

Pomiar promieniowania kosmicznego za pomocą detektora Cosmic Watch

Mikael Jaworowski, Jan Krzyżanowski, Wojciech Lulka, Wojciech Noskowiak
Opiekunowie: dr inż. Magdalena Kuich, mgr Adam Kubiela

Marzec 2022

Wstęp

Celem projektu było zbudowanie kilku detektorów Cosmic Watch, opracowanie oprogramowania umożliwiającego zbieranie i analizę danych z wielu detektorów podłączonych do jednego komputera (Raspberry Pi) oraz wykonanie pomiaru korelacji wskazań detektorów wykrywających promieniowanie kosmiczne. Wykorzystywany układ pomiarowy przedstawiono na rys. 1.



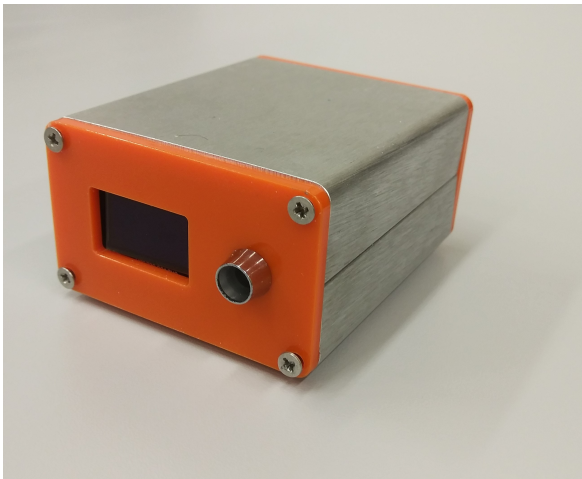
Rysunek 1: Układ pomiarowy składający się z czterech detektorów Cosmic Watch, Raspberry Pi i stacji dokującej USB używany do wykonania pomiarów

Hardware

Zadaniem osób zajmujących się częścią hardwarową projektu było złożenie detektorów Cosmic Watch oraz ich kalibracja. Gotowy pojedynczy moduł przedstawiono na rys. 2.

Budowa

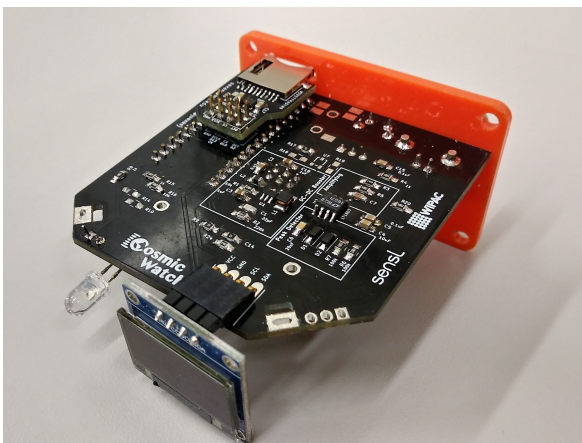
Detektor składa się z dwóch płytek: głównej (rys. 4 i 5) odpowiadającej za przetwarzanie rejestrowanych sygnałów oraz płytki detektora (rys. 3) odpowiedzialnej za rejestrację mionów. Na płytce głównej znajduje się: Arduino Nano, układ dostarczający odpowiednio wysokie napięcie (30 V) zasilające fotopowielacz, układ wzmacniający i kształtujący generowany przez niego sygnał. Na płytce detektora znajduje się scyntylator i fotopowielacz krzemowy (SiPM).



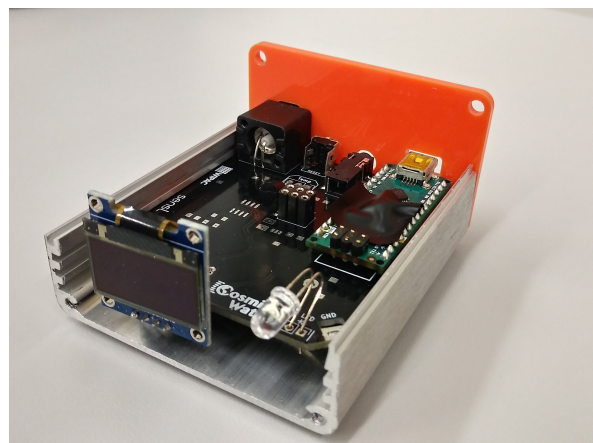
Rysunek 2: Detektor Cosmic Watch złożony w ramach projektu.



