

**Bartłomiej Arkuszyński, Krzysztof Lichy**

Instytut Informatyki Politechnika Łódzka

Wólczańska 215 , 90-924 Łódź

email: krzysztof.lichy@p.lodz.pl

## **STEROWANIE TELESKOPEM ASTRONOMICZNYM Z WYKORZYSTANIEM RASPERRY PI**

Streszczenie – W artykule opisano autorski projekt i wykonanie systemu sterującego teleskopem astronomicznym przy wykorzystaniu możliwości komputera Raspberry PI. Opisane również zostały możliwości takiego rozwiązania wraz z perspektywami rozwoju oraz przeprowadzone testy.

Słowa kluczowe: Raspberry PI, astronomia, teleskop GO-TO, GPIO

### **1 Wstęp**

Obserwacja ruchu ciał niebieskich od tysięcy lat była ważnym aspektem rozwoju cywilizacji. Pozwalała nam określić czas, położenie, pory roku. Z czasem czysta ciekawość, chęć "eksploracji" kosmosu zachęcała do patrzenia w niebo. Niestety ludzki wzrok nie jest w stanie dostrzec wszystkiego. Dopiero wraz z wynalezieniem pierwszych teleskopów odkryto jak wielki może być wszechświat. Obserwacja nieba nie jest już tylko prostym zajęciem dla początkujących miłośników astronomii. Wiąże się z tym znajomość mapy nieba jak i działania teleskopu wraz ze statywem. W dzisiejszych czasach problem ten dosyć łatwo rozwiązać dokupując napęd, bądź system GO-TO. Pozwala on na automatyczne i wygodne sterowanie. Znajomość nieba staje się praktycznie nie potrzebna. Wystarczy odpowiednio ustawić względem osi ziemi teleskop z montażem po czym wskazać położenie.

Niniejszy artykuł opisuje wykonanie i zaprogramowanie takiego systemu przy wykorzystaniu komputera Raspberry PI.

### **2 Napędy do teleskopu i systemy GO-TO**

Współczesna elektronika i zmotoryzowane systemy sterowania dla teleskopów sprawiają że znajdowanie i śledzenie obiektów na niebie

staje się coraz prostsze [9]. Obecnie systemy sterowania przy wielu teleskopach są dołączane, albo można je kupić oddzielnie w zestawie do samodzielnego montażu. Większość z takich urządzeń wyposażona jest w małą przenośną klawiaturę (pilota) z wbudowaną bazą astronomiczną. Sterowanie teleskopem staje się równie proste co wpisywanie nazwy obiektu, który chcemy ujrzeć na klawiaturze.

Istnieją dwa podstawowe typy układów napędowych dla teleskopów. Napęd na jedną oś składa się z pojedynczego silnika przymocowanego do osi rektascensji w statywie. Zapewnia podstawowy tryb śledzenia i różne ustawienia prędkości. Dla okolicznościowych obserwacji astronomicznych taki napęd jest wystarczający. Napęd na dwie osie posiada dwa silniki przymocowane do obydwu osi (w przypadku paralaktycznego montażu jest to os rektascensji oraz deklinacji). Podobnie jak w przypadku pojedynczego zapewnia tryb śledzenia, ale także precyzyjną kontrolę teleskopu w każdym kierunku. Jest bardzo przydatny przy większych powiększeniach i istotny przy astrografii gdzie wymagany jest długi czas ekspozycji.

Największą popularnością w dzisiejszych czasach cieszą się systemy GO-TO (GoTo) [9]. Składają się z dwóch silników sterowanych cyfrowym obwodem. Dość często w skład wchodzi także GPS sprawiając że cały system, teleskop wraz z montażem można sterować automatycznie. Zasada działania jest bardzo prosta. Do urządzenia GoTo wprowadzamy podstawowe dane takie jak data, godzina (bądź są automatycznie pobierane) i współrzędne geograficzne. Teleskop ustawia się na 2 różne gwiazdy aby system wiedział "gdzie jest". Podczas tego procesu dokonuje się poprawek. System GO-TO służy i do śledzenia obiektów jak i sterowania teleskopem (namierzenia obiektów). Każdy ma wbudowaną, rozległą bazę danych obiektów astronomicznych.

### **3 Budowa urządzenia sterującego teleskopem**

W celu zbudowania urządzenia sterującego teleskopem z użyciem Raspberry Pi będzie potrzebne kilka elementów. Pierwszym i podstawowym elementem jest komputer Raspberry Pi. Następnymi silniki oraz ich sterowniki, odpowiednie źródła zasilania oraz okablowanie. Nie ulega żadnym wątpliwości, że przydatny będzie także statyw, na którym można to będzie zamontować i przetestować.

