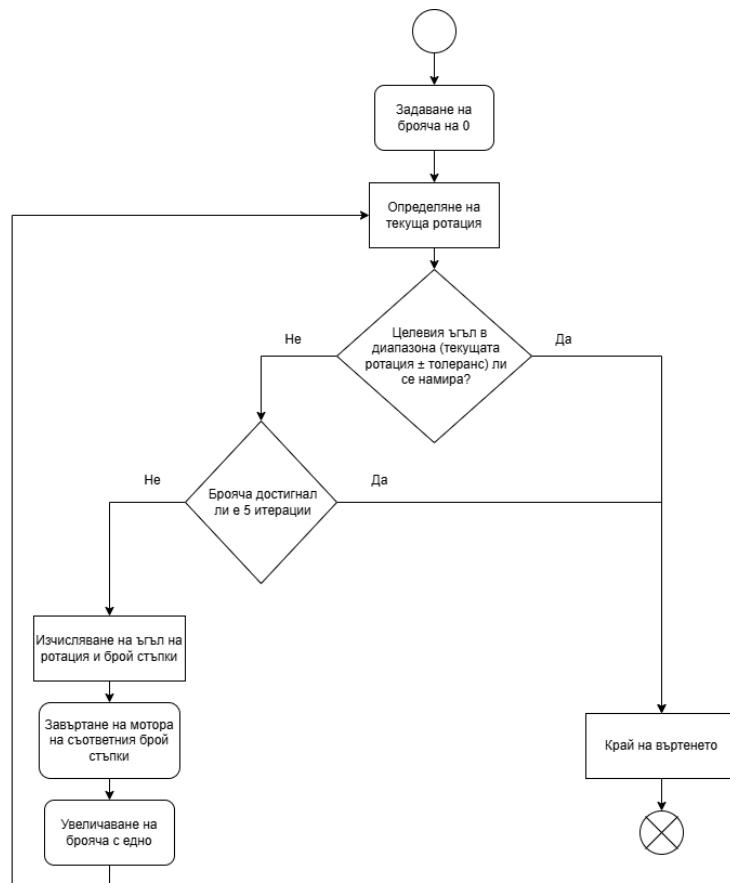
```
int x[] = {-30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60};  
int y[] = {-32, -23, -11, 0, 13, 25, 36, 48, 57, 67};
```

Чрез използване на тези данни, всяка бъдеща команда за ротация се интерполира между две съседни точки от записаните стойности, което позволява по-точно изпълнение на желаното завъртане.

