

Uruchomienie scentralizowanego systemu monitoringu urządzeń laboratoryjnych

***Borówka Sebastian, Nowakowski Jakub,
Ostasiuk Andrzej, Zdanowski Krzysztof
Opiekun: mgr Mateusz Mazelanik***

1. Motywacja

Nowoczesne układy optyczne często składają się z elementów czułych na parametry takie jak temperatura, wilgotność czy ciśnienie. Nieoczekiwane zmiany tych parametrów w zbyt dużym zakresie mogą prowadzić do utraty stabilności układu, a co za tym idzie, do trudności w zbieraniu prawidłowych pomiarów w takim układzie, a w skrajnym przypadku do uszkodzenia sprzętu laboratoryjnego.

Inspiracją do stworzenia projektu były trudności z uzyskaniem stabilności wyżej wymienionych parametrów w Laboratorium Pamięci Kwantowych znajdującym się w CeNT UW. Główną przyczyną okazał się niedoskonały system klimatyzacyjny. Sprzęt optyczny znajdujący się w laboratorium, a w szczególności lasery, jest bardzo czuły na warunki środowiskowe - wpływają one na jakość pomiarów, a także stanowią zagrożenie dla sprawności sprzętu, który często jest bardzo drogi. Szczególnie istotnym parametrem jest punkt rosy - temperatura, w której może rozpocząć się skraplanie gazu lub mieszaniny gazów (w tym przypadku pary wodnej z powietrza) przy ustalonym ciśnieniu i składzie. Skraplająca się woda może bezpośrednio wpływać na uszkodzenie elementów optycznych i elektroniki sterującej wieloma elementami wykorzystywanymi w laboratorium.

Wspomniane trudności zaowocowały koniecznością przygotowania systemu pozwalającego na monitorowanie oraz zapisywanie historii zmian warunków w laboratorium. Dodatkową niezwykle ważną funkcjonalnością, którą należało osiągnąć, była możliwość monitorowania owych parametrów zdalnie.

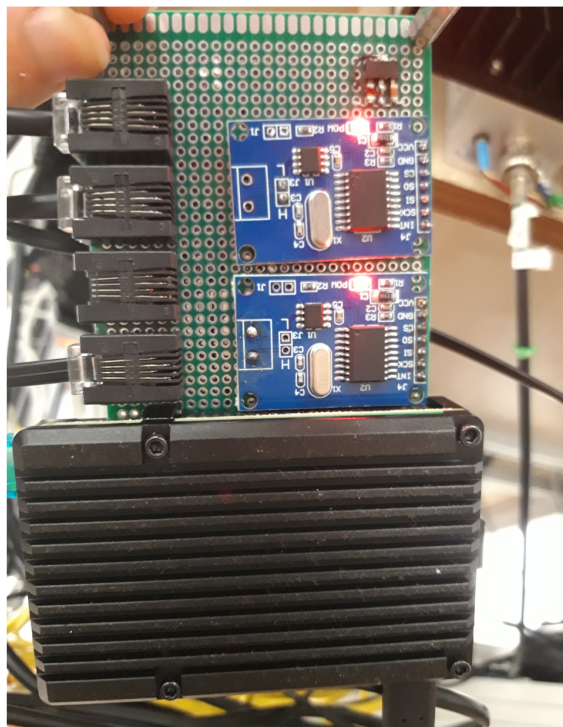
By sprostać powyższym wymaganiom, zaproponowano układ złożony z serwera z bazą danych oraz podłączonej do niego sieci czujników umieszczonych w różnych punktach w laboratorium. Zdecydowano się na przewodowy interfejs CAN - tani, niezawodny i spełniający wymagania potrzebnej przepustowości, a przy tym nie zaburzający pracy pozostałej aparatury badawczej. W interfejsie wykorzystana została także aplikacja Grafana, pozwalająca na analizę i graficzne przedstawianie zebranych danych.

2. Architektura systemu

I. Serwer z bazą danych, Grafana

Jako urządzenie serwerowe wykorzystywane jest Raspberry Pi 4 model B z systemem Raspbian Linux. Uruchomiona jest na nim baza InfluxDB, która jest specjalnym rodzajem bazy danych specjalizującej się w zapisie danych, które mają przebieg czasowy.

Do podglądu zapisanych danych wykorzystywana jest Grafana. Aplikacja ta tworzy stronę do wizualnego podglądu, między innymi danych zapisanych w bazie InfluxDB. Umożliwia ona tworzenie różnego rodzaju wykresów reprezentujących dane z bazy InfluxDB. Oprócz tego uruchomiony jest również program Telegraf będący dodatkiem do InfluxDB. Potrafi on automatycznie zbierać różnego rodzaju dane i zapisywać w bazie danych. Wykorzystywany jest do pobierania danych o pogodzie oraz parametrów pracy serwera.