#### **3.1 Wybór statywu**

Użyty statyw posiada 2 miejsca na silniki dla każdej z osi [7]. Rozstawiony jest na regulowanym trójnogu. Jest wyposażony w pokrętła mikro ruchów, które pozwalają namierzać gwiazdy w precyzyjny sposób a także w śruby służące do regulacji wysokości montażu, poziomnicę,

odpowiednie miarki dla osi oraz bardzo ważny element, przeciwwagi. Służą one do wyrównania wagi z tubusem teleskopu, dzięki temu przy obrocie w osi rektascensji jest wymagany mały moment obrotowy, co pozwala na zastosowanie małych silników o niewielkim momencie. Na jeden pełny obrót pokrętki mikro ruchów teleskop obraca się o 2,5 stopnia.



Rys. 1. Montaż EQ5 – (<http://astromarket.pl/montazparalaktyczny-sky-watcher-eq5.html>)

### 3.2 Wybór silnika krokowego

Silnik jest bardzo ważną decyzją przy urządzeniu. Wybór w głównej mierze zależy od statywu na jakim będzie montowany. W tym przypadku będzie to montaż paralaktyczny z odważnikami jak pokazano powyżej. Sterowanie teleskopem może się odbywać przy pomocy różnych silników, niekoniecznie tylko jednym typem jak krokowe. W przypadku zastosowania silników DC potrzebny byłby także enkoder do pomiaru jego pozycji. Wydaje się, że najlepszym wyborem jest silnik krokowy ze względu na jego precyzję, dokładność oraz znajomość położenia wału. Założeniem w konstrukcji systemu sterowania jest możliwość sterowania teleskopami różnej wielkości a nawet możliwość zdjęcia systemu i zastosowania go do sterowania innymi urządzeniami w związku z tym wybrano silnik hybrydowy bipolarny.

Sterowanie powyższymi silnikami wymaga odpowiedniego sterownika który będzie w stanie kontrolować prąd o wartości natężenia 2A oraz odbierać sygnały z Raspberry Pi [4]. Takim sterownikiem jest moduł podwójny sterownik silnika L298.



Rys. 2. Moduł podwójny sterownika silnika L298 [5]

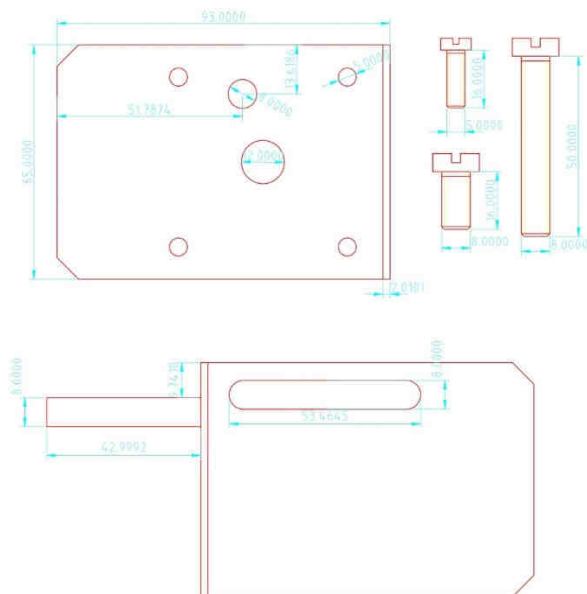
Sterownik jest w stanie obsłużyć jeden silnik krokowy lub dwa silniki DC. Posiada 6 głównych pinów odpowiedzialnych za logikę w sterowniku, oraz 7 wejść w terminalu odpowiedzialnych za silnik oraz jego zasilanie. Ma także zabezpieczenie przed przegrzaniem. Dozwolony prąd chwilowy sterownika to 4A.

Ponieważ Raspberry Pi jest wyposażony we własne zasilanie do zasilania silnika będzie potrzebny oddzielny zasilacz. Należy zwrócić uwagę, że GPIO komputera może tylko przekazać maksymalnie 5V natomiast silnik potrzebuje 7.2V. Warto przypomnieć, że z praktycznego punktu widzenia silnik krokowy nie potrzebuje dokładnie identycznych wartości napięcia i natężenia jakie ma stwierdzone w dokumentacji jest to pewne ułatwienie konstrukcyjne. Do sterownika podłączono zasilacz o napięciu 12V i natężeniu 2A. Wartości napięcia jest zbyt duża dla wybranych silników. W celu jej zmniejszenia należy użyć przetwornicy napięcia, na przykład [5].