Rysunek 3: Płytki detektora oraz scyntylator (taki jak zamontowany na płytce); na płytce jest on umieszczony z tyłu i zabezpieczony taśmą w celu wyeliminowania zakłóceń



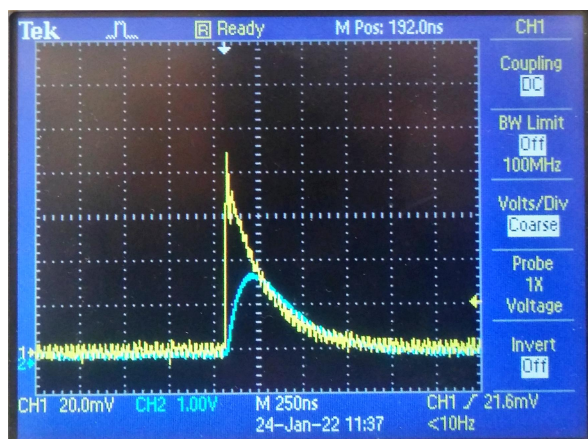
Rysunek 4: Płytki główna z widocznymi elementami elektronicznymi tworzącymi układ wzmacniający sygnał, zasilający fotopowielacz i czytnik kart SD.



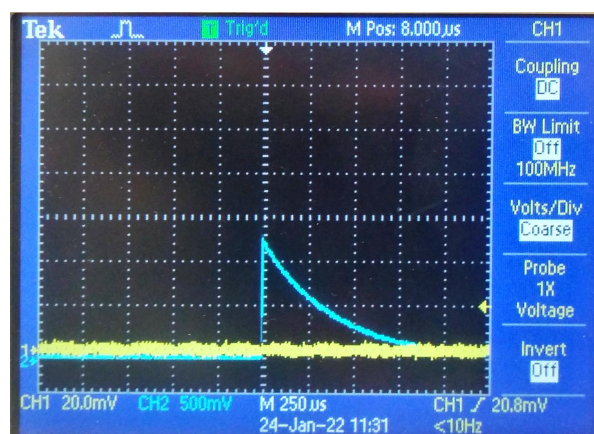
Rysunek 5: Płytki główna z widocznym Arduino Nano, wyświetlaczem i gniazdem płytki detektora.

Zasada działania

Oddziaływanie mionów ze scyntylatorem powoduje emisję fotonów, które są rejestrowane przez fotopowielacz. Uzyskany sygnał elektryczny jest następnie przekazywany na płytę główną. Przebieg takiego sygnału przedstawiono na rys. 6. Następnie sygnał jest wzmacniany i wydłużany tak, aby Arduino było w stanie go zarejestrować. Przebieg sygnału docierającego do Arduino przedstawiono na rys. 7.



Rysunek 6: Przebieg surowego sygnału z fotopowielacza (na żółto) i sygnału po wzmacnieniu (na niebiesko) na ekranie oscyloskopu; jak widać, skale napięcia są różne (20 mV dla surowego sygnału i 1 V dla wzmacnionego sygnału), dlatego sygnały wydają się podobne, choć w rzeczywistości ten po wzmacnieniu jest wielokrotnie silniejszy.



Rysunek 7: Przebieg sygnału podawanego na wejście Arduino wyświetlany na ekranie oscyloskopu (na niebiesko); jak widać, podstawa czasu jest znacznie większa niż w poprzednim przebiegu i dlatego nie widać surowego sygnału z fotopowielacza, który jest cały czas podawany na pierwszy kanał oscyloskopu (wyświetlanego na żółto).

