Hands-on Linux Academy 2019

BEZPŁATNE WARSZTATY ▪ Interfejsy komunikacyjne/Serwer HTTP/Node.js – podstawy

NXP

SoMLabs

GDAŃSK 25 I

TECHDAYS

Hands-on Linux Academy 2019 – instrukcja

Witaj na szkoleniu *Hands-on Linux Academy 2019*! Niniejsze szkolenie zostanie poświęcone praktycznym aspektom wykorzystania najbardziej popularnych układów peryferyjnych i interfejsów komunikacyjnych (takich jak porty *GPIO*, magistrale *I2C, SPI* oraz *1-Wire*) w systemie operacyjnym *Linux* i jego aplikacjach w urządzeniach *embedded*. Część praktyczna szkolenia została podzielona na trzy części:

- **ćwiczenie 1** – zajęcia praktyczne rozpoczniemy od przygotowania karty SD z systemem dla komputera *VisionSOM-6ULL,* która posłuży nam do dalszej realizacji zadań. Prowadzący omówi proces wgrywania gotowego obrazu systemu na kartę SD z wykorzystaniem komputerów pracujących pod kontrolą systemów Linux oraz Windows. Czas oczekiwania - niezbędny na przygotowanie karty - zostanie poświęcony na krótkie omówienie zalet wykorzystania systemów operacyjnych w urządzeniach embedded. Ćwiczenie numer 1 zostanie zakończone uruchomieniem komputera *VisionSOM*, zalogowaniem do terminala systemowego i krótkiego omówienia konfiguracji sieci (komputer *VisionSOM* działający w trybie *Access Point*), niezbędnej do realizacji dalszych zadań.

- **ćwiczenie 2** – w tej części szkolenia uczestnicy zostaną zapoznani z teoretyczną i praktyczną obsługą wyprowadzeń GPIO oraz magistral I2C/SPI/ 1-Wire. Omówiona zostanie obsługa wyprowadzeń GPIO z poziomu konsoli systemu, skryptów powłoki oraz prostych aplikacji w języku C (z wykorzystaniem interfejsu */sys/class/gpio* oraz podsystemów *gpio-leds* oraz *gpio-keys*). Następnie, na przykładzie aplikacji w języku C oraz skryptów powłoki, omówione zostaną aspekty programowej obsługi interfejsów I2C, SPI oraz 1-Wire w przestrzeni użytkownika.

- **ćwiczenie 3** – w ćwiczeniu tym przedstawiona zostanie możliwość prostego i szybkiego tworzenia bardziej rozbudowanych projektów sprzętowo-programowych z wykorzystaniem bibliotek gotowego i darmowego oprogramowania. Wykorzystując wyłącznie minimalną funkcjonalność środowiska uruchomieniowego *Node.js* oraz biblioteki *Three.js*, przygotujemy prosty serwer WWW umożliwiający sterowanie wyprowadzeniami GPIO oraz prezentujący wyniki danych pomiarowych - odczytanych z modułu żyroskopu - w postaci animowanej kostki 3D.

Łączny czas trwania praktycznej części szkolenia to około 5 godzin. Ze względu na szeroką tematykę poruszanych zagadnień, na potrzeby niniejszego szkolenia przygotowano dedykowany obraz systemu dla karty SD, zawierający odpowiednio skonfigurowane jądro systemu Linux oraz kody źródłowe wszystkich przykładów prezentowanych w ramach warsztatów. Niniejsza instrukcja stanowi wyłącznie podsumowanie zagadnień omawianych w ramach warsztatów i zbiór zadań do wykonania przez jego uczestników – dodatkowe szczegóły teoretyczne, praktyczne wskazówki i informacje dotyczące poszczególnych etapów zostaną przekazane przez prowadzącego ćwiczenia, który wraz z uczestnikami wykona i omówi wszystkie zagadnienia. Zaczynajmy!

ĆWICZENIE 1
Przygotowanie karty SD z systemem dla modułu VisionSOM-6ULL oraz konfiguracja urządzenia do pracy w trybie Access Point.

Firma *SoMLabs* - producent komputerów z serii *VisionSOM* z procesorem *NXP i.MX6ULL* - w zależności o typu zainstalowanej pamięci, udostępnia trzy różne wersje konfiguracji sprzętowej modułów:

- moduł z pamięcią typu *eMMC*,
- moduł z pamięcią *NAND Flash*,
- oraz moduł z gniazdem karty *micro-SD*.

Wszyscy uczestnicy warsztatów *Hands-on Linux Academy* zostali wyposażeni w płytkę bazową *VisionCB-STD* oraz moduły *VisionSOM-6ULL* z zainstalowanym gniazdem karty micro-SD, tak więc niniejsze warsztaty rozpoczniemy od odpowiedniego przygotowania karty SD.

Obraz karty SD w postaci archiwum *linux-academy-2019.zip*, zawierający odpowiednio skonfigurowany system na potrzeby niniejszego szkolenia, został udostępniony do pobrania pod adresem:

http://ftp.somlabs.com/Trainings/Hands-on-Linux-Academy-2019/linux-academy-2019.zip

Po pobraniu oraz rozpakowaniu pliku, możemy przystąpić do wgrania obrazu systemu *linux-academy-2019.img* na kartę micro-SD. Kartę umieszczamy w dołączonym do zestawu czytniku kart, a następnie podłączamy do gniazda USB w komputerze PC. W zależności od typu wykorzystywanego systemu operacyjnego, poniżej przedstawiono dwie alternatywne metody przygotowania karty SD w systemach operacyjnych Linux (punkt 1.1) oraz Windows (punkt 1.2).

1.1. Przygotowanie karty SD w systemie operacyjnym *Linux*

Jedną najprostszych metod zapisania obrazu z pliku *linux-academy-2019.img* na karcie SD jest wykorzystanie linuksowego narzędzia `dd`. Ogólna składnia polecenia `dd` może zostać przedstawiona następująco:

```
dd if=<pliku_wejściowy> of=<plik_wyjściowy> <dodatkowe opcje>
```

Plik wejściowy polecenia (`if` – ***I**nput **F**ile*) będzie stanowił pobrany w uprzednim kroku obraz systemu *linux-academy-2019.img*. Plik wyjściowy (`of` – ***O**utput **F**ile*) to umieszczona w czytniku i podłączona do komputera karta SD, która jest reprezentowana w systemie jako plik w katalogu */dev*. W celu zweryfikowania, który wpis jest odpowiedzialny za podłączone urządzenie, korzystając z terminala systemowego wydajmy polecenie:

```
dmesg
```

które wyświetla komunikaty wypisywane w buforze komunikatów jądra, w tym informacje o ostatnio podłączonych urządzeniach, np:

```
[21870.506727] sdb: sdb1 sdb2
[21870.509486] sd 1:0:0:0: [sdb] Attached SCSI removable disk
```

W powyższym przypadku, wpis */dev/sdb* odnosi się do całej karty SD, natomiast wpisy */dev/sdb1*, */dev/sdb2*, *dev/sdbX*, do kolejnych partycji urządzenia - o ile zostały utworzone.

*Uwaga! Polecenia dd używamy korzystając z praw administratora, tak więc należy się bezwzględnie upewnić, że wprowadzono poprawną wartość dla pliku wyjściowego. Błędnie określenie wyjścia (np. zamiana wpisu /dev/sdb na /dev/sda), może spowodować nadpisanie danych na głównym dysku użytkownika. Z powodu częstych pomyłek, akronim narzędzia dd jest często rozwijany do „**d**estroy **d**isk" lub „**d**elete **d**ata".*

Alternatywną formą sprawdzenia wpisu w katalogu */dev*, do którego została przypisana nasza karta SD, jest wykorzystanie narzędzia `df` (z ang. ***D**isk **F**ree*). Narzędzie to jest prostą aplikacją wyświetlającą informacje o wolnym miejscu na wszystkich zamontowanych systemach plików:

```
df -h
```

Wśród wyświetlonych wpisów łatwo zlokalizujemy ten odpowiedzialny za kartę SD:

```
Filesystem      Size  Used Avail Use% Mounted on
dev             7.8G     0  7.8G   0% /dev
/dev/sda1       235G  164G   60G  74% /
tmpfs           7.8G  353M  7.5G   5% /dev/shm
tmpfs           7.8G  8.9M  7.8G   1% /tmp
/dev/sdc1       2.0G  1.8G  106M  95% /run/media/lskalski/sdcard
```

W przypadku wykorzystania czytnika kart wbudowanego w komputer PC, sterownik urządzenia może zarejestrować kartę SD w postaci pliku o nazwie /dev/mmcblk0.

Poprawne określenie pliku wyjściowego reprezentującego podłączoną do czytnika kartę SD, pozwala na ostateczne określenie formy polecenia `dd`:

```
sudo dd if=/path/to/linux-academy-2019.img of=/dev/sdX bs=4M oflag=dsync
```

Powyższe polecenie skopiuje obraz *linux-academy-2019.img* na wskazaną kartę SD. Dodatkowe parametry polecenia `dd` określają zapis w blokach po 4MB (`bs` - ***B**lock **S**ize*) w sposób synchroniczny (bez buforowania).