### 3.3 Sposób zamontowania silników w statywie

W celu zamontowania urządzenia sterującego na teleskopie należało stworzyć odpowiednią obudowę, uchwyty, oraz zamontować zębatki. Następnie należy wykonać połączenie wszystkich komponentów elektronicznych.

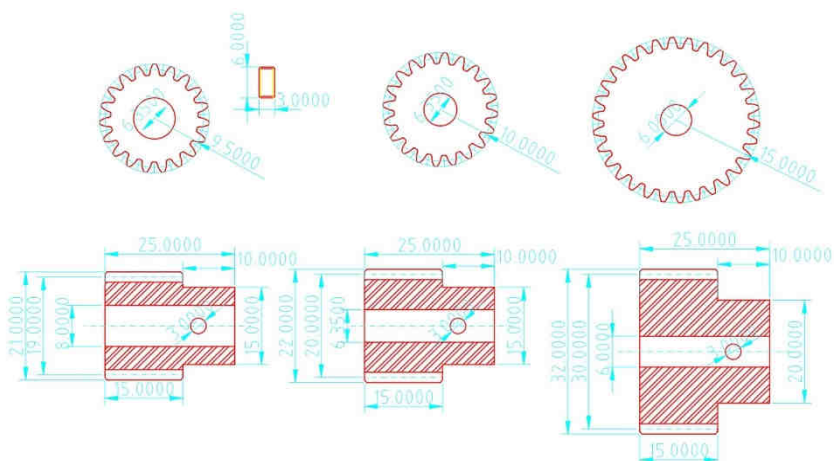
Ponieważ silnik który zostanie zastosowany jest ciężki i ma dość duże wymiary należy wykonać odpowiednio wytrzymały uchwyt. Odległość od osi mikro ruchów będzie dosyć duża dlatego trzeba będzie zastosować duże zębatki lub przekładnie. Zdecydowano się na opcję drugą i dorobiono przy uchwycie dodatkową oś.



Rys. 3. Uchwyt do silników wraz z śrubami

Silnik przymocowany jest do uchwytu przy pomocy śrub o średnicy 5mm a uchwyt do statywu z pomocą śrub 8mm, ich długość zależy od miejsca gdzie silnik będzie przymocowany. Dłuższa montuje uchwyt przy osi RA krótsza przy osi DEC.

Zębatki jakich użyto mają 19, 20 i 30 zębów tego samego typu uzębienia i długości. Każda zębatka ma niewielki nagwintowany otwór na wkręt M3.

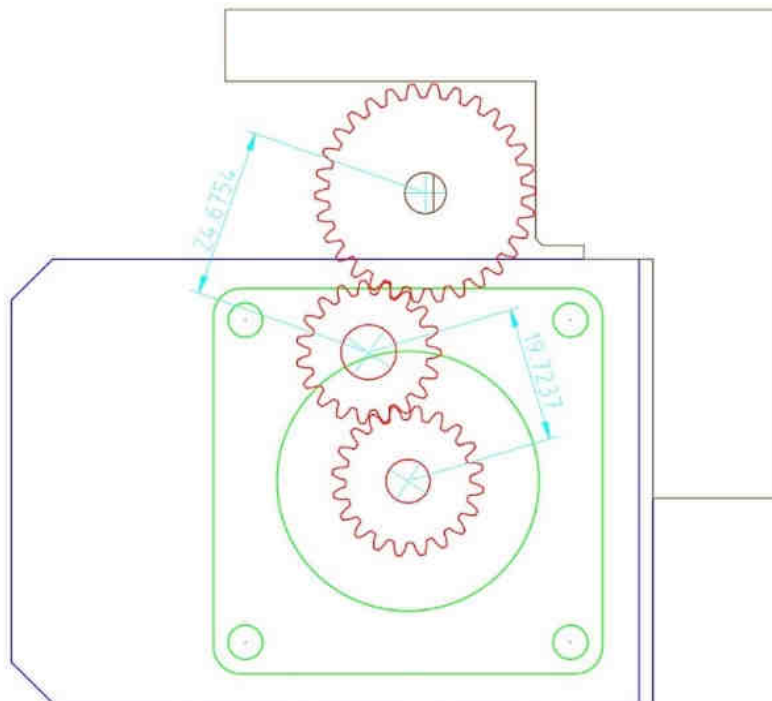


Rys. 4. Zębatki i śruba mocująca

Rysunek 5 przedstawia niewielki fragment teleskopu z zamontowanym uchwytem wraz z silnikiem i zębatkami. Przyjmując: Z1 - zębata na osi silnika (liczba zębów 20), Z3 - największa zębata umieszczona na osi mikroruchów teleskopu (liczba zębów 30), Z2 - zębata pośrednicząca (liczba zębów 19) możemy wyliczyć przełożenie:

$$i_{Z2/Z3} * i_{Z1/Z2} = \frac{19}{30} * \frac{20}{19} = \frac{2}{3} \quad (1)$$