Kalibracja

Po złożeniu detektorów potrzebna jest ich kalibracja. Detektory składane są ręcznie, więc każdy z nich ma trochę inną czułość: rejestrowane sygnały dla tego samego mionu mają inną wysokość oraz w zależności od jakości wykonania izolacji scyntylatora poziomy szumów także są różne dla każdego urządzenia. Dostarczone przez projektantów detektora oprogramowanie umożliwiało ustawienie poziomów rejestrowanych napięć uważanych przez Arduino jako jeden sygnał pochodzący od mionu. Należało dopasować je tak, aby detektory będące obok siebie rejestrowały mniej więcej tyle samo mionów oraz aby częstotliwość zliczeń była podobna i mieściła się między 1 Hz a 1,5 Hz (tyle powinno się ich obserwować w przypadku promieniowania kosmicznego).

Software

Zbudowane moduły Cosmic Watch miały komunikować się z Raspberry Pi w wersji 4, na którym miał działać program obsługujący je. Był on podzielony na dwie części: jedną

odpowiadającą za komunikację i drugą odpowiadającą za analizę wyników.

Komunikacja z modułami Cosmic Watch

Moduły Cosmic Watch podłączone są do Raspberry Pi poprzez stację dokującą USB, która ma własne zasilanie. Było to konieczne, ponieważ Raspberry Pi nie jest w stanie dać wystarczającej mocy na wyjściach, żeby zasilić kilka modułów jednocześnie. Komunikacja modułów z programem napisanym w Pythonie odbywała się na podstawie dwóch funkcji, pierwsza wykrywała wszystkie dostępne urządzenia, a druga, działająca w wielu wątkach jednocześnie (każdy odpowiadał jednemu modułowi) odbierała informacje odebrane na danym porcie USB i przekazywała je do kolejki wraz z czasem zarejestrowanym przez Pythona. Kolejki odczytywane następnie były przez program analizujący dane. W ten sposób nie trzeba było w żaden sposób modyfikować standardowego programu obsługującego moduły.