Uwaga! Jeżeli system plików z karty SD został zamontowany w systemie - a więc jest wyświetlany przez polecenie df - przed wykonaniem komendy dd, należy wydać polecenie umount dla wybranego pliku urządzenia, np.:

umount /dev/sdb1

Polecenie dd nie umożliwia nam monitorowania postępu zapisu danych na kartę SD, który w zależności od wielkości obrazu systemu może być dość czasochłonne. Wygodnym rozwiązaniem jest wykorzystanie narzędzia pv, który wyświetla informacje o postępie odczytu danych z pliku. Składnia polecenia z wykorzystaniem narzędzia pv, wygląda następująco:

pv linux-academy-2019.img | dd of=/dev/sdb bs=4M oflag=dsync

25.5MiB 0:00:02 [5.03MiB/s] [====>] 21% ETA 0:00:27

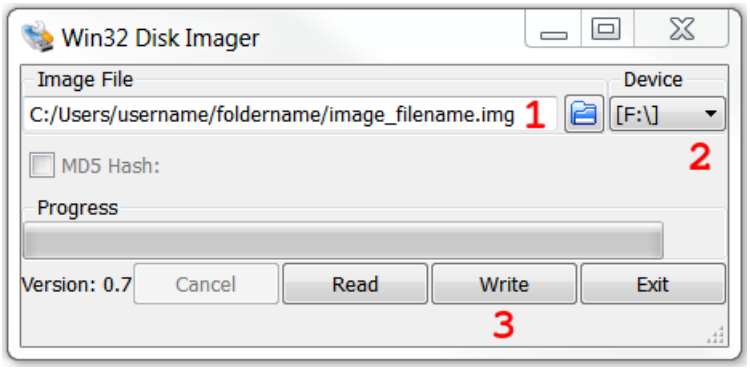
1.2. Przygotowanie karty SD w systemie operacyjnym *Windows*

Jedną z najprostszych opcji w przygotowaniu karty SD w systemie operacyjnym Windows jest wykorzystanie darmowego narzędzia *Win32DiskImager*, które jest dostępne do pobrania pod adresem:

https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/

Po umieszczeniu czytnika z kartą w slocie USB oraz zainstalowaniu i uruchomieniu oprogramowania *Win32DiskImager* użytkownik zostanie poproszony o (*Rysunek 1.2.1*):

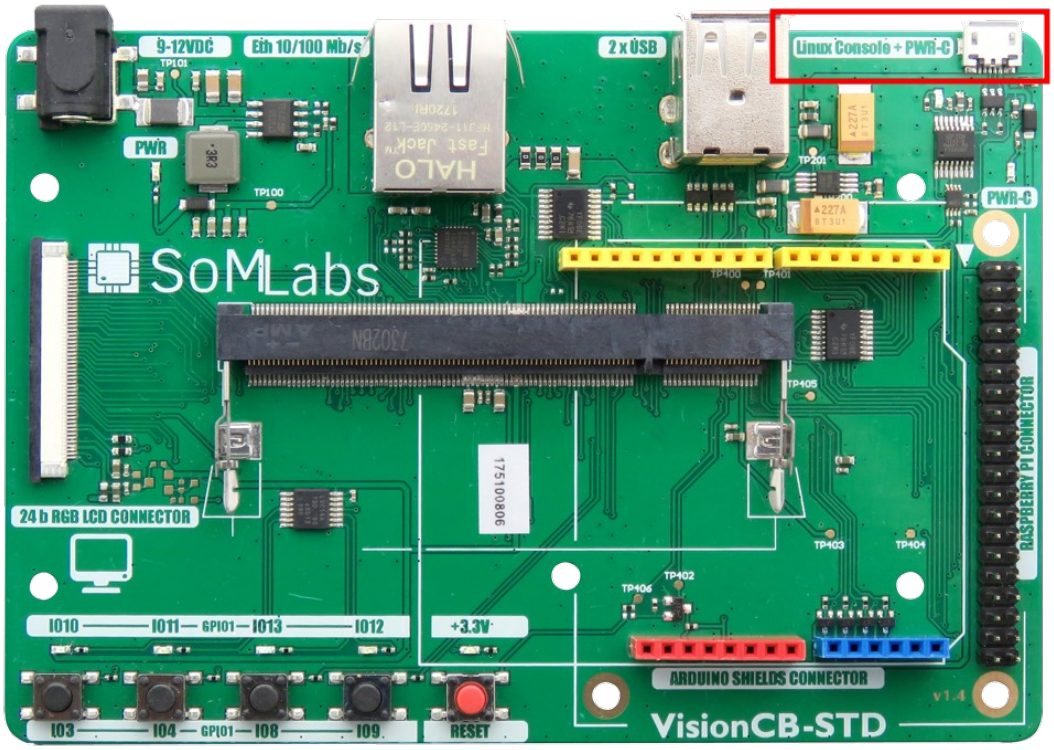
- (1) wskazanie ścieżki do pliku **.img* z obrazem systemu,
- (2) wskazanie urządzenia docelowego (wybieramy oznaczenie literowe dysku przypisane przez system do podłączonego czytnika kart SD),
- (3) przeprowadzenie operacji zapisu poprzez wybranie przycisku *Write*.



Rys. 1.2.1. *Główne okno aplikacji Win32DiskImager*

1.3. Uruchomienie płytki *VisionSOM-6ULL*

Po poprawnym przygotowaniu karty micro-SD i umieszczeniu jej w czytniku modułu *VisionSOM-6ULL*, możemy przystąpić do pierwszego uruchomienia zestawu. W tym celu łączymy komputer PC z modułem płytki za pomocą dołączonego kabla typu *USB A↔microUSB B*, wykorzystując gniazdo "*Linux Console + PWR-C*" - *Rysunek 1.3.1*.



Rys. 1.3.1. *Gniazdo USB – "Linux Console + PWR-C"*

Wyprowadzenie "*Linux Console + PWR-C*", pełni rolę gniazda zasilającego oraz jest podłączone do umieszczonego na płycie *VisionCB-STD* konwertera sygnałów UART↔USB. Aby uzyskać dostęp do konsoli systemu Linux, należy uruchomić dowolny program emulatora terminalu (np. *minicom*, *picocom*, *screen* w systemie Linux lub *Putty* w systemie Windows) z ustawieniami transmisji: **115200 8N1**. Jednym z najprostszych narzędzi dostępnych w większości dystrybucji systemu Linux, jest program `picocom`:

```
picocom -b 115200 /dev/ttyUSB0
```

Po otwarciu połączenia należy zalogować się na konto użytkownika **root** (bez hasła):

```
Debian GNU/Linux 9 localhost.localdomain ttymxc0

localhost login: root
root@localhost:~#
```

W przypadku systemu operacyjnego Linux i występujących problemów z nawiązaniem połączenia, należy upewnić się, że aktualnie zalogowany użytkownik posiada stosowane prawa odczytu/zapisu danego pliku urządzenia, tj: /dev/ttyUSB0, /dev/ttyACM0, itd.

1.4. Konfiguracja sieci – przygotowanie modułu do pracy w trybie AP

Opis przedstawiony w podpunkcie 1.4 ma charakter informacyjny – ta część instrukcji nie wymaga od uczestnika szkolenia wprowadzania modyfikacji w konfiguracji sieci – wszystkie poniżej opisane zmiany zostały już wprowadzone w dostarczonym obrazie systemu.

Na potrzeby niniejszego szkolenia oraz w celu łatwej konfiguracji modułu *VisionSOM* do pracy w trybie bezprzewodowego punktu dostępowego (WiFi AP), w stosunku do domyślnej konfiguracji sieci wprowadzono kilka zmian, których zwięzły opis przedstawiono poniżej:

- w docelowym obrazie zainstalowano sterowniki dla wbudowanego modułu *WiFi Murata 1DX*. Sterowniki te - w postaci skompresowanego archiwum - zostały udostępnione bezpośrednio na serwerach firmy *SoMLabs*. Pobranie sterownika i instalacja w systemie została zrealizowana za pomocą następującego zestawu komend:

```
cd /root
wget http://ftp.somlabs.com/visionsom-6ull-bcmfirmware.tar.xz

cd /
tar -xJf /root/visionsom-6ull-bcmfirmware.tar.xz
```

- w systemie, za pomocą narzędzia `apt-get`, zainstalowano pakiet `rfkill` (do zarządzenia stanem podłączonych w systemie urządzeń sieci bezprzewodowych), pakiet `hostapd` (do realizacji zadań punktu dostępowego) oraz pakiet `dnsmasq` (będący lekką implementacją serwera DHCP/DNS) :

```
apt-get install rfkill
apt-get install hostapd
apt-get install dnsmasq
```

- przed wprowadzeniem zmian w plikach konfiguracyjnych, za pomocą narzędzia `rfkill`, włączono w systemie wszystkie dostępne urządzenia sieci bezprzewodowych:

```
rfkill unblock all
```

- w konfiguracji sieci, w której to komputer *VisionSOM* pełni rolę bezprzewodowego punktu dostępowego, wykonuje on jednocześnie zadania serwera DHCP ze statycznie przypisanym adresem IP. W tym celu dokonano edycji pliku */etc/network/interfaces* w którym dodano statyczną konfigurację sieci dla interfejsu *wlan0*:

```
auto wlan0
iface wlan0 inet static
     address 192.168.1.1
     netmask 255.255.255.0
```

- dokonano również modyfikacji pliku konfiguracyjnego */etc/dnsmasq.conf* w którym zdefiniowano pulę adresów IP przydzielanych przez serwer DHCP (192.168.1.2-254) oraz czas ich dzierżawy:

```
interface=wlan0
dhcp-range=192.168.1.2,192.168.1.254,255.255.255.0,24h
```

- na ostatnim etapie konfiguracji, przełączono moduł WiFi do pracy w trybie AP (*Access Point*) – domyślnie moduł pracuje w trybie STA (*Station*), umożliwiającym podłączenie się do już istniejących sieci WiFi:

```
echo 2 > /sys/module/bcmdhd/parameters/op_mode
```

1.5. Konfiguracja, uruchomienie i test punktu dostępowego

Do finalnego uruchomienia punktu dostępowego wymagane jest przygotowanie pliku konfiguracyjnego *hostapd.conf* dla pakietu `hostapd`, w którym to pliku zostaną określone między innymi takie parametry sieci jak: nazwa (*SSID*), tryb pracy, kanał oraz ustawienia szyfrowania. Za pomocą polecenia `touch`, utwórzmy zatem pusty plik *hostapd.conf* w lokalizacji */etc/hostapd*:

```
touch /etc/hostapd/hostapd.conf
```