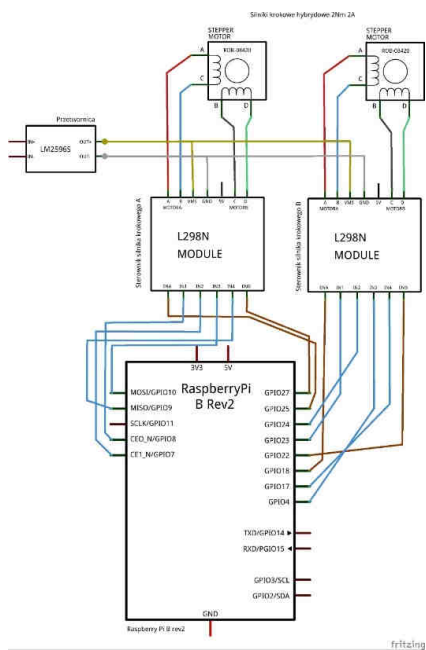
Oznacza to że przy jednym pełnym obrocie silnika zębata na osi teleskopu obróci się o wyliczoną wartość.



Rys. 5. Schemat przekładni

### 3.4 Połączenie elementów elektronicznych

Sterowniki silników są połączone z Raspberry Pi przy użyciu 12 pinów. Do sterowników doprowadzone jest zasilanie po przez przetwornicę napięcia dla silników.



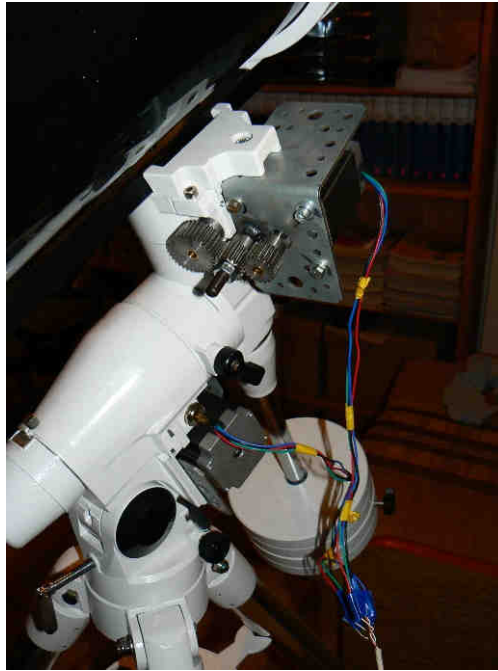
Rys. 6. Schemat połączenia urządzeń elektronicznych – (wykonany w programie Fritzing)

### 3.5 Gotowe urządzenie

Zmontowane urządzenie przedstawiono na poniższych zdjęciach.



Rys. 7. Zębátky przy osi RA



Rys. 8. Zębatki przy osi DEC



Rys. 9. Urządzenie wraz z obudową





Rys. 10. Teleskop wraz z zamontowanym urządzeniem

#### 4 Stworzone oprogramowanie

Programowanie mikrokontrolerów polega na wpisywaniu wartości do odpowiednich rejestrów w pamięci urządzenia. W przypadku Raspberry Pi należy najpierw uzyskać dostęp do pamięci BCM2835. W dokumentacji do BCM2835 [1] znajduje się mapa pamięci dla procesora. Jeżeli chcemy wykonywać jakiegokolwiek niskopoziomowe operacje związane z dostępem do rejestru należy znać ich adresy.

Aplikacja sterująca została napisana pod systemem Raspbian w języku C. Kod źródłowy dzieli się na kilka plików. Te posiadające w nazwie "stepper" odpowiedzialne są za konfigurację i sterowanie silnikami, "interface" za interfejs z użyciem Ncurses (rysowanie okien pobieranie danych) w terminalu, "astronomy" podstawowe funkcje astronomiczne, "log.conf" konfigurację logów. Wszystko to łączy się w pliku "main.c".