Rys. 1 Serwer wraz z modułami interfejsu CAN

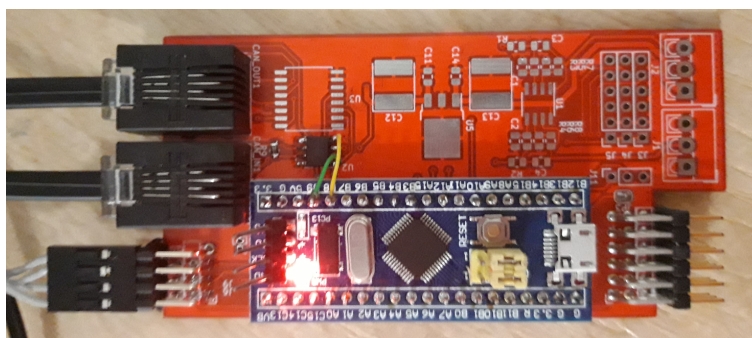


Rys. 2 Przykładowy podgląd mierzonych parametrów w aplikacji Grafana

II. Kontrolery czujników połączone interfejsem CAN

Kontrolery to moduły, na które składa się mikrokontroler STM32F103C8T6 (potocznie nazywany BluePill, sterujący działaniem i komunikacją układu pomiarowego), moduł czujnika (do którego obsługi mikrokontroler jest zaprogramowany w języku C++), 2 porty CAN (komunikacja i łączenie szeregowe kontrolerów) i układ TJA1050 (szybki nadajnik-odbiorca dla interfejsu CAN) na płycie obwodu drukowanego.

CAN to moduł architektury sieciowej krótkiego zasięgu, rzędu 40 metrów, z prędkością komunikacji rzędu 1 Mb/s. Możliwe jest szeregowe połączenie kilku kontrolerów w tej sieci, co bardzo ułatwia rozmieszczenie ich w różnych miejscach laboratorium. System ten jest tani i cechuje się niezawodnością oraz odpornością na zakłócenia.



Rys. 3 Płytkę kontrolera, zawierającą mikrokontroler obsługujący sensory oraz moduł do komunikacji poprzez CAN

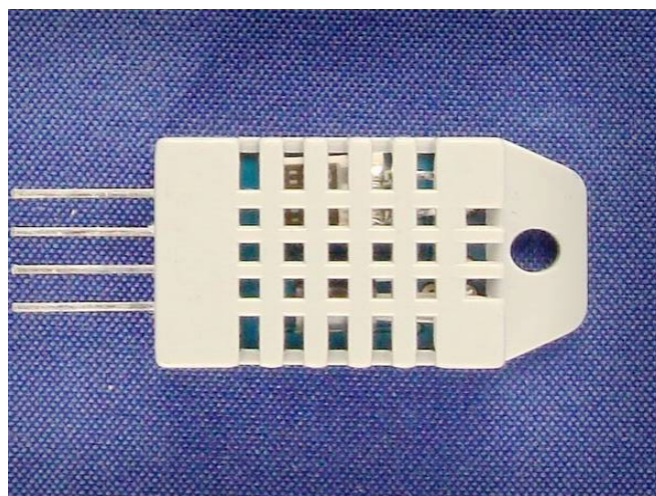
III. Inne urządzenia, skomunikowane siecią Ethernet

Oprócz sensorów, które używają komunikacji CAN, serwer zbiera też informacje od urządzeń, które mają inne sposoby komunikacji. W laboratorium znajduje się detektor pojedynczych fotonów ID281 Superconducting Nanowire oraz pompa jonowa do ultra wysokiej próżni. Dla tych urządzeń producent przewidział metodę pobierania parametrów pracy poprzez ethernet. Są one w ten sposób regularnie pobierane i zapisywane przez serwer przy wykorzystaniu skryptów w języku Python, które działają jako usługi systemowe serwera, co zapewnia ciągłość ich działania. Innym urządzeniem jest laser Spectra Physics MaiTai, dla którego napisano oprogramowanie, które w czasie działania oprogramowania obsługującego laser wysyła do bazy danych informacje o jego parametrach.

3. Opis czujników

I. Czujnik temperatury i wilgotności „humtemp”

Pierwszym czujnikiem wykorzystanym w systemie był czujnik DHT22 - moduł służący do pomiaru temperatury i wilgotności, gdzie sensory połączone są z wewnętrzną 8-bitową jednostką obliczeniową. Sensory są fabrycznie skonfigurowane, a współczynniki kalibracji zapisane są w pamięci wewnętrznej. Pomiar wilgotności oparty jest o kondensator polimerowy. Zakres pracy obejmuje 0-100% wilgotności względnej (RH) oraz temperatury od -40°C do 80°C. Dokładność pomiaru to +/-2% RH oraz poniżej +/-0.5°C, precyzja to +/-1%RH i +/-0.2°C, rozdzielczość 0.1% RH, a dla temperatury 0.1°C. Czas pomiaru to około 2s.



Rys. 4 Czujnik temperatury i wilgotności DHT22

II. Kontroler pomiaru temperatury i przepływu „flotemp”

Drugi kontroler został zaprogramowany do pomiaru temperatury oraz szybkości przepływu cieczy, z myślą o monitorowaniu układów chłodzenia. Jako czujniki wykorzystuje termometr DS18B20 w osłonie oraz czujnik przepływu YF-S201 lub YF-S402 (możliwy wybór w zależności od zakresu mierzonego przepływu). Kontroler pozwala na raportowanie pomiarów standardowo raz na sekundę.