Za pomocą wybranego edytora (`vim` lub `nano`), w nowo utworzonym pliku `hostapd.conf` umieśćmy informacje o:

- nazwie interfejsu bezprzewodowego:

```
interface=wlan0
```

- identyfikatorze SSID oraz haśle dostępu do sieci:

```
ssid=<unikalny identyfikator sieci - do 32. znaków>
wpa_passphrase=<hasło - minimalnie 8 znaków>
```

- wybranym standardzie 802.11[x] pracy sieci oraz numerze kanału:

```
hw_mode=g
channel=11
```

- opcjach związanych z rozgłaszaniem identyfikatora sieci SSID:

```
ignore_broadcast_ssid=0
```

- oraz parametrów szyfrowania:

```
auth_algs=1
wpa=2
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
rsn_pairwise=CCMP
```

Programy vim i nano – dostępne domyślnie w niemal wszystkich dystrybucjach systemu Linux – to wysoce konfigurowalne i wydajne edytory tekstu, które jednak ze względu na swój ascetyczny interfejs, mogą sprawiać problemy początkującym użytkownikom. Aby uprościć wykonanie zadań z podpunktu 1.5, gotowy plik konfiguracyjny hostapd.conf oraz przykładowa strona index.html, mogą zostać przekopiowane do docelowych katalogów za pomocą poleceń:

cp ~/linux-academy/1-5/hostapd.conf /etc/hostapd/
cp ~/linux-academy/1-5/index.html /var/www/

Po zapisaniu zmian w pliku *hostapd.conf* możemy przystąpić do uruchomienia punktu dostępowego za pomocą polecenia:

```
hostapd -B /etc/hostapd/hostapd.conf
```

Powyższa komenda uruchomi program `hostapd` „w tle”, z opcjami wskazanymi w pliku konfiguracyjnym. Poprawne przygotowanie pliku konfiguracyjnego i uruchomienie punktu dostępowego zostanie potwierdzone komunikatem:

```
...
wlan0: interface state UNINITIALIZED->ENABLED
wlan0: AP-ENABLED
```

Korzystając z komputera PC lub urządzenia mobilnego, w gąszczu nowo utworzonych sieci WiFi, odszukajmy i połączmy się z siecią o zdefiniowanym identyfikatorze SSID.

Dla pełnego potwierdzenia poprawności wykonanych działań, korzystając z programu narzędziowego `busybox` oraz udostępnianego przez niego modułu `httpd` (będącego prostą implementacją serwera WWW), przetestujmy poprawność nawiązania połączenia z modułem *VisionSOM*. W tym celu, za pomocą polecenia:

```
mkdir /var/www
cd /var/www
```

utwórzmy nowy katalog, w którym umieścimy kod najprostszej strony internetowej. Kod źródłowy pliku *index.html*:

```
<html>
  <head>
     <h1> Hello! </h1>
  </head>
</html>
```

Po zapisaniu zmian w pliku *index.html*, możemy uruchomić serwer WWW z wykorzystaniem polecenia:

```
busybox httpd -f -h /var/www
```

Domyślnie serwer WWW nasłuchuje nadchodzących połączeń na porcie 80, tak więc korzystając z dowolnego urządzenia podłączonego do punktu dostępowego, możemy potwierdzić prawidłowość wykonanej konfiguracji, wpisując w pasku przeglądarki internetowej adres IP komputera *VisionSOM* (domyślnie – *192.168.1.1*).

ĆWICZENIE 2
Praktyczne wprowadzenie do Linux Embedded - obsługa portów GPIO oraz magistral I2C/SPI/1-Wire.

Ćwiczenie numer 2 rozpoczniemy od zapoznania się z jednym z najprostszych układów peryferyjnych (zarówno pod względem obsługi, jak i budowy) – portami *GPIO* (ang. ***G**eneral **P**urpose **I**nput/**O**utput* – wejścia/wyjścia ogólnego przeznaczenia). W kolejnych podpunktach niniejszego ćwiczenia, uczestnicy warsztatów zostaną zapoznani z programową obsługą magistral I2C, SPI oraz 1-Wire. Umiejętności nabyte na tym etapie są niezbędne do realizacji najprostszych systemów wbudowanych, pracujących pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. Przekonajmy się zatem czy naprawdę w Linuksie *„wszystko jest plikiem”*.

Programując „małe” 8-bitowe mikrokontrolery (bez wykorzystania systemów operacyjnych), wszystkie operacje wejścia-wyjścia realizowane są poprzez bezpośrednie operacje na rejestrach. Przed przystąpieniem do napisania programu, nieodzownym elementem jest wówczas dokładnie zapoznanie się z notą katalogową nowego mikrokontrolera. Po wykonaniu wszystkich zadań z ćwiczenia numer 2, warto zwrócić uwagę na fakt, że w jego treści nie umieszczono żadnych nazwy rejestru układu i.MX6ULL. Co więcej, wszystkie przygotowane kody źródłowe, można z powodzeniem uruchomić na dowolnych platformach z systemem Linux.

2.1. Sterowanie portami GPIO poprzez interfejs */sys/class/gpio*

W urządzeniach wbudowanych pracujących pod kontrolą systemu operacyjnego Linux, bezpośredni dostęp do układów peryferyjnych ma wyłącznie jądro systemu. Procesy pracujące w przestrzeni użytkownika mogą uzyskać dostęp do sprzętu wyłącznie z wykorzystaniem dedykowanych sterowników sprzętu. Dla portów GPIO, jądro systemu Linux udostępnia sterowniki wyjścia (podsystem *Led Class Driver*) oraz wejścia (podsystem *GPIO Buttons*). Alternatywnym rozwiązaniem - przydatnym zwłaszcza w pracach projektowych z wykorzystaniem płytek deweloperskich w których urządzenia takie jak diody LED i przyciski mogą być podłączane „ad hoc” - jest wykorzystanie ogólnego sterownika GPIO, od którego rozpoczniemy niniejsze ćwiczenie.

Ze względu na ograniczony czas trwania warsztatów, przygotowany obraz systemu zawiera odpowiednio skonfigurowane i skompilowane jądro systemu do wykonania wszystkich prezentowanych zadań – zagadnienia związane z konfiguracją jądra systemu i Device Tree zostaną omówione przez prowadzącego podczas trwania warsztatów.

Jednym z najprostszych i najbardziej generycznym sposobem sterowania portami GPIO jest wykorzystanie ogólnego sterownika GPIO (*sysfs gpio interface*). Interfejs ten umożliwia dostęp aplikacjom użytkownika do aktualnie nieużywanych (przez inny sterownik) linii wejścia-wyjścia. Włącznie wsparcia dla ogólnego sterownika GPIO wymaga przedstawionej poniżej konfiguracji jądra systemu:

```
Device Drivers --->
     -*- GPIO Support --->
          [*]/sys/class/gpio/...(sysfs interface)
```

Z poziomu przestrzeni użytkownika, dostęp do informacji udostępnianych przez sterownik jest realizowany poprzez szereg plików dostępnych w katalogu *sys/class/gpio*:

```
root@localhost:~# cd /sys/class/gpio/
root@localhost:/sys/class/gpio# ls -l
total 0
--w------- 1 root root 4096 Oct  1 19:40 export
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 19:40 gpiochip0
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 19:40 gpiochip128
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 19:40 gpiochip32
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 19:40 gpiochip64
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 19:40 gpiochip96
--w------- 1 root root 4096 Oct  1 19:40 unexport
```

Z punktu widzenia obsługi wyprowadzeń GPIO, do dwóch najważniejszych pozycji należą pliki *export* i *unexport*. Pliki te umożliwiają udostępnienie/zwolnienie wybranego wyprowadzenia do przestrzeni użytkownika, o ile w danej chwili nie jest ono wykorzystywane przez inny sterownik. Wyeksportowanie wybranego wyprowadzenia odbywa się poprzez zapis jego numeru porządkowego do pliku *export*, np:

```
root@localhost:~# echo 10 > /sys/class/gpio/export
```

Bliższe szczegóły dotyczące zasad nazewnictwa, numeracji wyprowadzeń GPIO, konfiguracji jądra systemu oraz Device Tree, zostaną omówione przez prowadzącego warsztaty.

Każda linia GPIO wyeksportowana do przestrzeni użytkownika reprezentowana jest przez katalog */sys/class/gpio/gpioX*, gdzie X określa numer porządkowy portu. Poleceniem `ls` wyświetlmy zatem zawartość katalogu reprezentującego, uprzednio wyeksportowane, wyprowadzenie *GPIO_10*:

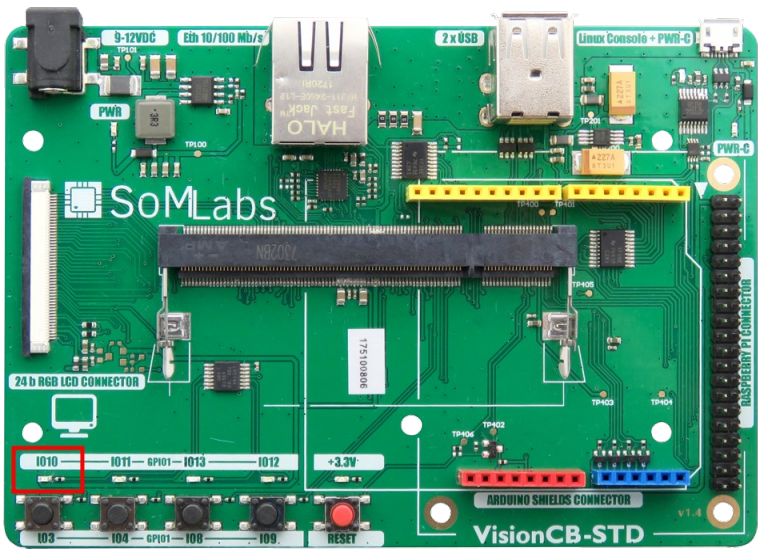
```
root@localhost:~# cd sys/class/gpio/gpio10
root@localhost:/sys/class/gpio/gpio10# ls -l
total 0
-rw-r--r-- 1 root root 4096 Oct  1 23:04 active_low
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 23:04 device
-rw-r--r-- 1 root root 4096 Oct  1 23:04 direction
-rw-r--r-- 1 root root 4096 Oct  1 23:04 edge
drwxr-xr-x 2 root root    0 Oct  1 23:04 power
lrwxrwxrwx 1 root root    0 Oct  1 23:04 subsystem
-rw-r--r-- 1 root root 4096 Oct  1 23:04 uevent
-rw-r--r-- 1 root root 4096 Oct  1 23:04 value
```