Interfejs programu został podzielony na 2 główne części. Menu do wyboru opcji oraz okno odpowiedzialne za wyświetlanie wszelkich informacji i danych. Reszta jest wypełniona przez tytuł i informacje o obsłudze menu. Aplikacja posiada minimalistyczny system logów. Po uruchomieniu program loguje ważne sytuacje w pliku "stepper.log" który zostaje utworzony w domyślnym folderze.

```

+-----+
| Sterowanie Teleskopem v1 |
+-----+
Menu:                               Info:
Podaj Hor. - podaj współrzędne horyzontalne
Podaj Row. - podaj współrzędne równikowe
Podaj Geo. - podaj współrzędne geograficzne
Wyswietl Czasy - pokazuje czas lokalny, GMT, GMST, LST, Julian Day
wszystkie Dane - pokazuje wszystkie współrzędne i czas GMT
Konf. silnikow - pokazuje pod jakie piny podpięte sa silniki
Poz. silnikow - Pokazuje pozycje silnikow z przeliczeniem na kat
Ster. reczne - sterowanie silnikami przy pomocy klawiszy
Ster. krokowe - sterowanie silnikami poprzez podanie ilosci krokow
Ster. czasowe - sterowanie silnikami przez okreslony czas w sec
Sledzenie - prosta funkcja sledzaca, niweluje ruch ziemski
Pomoc - obecne menu, Exit - wyjście z programu
Exit - Awaryjne wyjście = ESC

Uzyj klawiszy strzelek w gore lub dol, Wcisnij enter abyb wybrac

```

Rys. 11. Program z uruchomioną opcją „Pomoc”.

Wszystkie funkcje związane z astronomią znajdują się w pliku "astronomy.c". Program potrafi dokonywać prostych obliczeń na współrzędnych używanych w astronomii oraz oblicza takie wartości jak czas gwiazdowy, dzień juliański itp. Funkcje pełnią rolę prostego kalkulatora astronomicznego. Zastosowano formuły astronomiczne ze źródeł[3][2][6]. W obliczeniach zastosowano czas 24 godzinny zamiast czasu precyzyjnego między górowaniami gwiazd (23 godziny 56 minut i 4 sekundy) w związku z czym należy spodziewać się pewnych niedokładności w obliczeniach.

```

+-----+
| Sterowanie Teleskopem v1 |
+-----+
Menu:                               Info:
Podaj Hor.                          Czas lokalny:
Podaj Row.                          Mon Jan 12 17:11:07 2015
Podaj Geo.                          Czas GMT (greenwich mean time):
Wyswietl Czasy                      Mon Jan 12 16:11:07 2015
wszystkie Dane                      Czas GMST (greenwich mean sidereal time):
Konf. silnikow                      23:38:37
Poz. silnikow                      Czas LST (local sidereal time):
Ster. reczne                        0:58:37
Ster. krokowe                       Julian Day: 2457035.216053
Ster. czasowe
Sledzenie
Pomoc
Exit

Uzyj klawiszy strzelek w gore lub dol, Wcisnij enter abyb wybrac

```

Rys. 12. Program z uruchomioną opcją „Wyświetl czasy”.

## 4.1 Problem niwelacji ruchu ziemskiego

W celu śledzenia gwiazd na niebie w przypadku statywu paralaktycznego wystarczy sterować tylko jednym silnikiem z odpowiednią prędkością. Do jej znalezienia służy funkcja:

```
double przekladnia ( double Z1 , double Z2 , double Z3 , double jedenObrotTeldeg )
```

która wylicza opóźnienie z jakim musi działać silnik w celu niwelacji ruchu ziemskiego. Wartość ta jest następnie przekazywana do parametrów silnika w opcji "Śledzenie" programu która uruchamia wątek silnika i przez 1 minutę śledzi niebo.

Należy zwrócić uwagę, że nie sprawdzi się to w przypadku śledzenia "bliskich" obiektów (planet, Księżycy).

```
Sterowanie Teleskopem v1

Menu:
Podaj Hor.
Podaj Row.
Podaj Geo.
Wyswietl Czasy
wszystkie Dane
Konf. silnikow
Poz. silnikow
Ster. reczne
Ster. krokowe
Ster. czasowe
Śledzenie
Pomoc
Exit

Info:
kroki: --
opozn: 1999999
kieru: 1
typ: full
silnik: ra
czas: 15.000000

PositionRA: 5
PositionDEC: 0

Wspolrzedne rownikowe:
deklinacja: 71.217428 deg
rectascensja: 6.946698 h
Czas GMT (greenwich mean time):
Mon Jan 12 16:21:40 2015

Silnik jest w trakcie pracy!

Uzyj klawiszy strzelek w gore lub dol, Wcisnij enter abyb wybrac
```

Rys. 13. Program z uruchomioną opcją „Śledzenie”.