Analiza

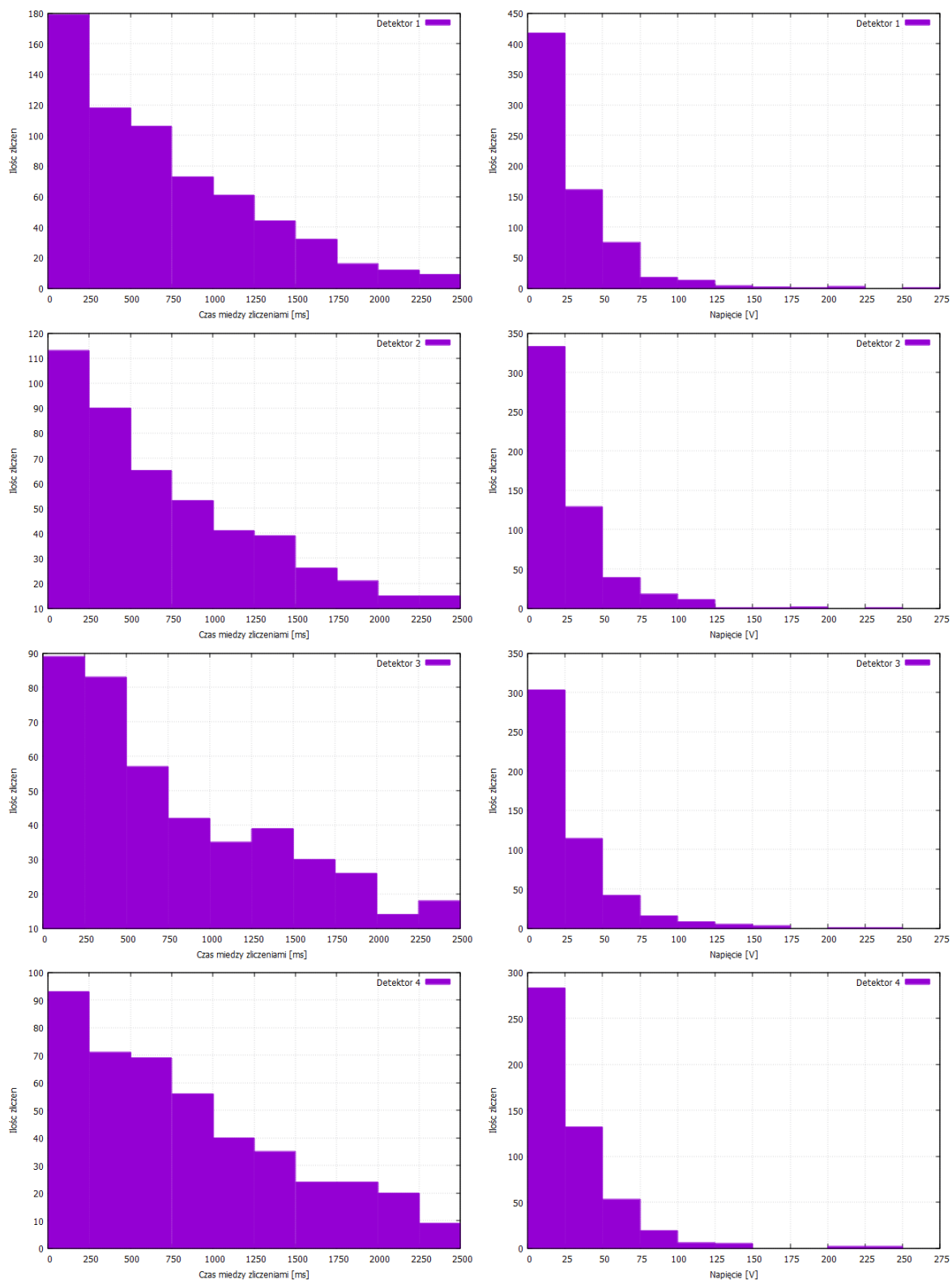
Funkcja analizująca wyniki działała w osobnym wątku. Odczytywała ona dane ze wszystkich kolejek i na podstawie tego, z której kolejki odczytano dane, wiadomo było, który detektor zarejestrował zdarzenie. Następnie te dane były analizowane na dwa sposoby: pierwszy, który miał obliczać średnie wartości niektórych parametrów dla poszczególnych detektorów oraz na drugi sposób, czyli wykrywanie jednoczesnych zdarzeń na wszystkich czterech detektorach. Pierwszy z nich, dla każdego detektora zapisywał zsumowaną wartość danego parametru, lub po prostu odczytywał dany parametr (jeśli Cosmic Watch automatycznie go sumował) oraz obliczał liczbę zdarzeń zarejestrowanych przez dany detektor. Drugi działał na podstawie listy ostatniego zarejestrowanego zdarzenia dla każdego detektora i jeśli zarejestrowane czasy zdarzeń były do siebie dostatecznie bliskie (10 ms) to program uznawał, że wszystkie cztery detektory zarejestrowały to zdarzenie jednocześnie.

Pomiar korelacji zliczeń i wyniki

Głównym celem eksperymentu z wykorzystaniem stworzonych narzędzi było porównanie ilości zliczeń zarejestrowanych na wszystkich czterech detektorach z ilością zliczeń rejestrowanych na pojedynczych detektorach. Program w ciągu 100 minut działania zarejestrował 25 zliczeń na wszystkich czterech detektorach jednocześnie, co daje jedno jednoczesne zliczenie na 4 minuty. Z kolei pojedyncze detektory rejestrują między 0.8, a 1.2 zdarzeń na sekundę. Tak więc, jak łatwo policzyć, pojedyncze detektory rejestrują między 200, a 300 więcej zdarzeń niż wszystkie 4 połączone jednocześnie.

Tabela 1: Mierzone średnie wartości parametrów

Uśredniana wartość	Detektor 1	Detektor 2	Detektor 3	Detektor 4
Napięcie [V]	32.603	33.617	33.78	34.395
Deadtime [ms]	209.702	289.344	285.18	56.841
Rate [zliczeń/s]	1.158	0.896	0.826	0.836



Rysunek 8: Wykresy przedstawiające histogramy pomiarów. Po lewej stronie wykres przedstawiający odległość czasową między kolejnymi zliczeniami, po prawej napięcie zmierzone przez detektor.