Ponieważ w Linuksie "wszystko jest plikiem", sterowanie wybranym portem GPIO realizowane jest poprzez zapis/odczyt plików umieszczonych w katalogu z oznaczeniem danego wyprowadzenia. Najważniejsze z nich to:

- plik *direction* – umożliwia sterowanie kierunkiem pracy danego wyprowadzenia (wejście/wyjście). Ustawienie kierunku pracy odbywa się poprzez zapis wartości `out` (dla wyjścia) lub `in` (dla wejścia) Dla przykładu:
  - port `gpioX` pracujący jako wyjście:
    ```
    echo out > /sys/class/gpio/gpioX/direction
    ```
  - port `gpioX` pracujący jako wejście:
    ```
    echo in > /sys/class/gpio/gpioX/direction
    ```
- plik *value* – jeżeli wyprowadzenie GPIO pracuje jako wyjście, wówczas zapis wartości 0 ustawia stan niski na wyjściu, natomiast zapis 1 - stan wysoki. W przypadku konfiguracji jako wejście, odczyt zawartości pliku umożliwia odczyt stanu logicznego linii:
  - ustawienie stanu niskiego na wyprowadzeniu `gpioX`:
    ```
    echo 0 > /sys/class/gpio/gpioX/value
    ```
  - odczyt stanu linii wejściowej `gpioX`:
    ```
    cat /sys/class/gpio/gpioX/value
    ```
- plik *edge* – umożliwia określenie zbocza sygnału jakie wyzwoli zgłoszenie zmiany stanu dla danego wyprowadzenia GPIO, skonfigurowanego jako wejście. Dopuszczane wartości to: `none`, `rising`, `falling` oraz `both`, np.:
  - wyzwolenie zboczem opadającym dla wejścia `gpioX`:
    ```
    echo falling > /sys/class/gpio/gpioX/edge
    ```

2.2. "*Hello World*" w świecie Embedded - sterowanie diodą LED [skrypt]

Krótki teoretyczny wstęp zawarty w podpunkcie 2.1, umożliwia nam przygotowanie pierwszego prostego skryptu powłoki, którego zadaniem będzie sekwencyjne miganie diodą LED, podłączoną w płycie bazowej *VisionCB-STD* do wyprowadzenia `GPIO1_10` – *Rysunek 2.2.1*.



Rys. 2.2.1. *Lokalizacja diody LED podłączonej do wyprowadzenia GPIO1_10*

Kompletne kody źródłowe dla wszystkich omawianych zagadnień zostały umieszczone w katalogu:

- */root/linux-academy/<numer_rozdziału>/*

Kod prostego skryptu powłoki *blink.sh*, przedstawiono na *Listingu 2.2.1*.

```
#!/bin/sh

LED=10
LEDDIR=/sys/class/gpio/gpio$LED

if [ ! -d "$LEDDIR" ]; then
  echo "Exporting GPIO$LED"
  echo $LED > /sys/class/gpio/export
else
  echo "GPIO$LED already exported"
fi

echo out > $LEDDIR/direction

while true ; do

  echo 1 > $LEDDIR/value
  sleep 1

  echo 0 > $LEDDIR/value
  sleep 1

done
```

Listing 2.2.1. *Prosty skrypt powłoki realizujący miganie diodą LED*

Uruchomienie skryptu *blink.sh*:

```
root@localhost:~# chmod +x /root/linux-acadaemy/2-2/blink.sh
root@localhost:~# /root/linux-acadaemy/2-2/blink.sh
```

2.3. "*Hello World*" w świecie Embedded - sterowanie diodą LED [język C]

Skrypty powłoki są wygodnym narzędziem do szybkiego prototypowania prostych aplikacji, jednak większość programistów związanych dotychczas ze środowiskiem mikrokontrolerów, w realizowanych projektach preferuje rozwiązania przygotowane w języku C. W ramach podpunktu 2.3 zaimplementujemy funkcjonalny odpowiednik skryptu *blink.sh* z wykorzystaniem języka C.

Jak już wiemy, sterowanie wyprowadzeniami GPIO poprzez interfejs */sys/class/gpio* odbywa się na zasadzie prostych operacji odczytu i zapisu wybranych plików. Tak więc przygotowanie aplikacji w języku C, w głównej mierze opierać się będzie na operacjach plikowych – ich otwieraniu, zapisie, odczycie i zamykaniu. Korzystając z funkcji systemowych `open()`, `write()`, `read()` oraz `close()`, w pliku */root/linux-academy/2-3/blink.c*, przygotujmy zestaw trzech funkcji umożliwiających:

- wyeksportowanie wybranego wyprowadzenia do przestrzeni użytkownika:

```
static int
gpio_export (unsigned int gpio)
{
  int fd, len;
  char buf[BUF_SIZE];

  fd = open (GPIO_DIR "/export", O_WRONLY);
  if (fd < 0)
    {
      perror ("gpio/export");
      return fd;
    }

  len = snprintf (buf, sizeof(buf), "%d", gpio);
  write (fd, buf, len);
  close (fd);

  return 0;
}
```

- zmianę kierunku pracy wyprowadzenia GPIO:

```
static int
gpio_set_direction (unsigned int gpio,
                    unsigned int direction)
{
  int fd;
  char buf[BUF_SIZE];

  snprintf (buf, sizeof(buf), GPIO_DIR "/gpio%d/direction", gpio);

  fd = open (buf, O_WRONLY);
  if (fd < 0)
    {
      perror ("gpio/direction");
      return fd;
    }

  if (direction)
    write (fd, "out", sizeof("out"));
  else
    write (fd, "in", sizeof("in"));

  close (fd);
  return 0;
}
```

- zmianę stanu na wyjściu wyprowadzenia GPIO:

```
static int
gpio_set_value (unsigned int gpio,
                unsigned int value)
{
  int fd;
  char buf[BUF_SIZE];

  snprintf (buf, sizeof(buf), GPIO_DIR "/gpio%d/value", gpio);
```

```
        fd = open (buf, O_WRONLY);
        if (fd < 0)
          {
            perror ("gpio/set-value");
            return fd;
          }

        if (value)
          write (fd, "1", 2);
        else
          write (fd, "0", 2);

        close (fd);
        return 0;
      }
```

Posiadając tak przygotowany zestaw funkcji, uzupełnienie ciała funkcji `main()`, sprowadza się do kilku linii kodu:

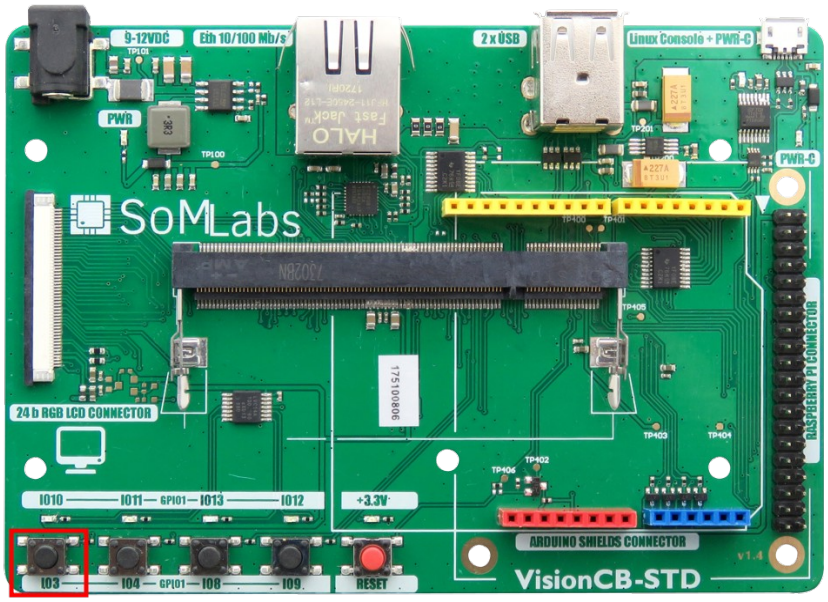
```
#define GPIO_PIN        10
#define GPIO_DIR        "/sys/class/gpio"
#define GPIO_IN         0
#define GPIO_OUT        1

int
main (void)
{
  if (gpio_export (GPIO_PIN) < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  if (gpio_set_direction (GPIO_PIN, GPIO_OUT) < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  /* infinite loop */
  while (1)
    {
      gpio_set_value (GPIO_PIN, 1);
      sleep (1);

      gpio_set_value (GPIO_PIN, 0);
      sleep (1);
    }

  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Korzystając z narzędzia `gcc`, wykonajmy kompilację kodu *blink.c*:

```
root@localhost:~# gcc blink.c -o blink
root@localhost:~# ./blink
```

2.4. Obsługa przycisku z wykorzystaniem funkcji systemowej *poll()*

W dotychczas zrealizowanych zadaniach nie wykorzystano jeszcze funkcjonalności dostarczanej przez plik */sys/class/gpio/gpioX/edge*. Praktycznie zastosowanie zostanie przedstawione na przykładzie obsługi przycisku umieszczonego na płycie *VisionCB-STD* i podłączonego do wyprowadzenia `GPIO1_3` – *Rysunek 2.4.1*.



Rys. 2.4.1. *Lokalizacja przycisku podłączonego do wyprowadzenia GPIO1_3*

Nie ma wątpliwości, że próba programowej obsługi przycisku - w której program w nieskończonej pętli czyta zawartość pliku */sys/class/gpio/gpioX/value* - jest rozwiązaniem nieoptymalnym (dodanie funkcji `sleep()` pomiędzy kolejne odczyty zmniejsza responsywność urządzenia, natomiast brak opóźnień pomiędzy odczytami, pochłonie zasoby CPU). Dobrym rozwiązaniem tego problemu jest konfiguracja wejścia GPIO z wykorzystaniem pliku */sys/class/gpio/gpioX/edge* oraz jednej z systemowych funkcji z tzw. grupy „zwielokrotnień wejścia/wyjścia”, czyli `poll()` lub `select()`. Takie połączenie, umożliwia programiście np. wstrzymanie wykonywania procesu do czasu zmiany stanu przycisku lub łatwe „wpięcie” obsługi przycisku do głównej pętli programu (np. w `GMainLoop` z frameworku `GLib`).

Bazując na kodzie */root/linux-academy/2-3/blink.c*, utwórzmy plik *button.c* w którym zaimplementujemy przerwaniową obsługę przycisku podłączonego do wyprowadzenia `GPIO1_3` (program będzie blokował swoje działanie do momentu wystąpienia opadającego zbocza).

Edycję pliku *button.c* rozpoczynamy od dodania kodu funkcji `gpio_set_edge()`, która pozwoli na konfigurację zbocza wyzwalającego przerwanie:

```
static int
gpio_set_edge (unsigned int  gpio,
               char         *edge)
{
  int fd;
  char buf[BUF_SIZE];

  snprintf (buf, sizeof(buf), GPIO_DIR "/gpio%d/edge", gpio);

  fd = open (buf, O_WRONLY);
  if (fd < 0)
    {
      perror ("gpio/edge");
      return fd;
    }
```

```
  write (fd, edge, strlen(edge) + 1);
  close (fd);

  return 0;
}
```

Konfiguracja funkcji systemowej `poll()`, której użyjemy w głównej pętli programu, wymaga przekazania zbioru deskryptorów, które będą przez tę funkcję "monitorowane" (funkcja `poll()` zostanie zablokowana do momentu gdy przekazane deskryptory plików będą gotowe do operacji wejścia/wyjścia lub dopóki nie zostanie przekroczony opcjonalnie określony limit czasowy). W realizowanym przykładzie do wywołania `poll()` przekazany zostanie deskryptor pliku `value`, który pobierzemy za pomocą generycznej funkcji `gpio_fd_open()`:

```
static int
gpio_fd_open (unsigned int gpio)
{
  int fd;
  char buf[BUF_SIZE];

  snprintf (buf, sizeof(buf), GPIO_DIR "/gpio%d/value", gpio);

  fd = open (buf, O_RDONLY | O_NONBLOCK );
  if (fd < 0)
    perror ("gpio/fd_open");

  return fd;
}
```

Na ostatnim etapie edycji pliku *button.c*, zmodyfikujmy również zawartość głównej funkcji `main()`:

```
int
main (void)
{
  struct pollfd fdset[1];
  int nfds = 1, fd, ret;

  if (gpio_export (GPIO_PIN) < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  if (gpio_set_direction (GPIO_PIN, GPIO_IN) < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  if (gpio_set_edge (GPIO_PIN, "falling") < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  fd = gpio_fd_open (GPIO_PIN);
  if (fd < 0)
    exit (EXIT_FAILURE);

  lseek (fd, 0, SEEK_SET);
  read (fd, &buf, BUF_SIZE);

  while (1)
    {
      memset (fdset, 0, sizeof(fdset));
      fdset[0].fd = fd;
      fdset[0].events = POLLPRI;
```

```
      ret = poll (fdset, nfds, -1);
      if (ret < 0) {
          printf ("poll(): failed!\n");
          goto exit;
        }

      if (fdset[0].revents & POLLPRI) {
          printf ("poll(): GPIO_%d interrupt occurred\n", GPIO_PIN);
          lseek (fdset[0].fd, 0, SEEK_SET);
          read (fdset[0].fd, &buf, BUF_SIZE);
        }
       fflush(stdout);
    }

exit:
  close (fd);
  return EXIT_FAILURE;
}
```

Korzystając z funkcji przygotowanych w podpunkcie 2.3, konfigurujemy wyprowadzenie `GPIO1_3` do pracy jako 'wejście'. Następnie, korzystając z funkcji `gpio_set_edge()`, do pliku `edge` wpisujemy wartość `falling` - zmiana stanu wyprowadzenie zostanie zgłoszona przy wystąpieniu zbocza opadającego. Poprzez funkcję `gpio_fd_open()` otwieramy i uzyskujemy deskryptor pliku `value`, który będzie niezbędny do konfiguracji funkcji systemowej `poll()`. Funkcja `poll()` jako pierwszy argument przyjmuje wskaźnik na tablicę struktur typu `pollfd`:

```
struct pollfd
{
  int fd;             /* deskryptor pliku             */
  short events;       /* zdarzenia oczekiwane         */
  short revents;      /* zdrzenia, które wystąpiły    */
}
```

W realizowanym przykładzie, w tablicy struktur `pollfd` umieścimy wyłącznie deskryptor pliku `value`, dla którego będziemy oczekiwać na zdarzenie `POLLPRI` ("istnieją pilne dane do odczytu"). Na zdarzenie to będziemy oczekiwać "w nieskończoność" – ostatni z argumentów wywołania funkcji `poll()` przyjmuje wówczas wartość -1. Finalna postać kodu dla wywołania systemowego `poll()`, będzie zatem wyglądać następująco:

```
struct pollfd fdset[1];
int nfds = 1;

fdset[0].fd = fd;
fdset[0].events = POLLPRI;

ret = poll (fdset, nfds, -1);
```

Po wciśnięciu przycisku, na linii `GPIO1_3` wygenerujemy zbocze opadające, a tym samym odblokujemy funkcję `poll()`. Za pomocą warunku:

```
if (fdset[0].revents & POLLPRI)
```

sprawdzamy, czy na danym deskryptorze wystąpiło zdarzenie `POLLPRI` (oczywiście sprawdzenie to jest zasadne wyłącznie wtedy, gdy tablica struktur `pollfd` zwiera więcej deskryptorów plików).

Wykorzystując narzędzia `gcc`, wykonajmy kompilację kodu *button.c*:

```
root@localhost:~# gcc button.c -o button
```

Oraz przetestujmy jego działanie (każde wciśnięcie przycisku powinno wygenerować komunikat o treści "*poll(): GPIO_3 interrupt occurred*"):

```
root@localhost:~# ./button
poll(): GPIO_3 interrupt occurred
poll(): GPIO_3 interrupt occurred
```

2.5. Obsługa przycisków z wykorzystaniem podsystemu *GPIO Buttons*

Jak wspomniano we wstępie do podpunktu 2.1, wykorzystanie generycznego interfejsu */sys/class/gpio* do sterowania pracą diod LED i przycisków jest zasadne w użyciu w przypadku prac badawczo-rozwojowych z płytkami deweloperskimi, w których konfiguracja sprzętowa nie została jeszcze jasno określona. W docelowych rozwiązaniach sprzętowych (w których określono już liczbę diod LED oraz liczbę przycisków i pełnione przez nie funkcje), zastosowanie znajdują dedykowane sterowniki wyjścia (podsystem *Led Class Driver*) oraz wejścia (podsystem *GPIO Buttons*). Bohaterem tego podrozdziału będzie sterownik *GPIO Buttons.*

Analogicznie jak w poprzednich podrozdziałach, konfiguracja jądra systemu oraz Device Tree została wykonana na etapie przygotowywania obrazu. Niniejsza instrukcja zawiera wyłącznie krótki opis konfiguracji jądra – szczegóły zostaną przedstawione w trakcie trwania szkolenia.

Konfigurację sterownika *GPIO Buttons* rozpoczynamy od jego włączenia w jądrze systemu:

```
Device Drivers --->
      Input device support --->
            [*] Keyboards --->
                  <*> GPIO Buttons
```

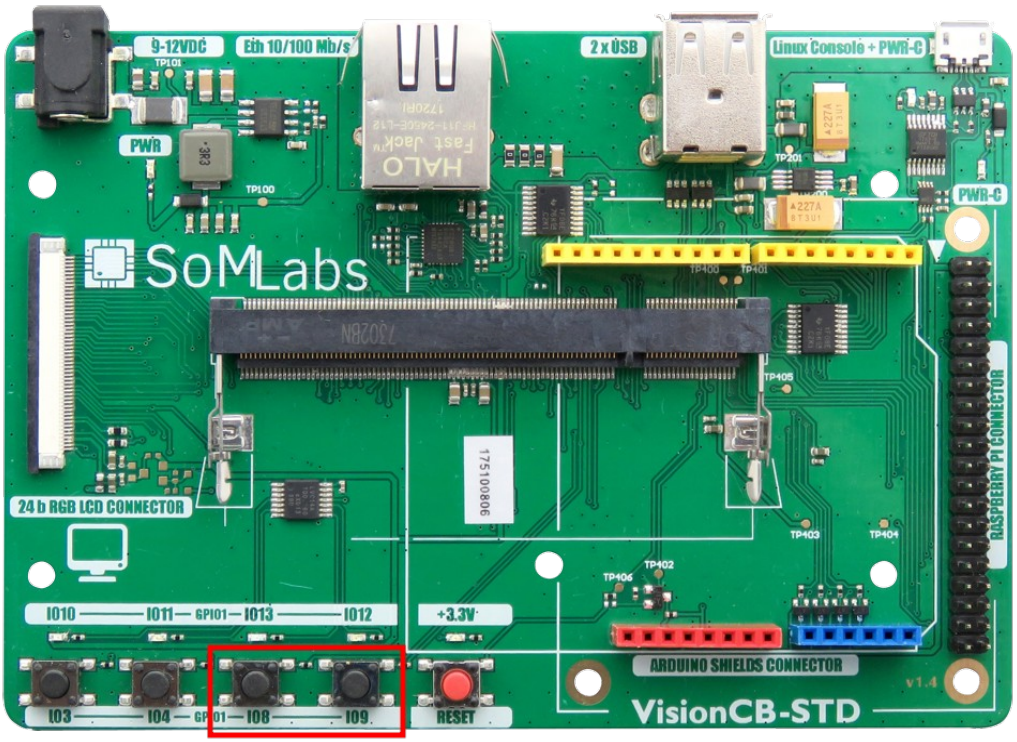
Niezbędne jest również włączenie tzw. interfejsu zdarzeń (*Event interface*) z podsystemu *Linux Input System*:

```
Device Drivers --->
      Input device support --->
            <*>Event interface
```

Do sterownika zostaną podłączone przyciski podpięte do wyprowadzeń `GPIO1_8` oraz `GPIO1_9`, których umiejscowienie na płycie *VisionCB-STD*, zostało przedstawione na *Rysunku 2.5.1*.

W opisie *Device Tree*, przyciskom `GPIO1_8` oraz `GPIO1_9` nadano odpowiednio oznaczenia `btn3` oraz `btn4` i przypisano funkcje `KEY_UP` oraz `KEY_DOWN`:

```
gpio-keys {
      compatible = "gpio-keys";
      pinctrl-0 = <&pinctrl_gpio_keys>;
      pinctrl-names = "default";

      btn3 {
            label = "btn3";
            gpios = <&gpio1 8 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
            linux,code = <103>; /* <KEY_UP> */
      };

      btn4 {
            label = "btn4";
            gpios = <&gpio1 9 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
            linux,code = <108>; /* <KEY_DOWN> */
      };
};
```



Rys. 2.5.1. *Lokalizacja przycisków podłączonych do wyprowadzeń GPIO1_8 i GPIO1_9*

Od strony procesu w przestrzeni użytkownika, dostęp do przycisków jest realizowany poprzez plik */dev/input/event1*. Bazując na informacjach z dotychczas zrealizowanych ćwiczeń, moglibyśmy łatwo wywnioskować, że odczyt tego pliku, np. poleceniem `cat`, będzie informował nas o stanie położenia przycisku (jeśli tak to którego – podłączonego do wyprowadzenia `GPIO1_8` czy `GPIO1_9`?). Przekonajmy się zatem:

```
root@localhost:~# cat /dev/input/event1
T
 ����T
      T
        
          ��T
```

Próba wykonania polecenia `cat` na pliku specjalnym */dev/input/event1* zakończy się odczytem "krzaków". Dlaczego? Zdarzenia informujące o wciśnięciu przycisku przekazywane są do przestrzeni użytkownika przez generyczny interfejs zdarzeń (*Event interface*). Każde z takich zdarzeń opisane jest strukturą `input_event`:

```
struct input_event {
      struct timeval time;
      unsigned short type;
      unsigned short code;
      unsigned int value;
};
```

Struktura ta, poprzez określone pola dostarcza procesom użytkownika informacje o czasie wystąpienia zdarzenia (pole `time`), typie zdarzenia (pole `type`), kodzie użytego przycisku (pole `code`) oraz jego aktualnym położeniu przycisku (pole `value`). Przykładowy kod programu, realizujący odczyt danych z pliku */dev/input/event1* oraz ich interpretację, został zaimplementowany w pliku */root/linux-academy/2-5/gpio-keys.c* oraz przedstawiony na *Listingu 2.5.1*:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <linux/input.h>

int
main (void)
{
  struct input_event ev;
  int size = sizeof(ev), fd;

  fd = open ("/dev/input/event1", O_RDONLY);
  if (fd < 0)
    {
      printf ("Open /dev/input/event1 failed!\n");
      return EXIT_FAILURE;
    }

  while (1)
    {
      if (read(fd, &ev, size) < size)
        {
            printf ("Reading from /dev/input/event1 failed!\n");
            goto exit;
        }

      if (ev.type == EV_KEY)
        {
         if (ev.code == KEY_DOWN)
          ev.value ? printf("KEY_DOWN:release\n") : printf("KEY_DOWN:press\n");
         else if (ev.code == KEY_UP)
          ev.value ? printf("KEY_UP:release\n") : printf("KEY_UP:press\n");
         else
          puts ("WTF?!");

        } /* ev_key */
    } /* while */

exit:
  close (fd);
  return EXIT_FAILURE;
}
```

Listing 2.5.1. *Zawartość pliku /root/linux-academy/2-5/gpio-keys.c*

Wykonajmy kompilację kodu */root/linux-academy/2-5/gpio-keys.c*:

```
root@localhost:~# gcc gpio-keys.c -o gpio-keys
```

Oraz przetestujmy poprawność jego działania:

```
root@localhost:~# ./gpio-keys
KEY_UP: press
KEY_UP: release
KEY_DOWN: press
KEY_DOWN: release
```

2.6. Obsługa diod LED z wykorzystaniem podsystemu *LED Class Driver*

Ze względu na bardzo duże podobieństwo programowej obsługi sterownika LED Class Driver oraz /sys/class/gpio, dla podpunktu 2.6 nie przygotowano wyodrębnionego kodu źródłowego. Konfiguracja jądra, DT oraz obsługa sterownika w przestrzeni użytkownika (w tym konfiguracja tzw. wyzwalaczy) zostanie przedstawiona przez prowadzącego podczas sesji warsztatów.

[1] Konfiguracja sterownika *LED Class Driver* w jądrze systemu:

```
Device Drivers --->
      [*] LED Support --->
        <*> LED Class Support
        <*> LED Support for GPIO connected LEDs
```

[2] Konfiguracja wyzwalaczy dla sterownika *LED Class Driver*:

```
Device Drivers --->
      [*] LED Support --->
        <*> LED Trigger Support
          <*> LED Heartbeat Trigger
          <*> LED CPU Trigger
          <*> LED Default ON Trigger
```

[3] Fragment opisu *Device Tree* definiujące podłączone diody LED:

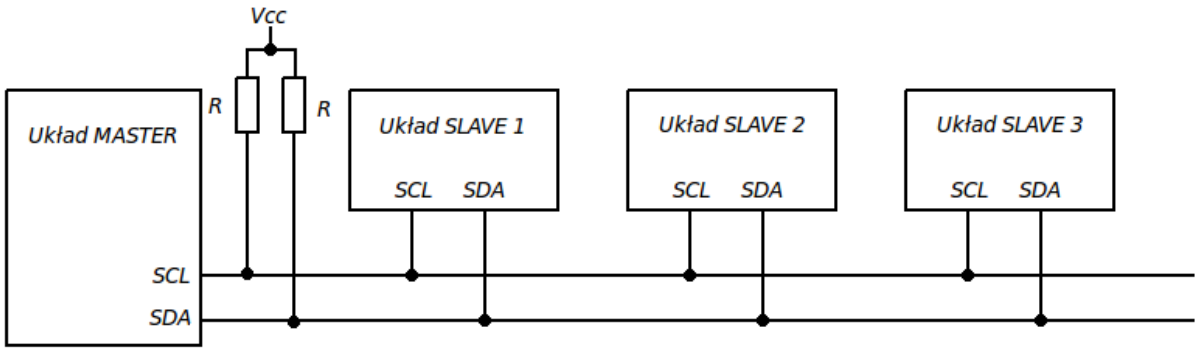
```
leds {

      compatible = "gpio-leds";
      pinctrl-0 = <&pinctrl_gpio_leds>;
      pinctrl-names = "default";

      led3 {
            label = "led3";
            gpios = <&gpio1 13 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
            linux,default-trigger = "heartbeat";
      };

      led4 {
            label = "led4";
            gpios = <&gpio1 12 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
            linux,default-trigger = "mmc1";
      };
};
```

Dla ćwiczeń 2.7, 2.8 oraz 2.9, niniejsza instrukcja zawiera jedynie teoretyczny wstęp oraz opisy minimalnej wersji konfiguracji programowej, niezbędnej do wykonania ćwiczeń. Zagadnienia związane z obsługą magistral I2C, SPI oraz 1-Wire, zostaną w sposób szczegółowy omówione przez prowadzącego, podczas realizacji poszczególnych zadań.

2.7. Magistrala I2C na przykładzie obsługi modułu żyroskopu

Wstęp teoretyczny

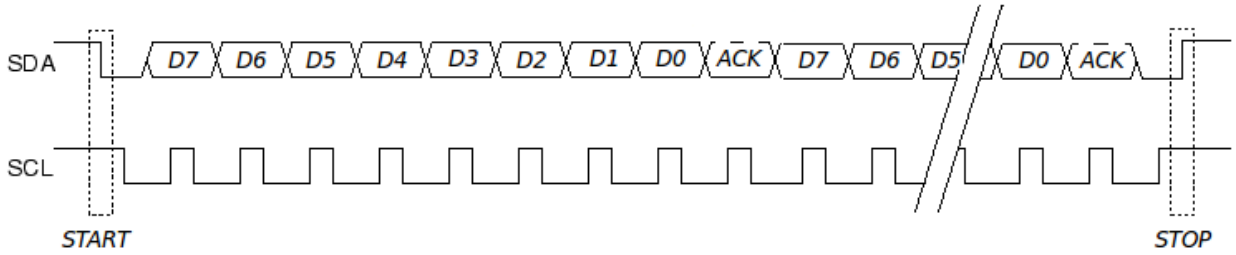
Magistrala I2C jest dwukierunkowym i dwuprzewodowym interfejsem szeregowym, przeznaczonym do komunikacji pomiędzy układem nadrzędnym a układami peryferyjnymi umieszczonymi w obrębie jednego systemu, np.: czujnikami temperatury, zegarami czasu rzeczywistego, przetwornikami C/A oraz A/C. Transmisja na magistrali realizowana jest w sposób synchroniczny z wykorzystaniem dwóch linii: *SDA* (*Serial DAta* – linia danych) oraz *SCL* (*Serial CLock* – linia zegarowa). Za poprawną pracę magistrali I2C odpowiada układ nadrzędny *Master*, do którego zadań należy generowanie sygnału zegarowego na linii *SCL* i synchronizacja wymiany danych. Linie interfejsu I2C są liniami typu otwarty dren, co oznacza, że magistrala do poprawnej pracy wymaga podłączenia zewnętrznych rezystorów „podciągających". Rezystory te są odpowiedzialne za ustawienie stanu wysokiego na magistrali w przypadku braku transmisji. Standard magistrali I2C umożliwia podłączenie wielu układów podrzędnych (układów typu *Slave*), co narzuca konieczność wprowadzenia odpowiedniego mechanizmu adresowania. Układy *Slave* są adresowane poprzez 7-bitowy adres – ostatni 8. bit określa wówczas kierunek przepływu kolejnej transakcji danych (odczyt/zapis). Schematyczna budowa magistrali została przedstawiona na *Rysunku 2.7.1*.