W takim przypadku wymagany jest jeszcze ruch w drugiej osi. Należy uwzględnić ruch tych obiektów. Wszystkie wartości podawane w programie są sprawdzane. Jedną z takich funkcji a zarazem najważniejszą sprawdzającą parametry przekazywane do sterowania silnika jest

```
int argumentsCheck (WINDOW * data , arguments arg )
```

gdzie kolejno każdy argument jest sprawdzany. W przypadku gdy jest niepoprawny program wyrzuci odpowiedni komunikat i każe ponownie

wprowadzić dane dopóki nie zostaną wprowadzone poprawne. Gdy silnik jest w trakcie pracy wyświetlany jest odpowiedni komunikat oraz zabroniony zostaje dostęp do funkcji sterujących silnika dopóki nie zakończy pracy.

```

Sterowanie Teleskopem v1
-----
Menu:
Podaj Hor.
Podaj Row.
Podaj Geo.
Wyświetl Czasy
wszystkie Dane
Konf. silnikow
Poz. silnikow
Ster. reczne
Ster. krokowe
Ster. czasowe
Śledzenie
Pomoc
Exit

Info:
kroki: 200
opozn: -20000 ZLE OPOZNIENIE!
kieru:
typ: |Podaj wartosci
silni |kroki:200
czas: |opozn.:10
      |kieru.:1
Positi |rodz ruch:full
Positi |silnik:ra
      |
      |Podpowiedz: 'ra','dec'
-----
Uzyj klawiszy strzelek w gore lub dol, Wcisnij enter aby wybrac

```

Rys. 14. Program z uruchomioną opcją „Ster krokowe” – komunikat błędu i podokno do pobierania argumentów.

W przypadku gdy znajdzie się jakakolwiek nagła potrzeba (awaria) zatrzymania programu wystarczy wcisnąć ESC. Program zatrzyma wszystkie operacje, zniszczy wątki jeżeli działały, wyczyści GPIO i zamknie się.

## 5 Testy i analiza wykonanego urządzenia

Siła z jaką należy obrócić teleskop wokół jednej z osi jest znikoma, ponieważ teleskop z odważnikami musi zostać wyważony. Dokonuje się to najpierw w osi deklinacji a następnie rektascensji. Jeżeli obrót teleskopu stanowi opór przy takich ustawieniach należy doprowadzić większy prąd do silników o ile jest to możliwe, albo zainstalować mocniejsze wersje.

Test silników bez obciążenia z użyciem biblioteki pigpio wykazał że dla opóźnień (gpioDelay) większych od 3000 mikrosekund silnik krokowy działa poprawnie, dla trybu pełnego kroku. W przypadku mniejszych wartości silnik zaczyna pracować nieregularnie, wolniej niż w przypadku wartości większych. Wiąże się to ze zbyt szybkimi impulsami i zbyt małym czasem do naładowania uzwojeń w silniku.

Przeprowadzono także test mikrokroków. Stworzono 5 mikrokroków na krok.

Przy szybkich prędkościach silnik tracił co pewien czas krok. Przy wolniejszych działał poprawnie. Program nie używa tego trybu, został zrealizowany tylko jako test.

W celu przetestowania silników przy telekopie najpierw go wyważono a następnie tubus z odważnikami i urządzeniem przechylono maksymalnie na bok. W tej pozycji jeżeli teleskop nie został poprawnie wyważony (albo nie ma odważników) może stanowić problem dla silników. W osi rektascensji przetestowano ruch z najniższego położenia do najwyższego dla opóźnień równych 50000, 20000, 12000, 9000, 5000, 4000 mikrosekundy. Przy opóźnieniach 5000, 4000 (dosyć szybki ruch) teleskop jako "całość" wykazywał pewne nieregularności. Ruch silnika był poprawny ale przypatrując się teleskopowi występowały niewielkie wahania całego statywu z teleskopem. Związane jest to z nie idealnym montażem silników - drgania uchwytu. Należy zwrócić uwagę na to że opóźnienia od 1000 - 5000 wprawiają silnik w dość szybki ruch. Dla opóźnienia 4000 mikrosekund jeden obrót (dla pełnego kroku, 1 krok =  $1.8^\circ$ ) jest wykonywany w ciągu 0.8 sekundy.