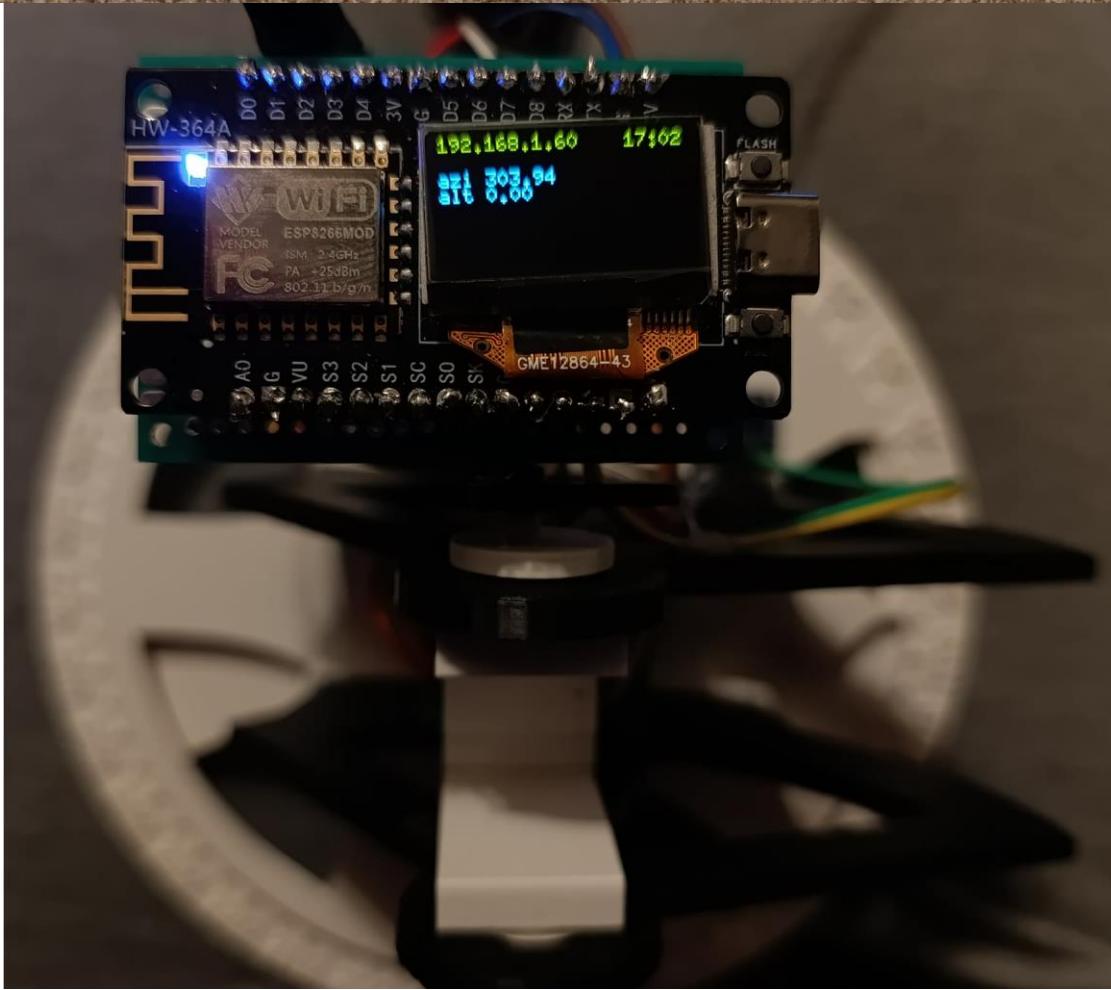
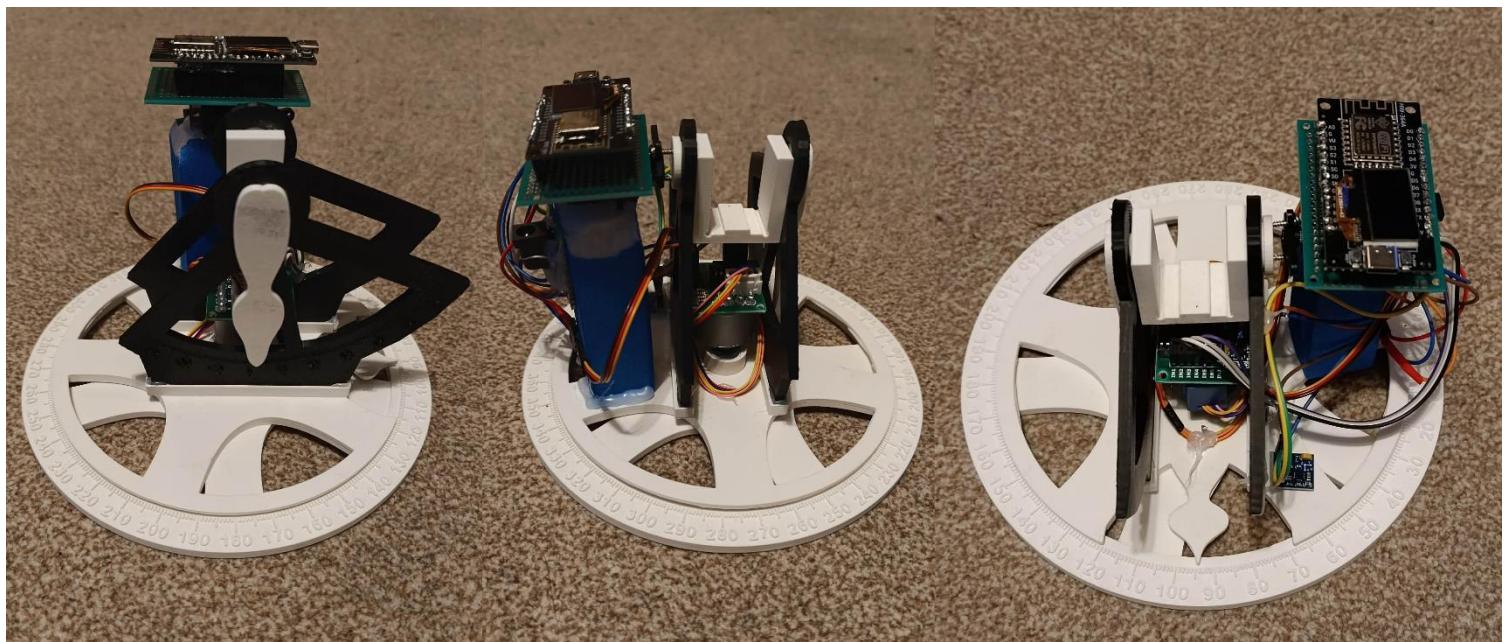