Rys. 2.7.1. *Schematyczna budowa magistrali I2C*

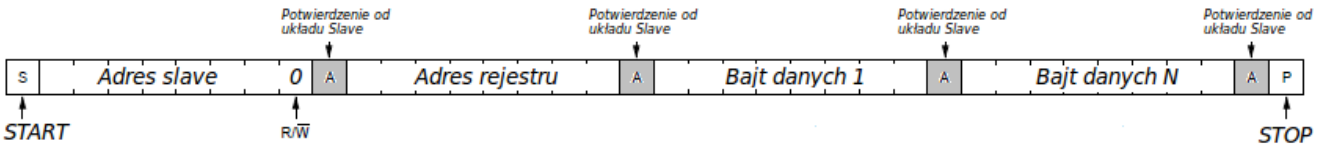
Dane przesyłane za pomocą interfejsu I2C grupowane są w 8-bitowe bloki. Rozpoczęcie transmisji odbywa się po wystawieniu przez układ *Master* sekwencji *START*, która identyfikuje początek ramki oraz rezerwuje magistralę, aż do wystąpienia sekwencji *STOP*. Przy sekwencji startowej, układ *Master* ściąga linię *SDA* do poziomu niskiego, przy wysokim stanie linii zegarowej. Koniec transmisji ramki jest operacją odwrotną – zbocze narastające na linii *SDA* przy wysokim poziomie zegara. Sygnał startu przełącza wszystkie podpięte do magistrali układy w tryb odbioru danych. Od tego momentu dane przesyłane za pomocą linii SDA są ważne i mogą zmieniać się wyłącznie w stanie niskim linii zegarowej. Po ośmiu

taktach zegara (nadaniu bajtu danych) zaadresowany układ *Slave*, musi potwierdzić prawidłowość odbioru przesyłanych informacji. Czynność ta realizowana jest poprzez bit *ACK* (ang. *ACKnowledge* – potwierdzać), czyli wymuszenie przez układ *Slave* stanu niskiego na linii SDA. Układy podrzędne mają również możliwość „ściągnięcia do masy" sygnału zegarowego w przypadku, gdy nie nadążają z odbiorem danych lub realizują inne zadania (np. realizują na żądanie układu *Master* proces pomiaru temperatury lub wilgotności). Typowy przebieg transmisji na poziomie bitowym przedstawiono na *Rysunku 2.7.2*.

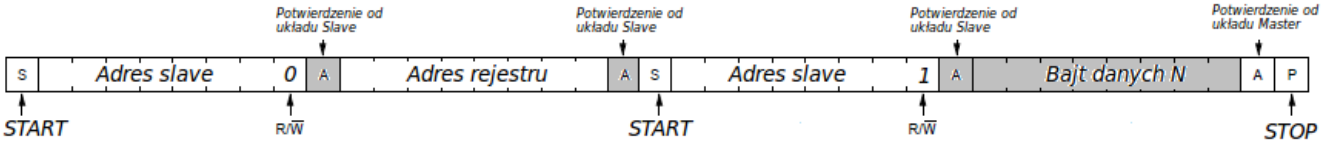


Rys. 2.7.2. *Transmisja danych na magistrali I2C na poziomie bajtowym*

Na *Rysunku 2.7.3* oraz *Rysunku 2.7.4* przedstawiono dwa typowe scenariusze przebiegu transmisji na poziomie bajtowym (typowe dla układów *Slave* posiadających organizację rejestrową, tzn. gdzie komunikacja z układem odbywa się poprzez zapis/ odczyt określonych rejestrów urządzenia pełniących przypisane przez producenta funkcje). W pierwszym z przypadków układ *Master* generuje adres układu podrzędnego z ósmym bitem o wartości 0 – zapis do układu *Slave*. Po wygenerowaniu adresu, wybrany układ podrzędny odpowiada bitem potwierdzenia *ACK* (o ile istnieje urządzenie *Slave* o zadanym adresie). Kolejny bajt zapisywany do urządzenia *Slave* jest numerem rejestru, do którego *Master* będzie zapisywał dane. Zapis danych, będzie realizowany do momentu wygenerowania sekwencji STOP. Procedura odczytu zorganizowana jest w analogiczny sposób - po zaadresowaniu układu podrzędnego i wyborze rejestru z którego będziemy dokonywać odczytu, kolejne bajty danych generowane są przez układ *Slave* – układ *Master* dokonuje odczytu i potwierdza ich odbiór bitem *ACK*.



Rys. 2.7.3. *Przebieg transmisji na poziomie bajtowym – zapis danych do układu Salve*



Rys. 2.7.4. *Przebieg transmisji na poziomie bajtowym – odczyt danych z układu Salve*

[1] Włączenie sterownika I2C w jądrze systemu:

```
Device Drivers --->
  [*] I2C support --->
    <*> I2C device interface
```

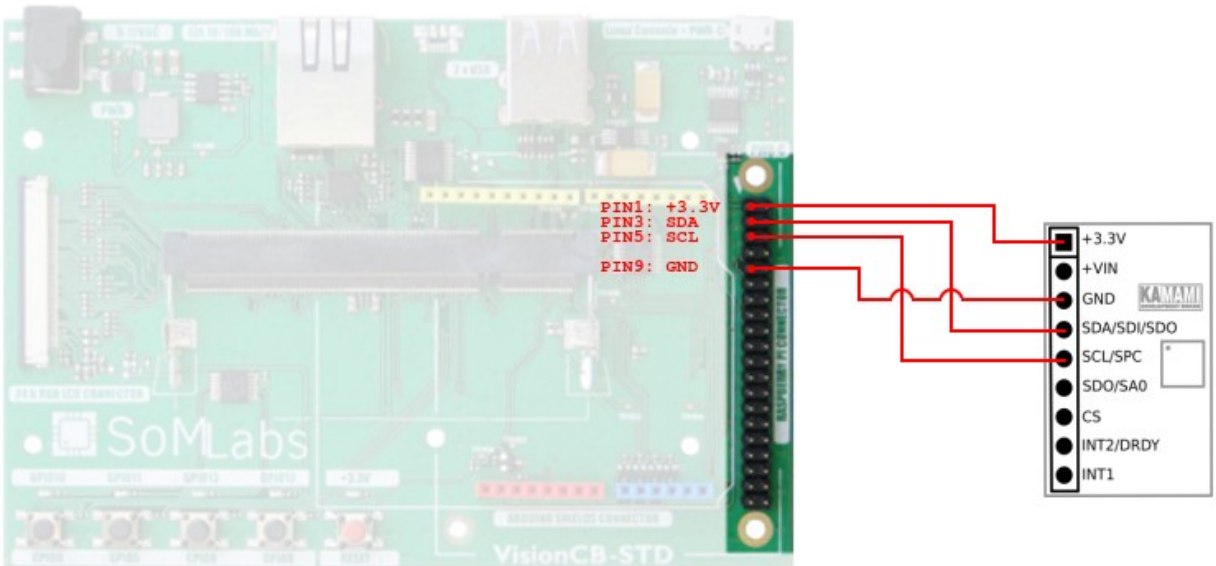
[2] Włączenie kontrolera magistrali I2C:

```
Device Drivers --->
  [*] I2C support --->
    [*] I2C Hardware Bus Support --->
      <*> IMX I2C interface
      < > GPIO-based bitbanging I2C
```

[3] Opis *Device Tree*:

```
&i2c2 {
  clock_frequency = <100000>;
  pinctrl-names = "default";
  pinctrl-0 = <&pinctrl_i2c2>;
  status = "okay";
};

&iomuxc {
  pinctrl-names = "default";
  pinctrl-0 = <&pinctrl_hog_1>;
  imx6ul-evk {

    pinctrl_i2c2: i2c2grp {
      fsl,pins = <
        MX6UL_PAD_UART5_TX_DATA__I2C2_SCL 0x4001b8b0
        MX6UL_PAD_UART5_RX_DATA__I2C2_SDA 0x4001b8b0
      >;
    };
  };
};
```

[4] Schemat połączeń sprzętowych:



[5] Kompilacja i uruchomienie programu testowego *gyro-i2c.c*

```
root@localhost:~# cd /root/linux-academy/2-7
root@localhost:~/linux-academy/2-7# gcc gyro-i2c.c -o gyro-i2c
root@localhost:~/linux-academy/2-7# ./gyro-i2c
-8.1 23.6 -13.0
```