Szybkość przekazywanych wartości, impulsów przez sterownik jest wystarczają. Nie jest to sprzęt wymagający hard real-time (ostrzych ograniczeń czasowych). W przypadku gdy czas reakcji w systemie zostanie przekroczony teleskop straci cel za którym podążał. Tak więc urządzenie można uznać za off real-time (miękkie ograniczenia czasowe).

Ruch silników w programie jest realizowany przez 4 opcje. W danej chwili może być obsługiwany tylko jeden silnik. W przypadku opcji sterowania ręcznego ruch silnika odbywa natychmiastowo po wciśnięcie przycisku kierunku. Problemy powstają jeśli przycisk zostanie wciśnięty i przytrzymany silnik zaczyna pracować nieregularnie. Wiąże się to z obsługą przerwania przez Raspberry Pi. Dodając do wnętrza funkcji odpowiadającej za ruchu silnika linijkę kodu wyświetlającą informacje na ekranie sprawi, że silnik również zacznie pracować nieregularnie. W reszcie opcji po podaniu parametrów utworzony zostaje wątek o najwyższym priorytecie który wykonuje ruch silnikiem dopóki nie osiągnie żądanej ilości kroków bądź nie minie podana ilość czasu. Rysunek 15 Pokazuje że wątek istnieje i przydzielany mu jest najwyższy priorytet. W celu sprawdzenia czy silniki poprawnie funkcjonują oraz wartości są poprawne można skorzystać z programu piscope oraz poleceń w terminalu.

Program pełni także role kalkulatora astronomicznego (obliczanie współrzędnych). Obliczenia współrzędnych zostały porównane z wartościami z programu "Stellarium". Obliczenia dla zastosowań hobbyistycznych są poprawne.

Program operuje na wartościach double. W obliczeniach uwzględniano dzień równy 24 godziny kiedy dokładnie dzień trwa 23

godziny 56 minut i 4 sekundy. Powoduje to nieznaczny błąd w obliczeniach. Przekłada się to także na śledzenie. Proporcjonalnie do przybliżenia, teleskop będzie miał tendencję do rozkalibrowania się ze śledzonego celu po upływie odpowiedniego czasu

```
2181 root      20    0 55920 6892 6192 S    3.5  1.8  0:02.80 main
2191 root      rt    0 55920 6892 6192 S    1.8  1.8  0:00.03 main
2182 root      20    0 55920 6892 6192 S    6.7  1.8  0:11.78 main
```

Rys. 15. Rezultat polecenia `top -d 0.5 -H | grep main`.

## 6 Niezawodność systemu oraz koszt budowy

W systemie mającym za zadanie sterowanie teleskopem każdy z elementów odgrywa kluczową rolę. Każdy z nich może ulec awarii która będzie miała wpływ na sterowanie albo jego uniemożliwienie. Tabela 1 przedstawia możliwe awarie. Skutki awarii podzielono na "krytyczne" - uniemożliwiają dalszą pracę, "średnie" - w znacznym stopniu wpływają na komfort pracy bądź utrudniają pracę, "małe" awaria nieszkodliwa dla pracy urządzenia.

Awarie krytyczne:

- Awaria sterownika silnika krokowego przy osi RA. Wykrycie problemu może być trudne jeżeli nastąpił wewnątrz układu sterownika. Moduł posiada diody informujące o przepływie prądu. Na ich podstawie możemy stwierdzić czy silniki otrzymują prąd.
- Awaria silnika krokowego przy osi RA. Problem można wykryć przy pomocy multimetra sprawdzając uzwojenia.
- Jeżeli przetwornica napięć przestanie działać silniki nie będą dostawały wymaganego prądu (max do 7.2V i 2A). Problem można wykryć podobnie jak przy silniku.
- Awaria Raspberry Pi jako całości uniemożliwi pracę całego systemu.
- Jeżeli mamy do czynienia z częściową awarią GPIO bądź portu Ethernet awaria może być nie groźna i wpłynąć tylko na komfort pracy albo ją utrudnić.
- Karta SD bądź czytnik kart posiada system i oprogramowanie potrzebne do pracy systemu. Problem możemy wykryć poprzez obserwację jednej z diod przy Raspberry Pi.

Awarie średnie:

- Awaria sterownika silnika krokowego DEC i silnika osi DEC w znacznym stopniu mogą utrudnić pracę, jeżeli korzystamy z 2 silników do śledzenia (np. Księżyc). W przypadku

prostego śledzenia (niwelacji ruchu ziemskiego) wystarczy silnik przy osi RA.