Завъртане на стъпковия мотор

Процесът на завъртане на стъпковия мотор включва няколко ключови етапа. Първата стъпка е определянето на текущото положение на ротация на телескопа. След като текущата позиция е установена, следващата стъпка е изчисляването на необходимия ъгъл на завъртане. Това се прави чрез сравнение на текущия ъгъл с целевия ъгъл, към който трябва да се насочи телескопът. Разликата между тези два ъгъла представлява желаното отклонение, което трябва да бъде компенсирано от стъпковия мотор. Третата стъпка включва изчисляване на броя стъпки, които стъпковият мотор трябва да направи, за да достигне целевия ъгъл. След като броят стъпки е изчислен, команда за завъртане се подава към мотора. Последният етап от процеса е проверка на успешното завършване на ротацията. Това се осъществява чрез повторно измерване на текущия ъгъл на телескопа и сравнението му със зададения целиви ъгъл, като се взема предвид предварително определен толеранс. Ако разликата между текущия и целевия ъгъл надвишава допустимия толеранс, процесът на завъртане се повтаря отново. Максималният брой опити за корекция е ограничен до пет, за да се предотврати безкрайно цикличност и потенциални повреди на системата.



Финален Прототип



Демонстрация

[\[ВИДЕО ЛИНК\]](#)

Бъдещи подобрения

- Добавяне на GPS модул**
Включването на GPS модул значително разширява функционалността на проекта, позволявайки изчисляването на магнитната деклинация и откриването на небесни тела във всяка точка на света. В момента проектът е конфигуриран да работи само в град София, но с добавянето на GPS модул, той ще може да функционира ефективно независимо от географското местоположение.
- Добавяне на външна батерия****Интегрирането на външна 5V батерия**
прави моторизирания телескоп преносим, което е от съществено значение за качественото наблюдение на небесните тела. Добрите условия за наблюдение често се намират извън големите градове, където светлинното замърсяване е минимално. Външната батерия осигурява автономност и мобилност на устройството. Смяна с по-мощен микроконтролер
- Смяна с по-мощен микроконтролер**
Текущия микроконтролер няма достатъчно пинове за свързване на повече елементи към него. Замяната му с по-мощен модел ще позволи интегрирането на допълнителни функции, като например Soft Iron Calibration на магнетометъра.
- Смяна на сърво мотора със стъпкер и жироскоп**
Въпреки сложността на алгоритъма за контрол, сърво моторът не винаги осигурява необходимата точност. Една от възможностите е замяната му с по-точен сърво мотор или изцяло със стъпков мотор, оборудван с жироскопен сензор. Жироскопът ще предоставя обратна връзка за позицията на вертикалния ъгъл, което ще повиши прецизността на управлението. Интеграция на реален телексон

- **Интеграция на реален телескоп**

Проектът може да бъде адаптиран за работа с реален телескоп чрез проектиране и интеграция на допълнителни механични компоненти и помощни мотори. Това ще позволяи използването на системата в професионални астрономически приложения.

- **Жироскоп/акселерометър**

Поставянето на жироскопен сензор ще позволяи на телескопа да бъде ориентиран под различни ъгли, като тези ъгли ще бъдат автоматично компенсирани в изчисленията за ротация на моторите.

Източници и използвана литература

Hauptman, A. (2025, November 25). *Best Servo Motor Comparison: Accuracy & Efficiency*. Data Acquisition | Test and Measurement Solutions. <https://dewesoft.com/blog/servo-motor-comparison-accuracy-efficiency>

Ozyagcilar, T. (2015, November). *Freescale Semiconductor Application Note Document Number: AN4246*. https://www.nxp.com/. <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN4246.pdf>

How to use a calibrated magnetometer as a compass. DigiKey. (2022, June 20). <https://www.digikey.lt/en/maker/projects/how-to-calibrate-a-magnetometer/50f6bc8f36454a03b664dca30cf33a8b>

Hill, C. (2021, August 9). *Direct linear least squares fitting of an ellipse*. scipython. <https://scipython.com/blog/direct-linear-least-squares-fitting-of-an-ellipse/>

National Geophysical Data Center. (n.d.). *NCEI geomagnetic calculators*. NCEI Geomagnetic Calculators. <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination>

Historical main field change and declination. Geomag. (n.d.). <https://geomag.colorado.edu/historical-main-field-change-and-declination>

Security-first diagramming for teams. draw.io. (n.d.). <https://www.drawio.com/>

Електронен магазин за модули, сензори, дисплеи, развойни и прототипни платки, управление и контрол. (n.d.). <https://www.ardboard.com/>

Elimex. Елимекс, онлайн магазин за електроника, акумулатори и батерии, измервателни уреди, LED крушки, озвучение. Бърза доставка. (n.d.). <https://elimex.bg/>

3-Axis Magnetic Sensor QMC5883L. (n.d.). <http://wiki.sunfounder.cc/images/7/72/QMC5883L-Datasheet-1.0.pdf>

ULN2001, ULN2002 ULN2003, ULN2004. (n.d.-b). <https://www.st.com/resource/en/datasheet/uln2001.pdf>