Termometr DS18B20

Czujnik DS18B20 pozwala na pomiar temperatury w zakresie od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$, z deklarowaną dokładnością $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ w większości tego zakresu. Temperatura jest konwertowana w układzie scalonym termometru i zapisywana do pamięci jako 9 do 12 bitów (długość wpływa na dokładność i szybkość odczytu; w naszym zastosowaniu korzystaliśmy z 12-bitowej dokładności, co dawało szybkość raportowania co 750ms – mniej niż zakładana sekunda, więc wystarczająco szybko), skąd następnie może być odczytana i zinterpretowana przez kontroler.

Czujnik korzysta z interfejsu 1-Wire, co pozwala na obustronną komunikację po pojedynczym przewodzie, jak również podłączenie równolegle kilku czujników do tego samego przewodu (w praktyce do czterech, jednak należy liczyć się z utratą niektórych odczytów). Może być zasilany standardowymi napięciami 3.3V oraz 5V, co pozwala podłączyć go bezpośrednio do kontrolera.

Osłonka czujnika pozwala na bardziej stabilny pomiar, a dodatkowo zabezpiecza układ scalony przed potencjalną wilgocią, co jest istotne dla pomiarów temperatur poniżej punktu rosy. Ze względu na złożoność obsługi czujnika po interfejsie 1-Wire wykorzystano istniejącą już bibliotekę¹, udostępnioną w ramach wolnej licencji, napisaną z myślą o obsłudze przez podobny mikrokontroler STM32. Konieczne jednak było zportowanie, tzn. modyfikacja kodu umożliwiająca obsługę przez mikrokontrolery, którymi dysponowaliśmy, umożliwienie komunikacji kontrolera z innymi urządzeniami przez interfejs USB, a następnie CAN.

Ostatecznie mikrokontroler może przesyłać na serwer temperaturę z częstotliwością co sekundę oraz dokładnością $0,0625^{\circ}\text{C}$ (to dokładność cyfrowa, wyższa niż deklarowana faktyczna dokładność czujnika).

¹ https://github.com/lamik/DS18B20_STM32_HAL



Rys. 5 Termometr DS18B20 w osłonie

Czujnik przepływu YF-S201/YF-S402

Czujnik YF-S201 (YF-S402) pozwala na pomiar przepływu cieczy w deklarowanym zakresie od 1l/min do 30l/min (od 0,6l/min do 6l/min) z dokładnością $\pm 5\%$. Działanie czujnika opiera się na ruchu wirnika znajdującego się wewnątrz – ruch wirnika powoduje zwieranie przewodu danych z przewodem zasilającym i masą, czyli wysyłanie przez czujnik prostokątnego sygnału. Odpowiednio przeskalowana częstotliwość tego sygnału odpowiada szybkości przepływu cieczy.

Czujnik może być zasilany napięciem z zakresu 3.3-24V, co pozwala na zasilenie go bezpośrednio przez kontroler. Gwintowane zakończenia pozwalają na łatwą integrację czujnika w układzie chłodzenia.

Kontroler odczytuje w ciągu sekundy liczbę zboczy narastających i opadających sygnału prostokątnego wysyłanego przez czujnik i przelicza ją na średnią częstotliwość sygnału – dokładność wynosi 1 Hz ze względu na czas gromadzenia danych. Częstotliwość ta wysyłana jest na serwer, gdzie po pomnożeniu przez odpowiedni czynnik (różny w zależności od modelu czujnika YF-S201/YF-S402) daje przepływ w l/min. Takie rozwiązanie umożliwia łatwą integrację dowolnego czujnika przepływu działającego na tej samej zasadzie.



Rys. 6 Czujnik przepływu YF-S402

III. Analogowy miernik ciśnienia wody “DFRobot”

Kolejnym czujnikiem wykorzystanym w systemie był analogowy miernik ciśnienia wody firmy “DFRobot”. Czujnik obsługuje standardowe 5V napięcie wejściowe oraz napięcie wyjściowe w zakresie 0.5~4.5V. Prąd spoczynkowy czujnika wynosi 2.8mA. Czujnik posiada standardowe 3-pinowe okablowanie (Sygnał-VCC-GND).

Czujnik jest kompatybilny z wieloma mikrokontrolerami, w tym między innymi z wykorzystanym w naszym systemie kontrolerem Bluepill. W celu obsługi czujnika przez ten mikrokontroler niezbędne było skonfigurowanie w nim odczytu ADC.

Czujnik może obsługiwać ciśnienia cieczy w zakresie od 0 do 1.6 Mpa z dokładnością 0.5% w zakresie temperatur 0~55°C (w temperaturze wykraczającej poza zakres błąd pomiarowy może wzrosnąć do 1%). Poddanie czujnika ciśnieniu większemu niż 3 Mpa może prowadzić do jego uszkodzenia. Zakres temperaturowy pracy czujnika to -20~85°C. Elektroniczny czas odpowiedzi czujnika wynosi maksymalnie 2ms.



Rys. 7 Analogowy miernik ciśnienia wody “DFRobot” wykorzystany w systemie