Awarie małe:

- Brak lokalnego połączenia z Raspberry Pi wpływa wyłącznie na komfort pracy (brak dostępu do interfejsu poprzez SSH). Problem można wykryć poprzez sprawdzenie połączenia Raspberry Pi z komputerem (SSH) stosując narzędzia sieciowe.

Tabela. 1. Możliwe awarie urządzenia

Awaria	Skutki awarii
Sterownik silnika krokowego RA	KRYTYCZNE
Silnik krokowy przy osi RA	KRYTYCZNE
Sterownik silnika krokowego DEC	SREDNIE
Silnik krokowy przy osi DEC	SREDNIE
Przetwornica napięcia	KRYTYCZNE
Raspberry Pi	KRYTYCZNE
Karta SD	KRYTYCZNE
Port Ethernet	MAŁE

Koszt użytych elementów jest relatywnie niski w stosunku do możliwości zbudowanego urządzenia.

Tabela. 2. Całkowity koszt urządzenia

Element	Cena
Sterownik silnika krokowego x2	19,99 zł x2 = 39,98 zł
Silnik krokowy x2	93 zł x2 = 186 zł
Przetwornica napięć	5,99 zł
Raspberry Pi	159 zł
Zasilacz do Raspberry Pi	21,90 zł
Obudowa do Raspberry Pi	12,90 zł
Karta SD 8GB	21,90 zł
Zasilacz do silników	20,00 zł
Zestaw kabli + przewód IDC + kabel Ethernet	20,90 zł + 2,50 zł + 9,90 zł = 33,30 zł
Uchwyt i obudowa	około 90 zł
Całość	590,97 zł

## 7 Wnioski i możliwości rozwoju.

Zbudowane urządzenie jest stosunkowo niedrogim rozwiązaniem mającym duże możliwości, posiada również bardzo korzystny stosunek ceny do możliwości. Należy zwrócić jednak uwagę, że nie jest to urządzenie systemu czasu rzeczywistego. Najistotniejszym ograniczeniem jest system operacyjny Raspberry Pi. Dodatkowo silniki mogą tracić krok oraz może nastąpić awaria jakiegoś komponentu. Także dokładność sterowania może pozostawić do życzenia. Im większe powiększenie w teleskopie tymi większe prawdopodobieństwo rozkalibrowania teleskopu ze śledzonego obiektu. Także dokładność obliczeń wpływa na śledzenie.

Urządzenie jest rozwojowe i trwają prace modyfikacyjne. Projekt urządzenia można rozwijać dodając kamerę internetową do Raspberry Pi, dodając jeszcze jeden silnik odpowiedzialny za kontrolę ostrości przy obiektywie, ekran LCD. Największym atutem będzie jednak rozbudowanie urządzenia o żyroskop i/lub akcelerometr. System można zmodyfikować tak aby bardziej przypominał system czasu rzeczywistego. Program można rozbudować o większą ilość opcji i zwiększyć dokładności obliczeń i interfejs. Pozwoli to na przekształcenie całe urządzenie w system GO-TO.

## 8 Literatura

- [1] Broadcom BCM2835 ARM Peripherals, Broadcom Corporation
- [2] <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/GAST.php>
- [3] [http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/JD\\_Formula.php](http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/JD_Formula.php)
- [4] <http://electropark.pl/moduly-sterowniki-silnikow/2940-modul-podwojnysterownik-silnika-l298-5901002940002.html>
- [5] <http://electropark.pl/moduly-zasilania/2941-przetwornica-napiecia-dc-dclm2596s-step-down-5901002941009.htm>
- [6] <http://star-www.st-and.ac.uk/fv/webnotes/chapter7.htm>
- [7] Instrukcja dołączona do teleskopu
- [8] Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków, 2009
- [9] Teleskopy z systemami GOTO i GPS  
[http://www.teleskopy.pl/systemy\\_goto.html](http://www.teleskopy.pl/systemy_goto.html)
- [10] Wszolek B., Kuźmicz A - Elementy astronomii dla geografów,



## **CONTROL OF ASTRONOMICAL TELESCOPE USING RASPBERRY PI**

Summary – The article describes the author's design and performance of astronomical telescope control system using the computer Raspberry Pi. Also described the possibility of such a solution with prospects of development and tests carried out.

Keywords: Raspberry PI, astronomy, telescope GOTO, GPIO