2.8. Obsługa magistrali SPI na przykładzie aplikacji "*loopback*"

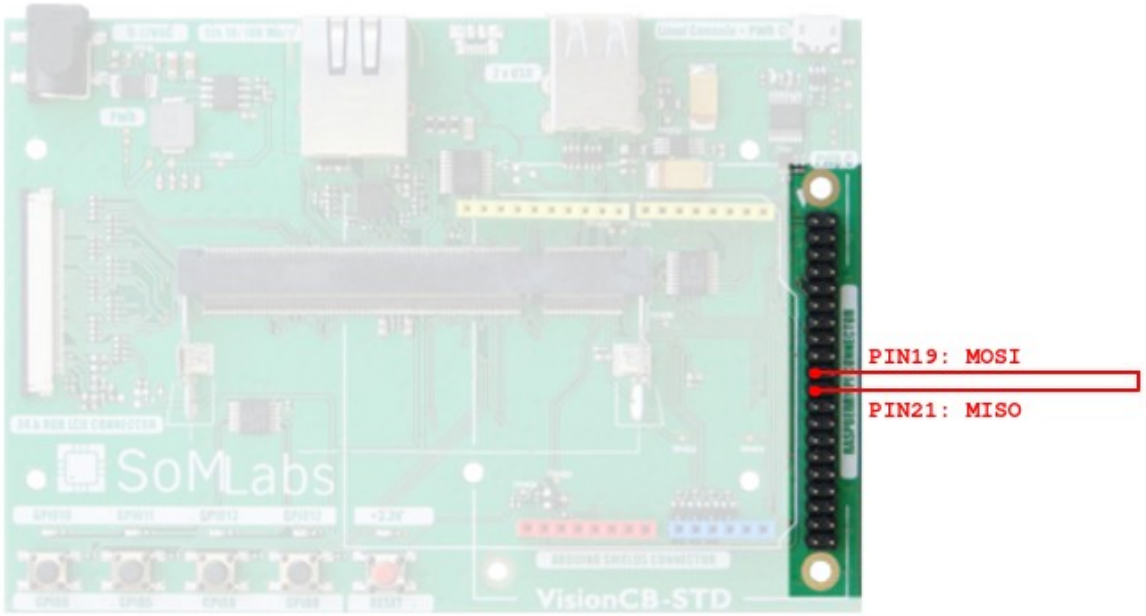
[1] Włączenie kontrolera magistrali SPI w jądrze systemu:

```
Device Drivers --->
  [*] SPI support --->
    <*> Freescale i.MX SPI controllers
    < > GPIO-based bitbanging SPI Master
```

[2] Włączenie sterownika *spidev* - dostęp do magistrali z przestrzeni użytkownika:

```
Device Drivers --->
  [*] SPI support --->
    <*> User mode SPI device driver support
```

[3] Schemat połączeń sprzętowych:



[4] Kompilacja i uruchomienie programu testowego *loopback-spi.c*

```
root@localhost:~# cd /root/linux-academy/2-8
root@localhost:~/linux-academy/2-8# gcc loopback-spi.c -o loopback-spi
root@localhost:~/linux-academy/2-8# ./loopback-spi
FF FF FF FF FF FF
40 00 00 00 00 95
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
DE AD BE EF BA AD
F0 0D
```

W przypadku nieprawidłowego wykonania połączeń sprzętowych, program *loopback-spi*, zwróci wartości:

```
root@localhost:~/linux-academy/2-8# ./loopback-spi
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF FF FF FF FF
FF FF
```

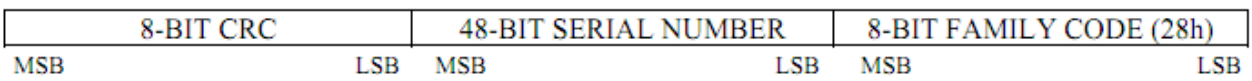
2.9. Magistrala 1-Wire na przykładzie czujnika temperatury *DS18B20*

W dotychczas zrealizowanych ćwiczeniach omówione zostały zagadnienia sprzętowej i programowej obsługi interfejsów GPIO, I2C oraz SPI. W systemach wbudowanych - pełniących głównie funkcje kontrolne i pomiarowe (rejestratory temperatury, sterowniki dostępu, itp.) - bardzo często mamy również do czynienia z „jednoprzewodowym" interfejsem 1-Wire. Interfejs ten swoją popularność zawdzięcza dużej liczbie urządzeń peryferyjnych obsługujących wymieniony standard (czujniki temperatury, elektroniczne moduły dostępu *iButton*, sterowniki ładowania akumulatorów, itd.), jak i również łatwej implementacji programowej (urządzenia nadzorujące transmisję nie muszą posiadać sprzętowego kontrolera magistrali – programista sam może napisać proste procedury realizujące wymianę danych).

Wstęp teoretyczny

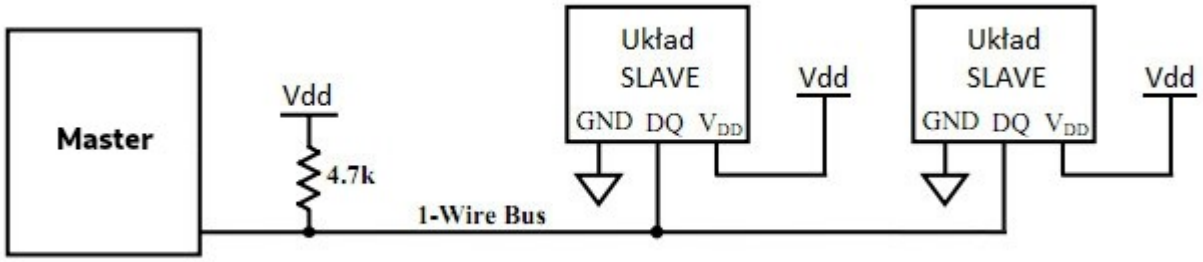
Magistrala 1-Wire jest przedstawicielem typowego asynchronicznego interfejsu szeregowego. Jak łatwo wywnioskować komunikacja na magistrali odbywa się za pomocą jednej linii danych oraz linii masy, która stanowi poziom odniesienia dla sygnału. W tzw. trybie pasożytniczym (ang. *parasite power*) urządzenia peryferyjne nie potrzebują podłączenie osobnej linii zasilania – moc dostarczana jest przez wbudowany w układy peryferyjne kondensator gromadzący energię z linii danych. Takie rozwiązanie redukuję liczbę przewodów magistrali, jednak wpływa negatywnie na zasięg transmisji, zwiększając obciążenie prądowe linii danych.

Komunikacja na magistrali odbywa się dwukierunkowo w trybie *Master/Slave*. W typowej konfiguracji rolę *Mastera* (urządzenia przeprowadzającego i nadzorującego transmisję) pełni układ mikroprocesora/mikrokontrolera. Urządzeniami typu *Slave* są wszystkie układy peryferyjne dołączane do magistrali. Ponieważ urządzenia te nie zapewniają możliwości konfiguracji adresu (jak ma to miejsce np. w przypadku układów z magistralą I2C), każdy z układów musi zawierać fabrycznie zdefiniowany unikatowy numer seryjny. Standard 1-Wire definiuje dla każdego z urządzeń peryferyjnych 64-bitowy kod identyfikacyjny zapisany w pamięci ROM. W ramach 64-bitowego adresu możemy wydzielić 48-bitowy numer seryjny, 8-bitowy kod rodziny oraz 8-bitową sumę CRC. Dla czujników temperatury *DS18B20*, dla których przypisano kod rodziny 0x28, ramka adresowa ma postać przedstawioną na Rysunku *2.9.1*.



Rys. 2.9.1. *64-bitowy adres czujnika temperatury DS18B20*

Wszystkie urządzenia podłączone do magistrali posiadają wyjścia typu otwarty dren, co wymusza zastosowania na linii danych rezystora podciągającego do napięcia zasilania. Przykładowy schemat połączeń dla dwóch układów typu *Slave* został przedstawiony na *Rysunku 2.9.2*.



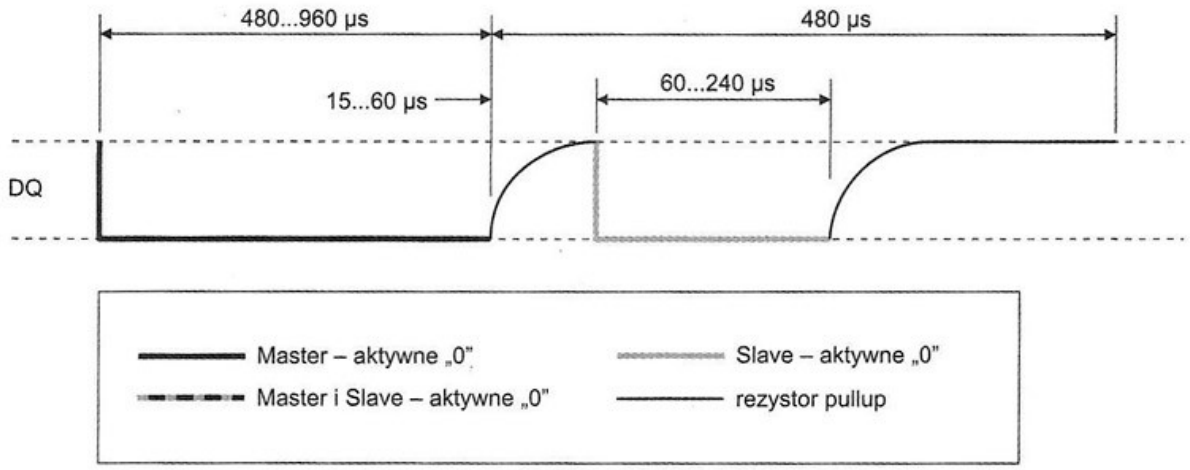
Rys. 2.9.2. *Typowy schemat połączeń na magistrali 1-Wire*

Całość wymiany danych na magistrali 1-Wire możemy zrealizować za pomocą czterech prostych sekwencji, opierających się na mechanizmie slotów czasowych:

- inicjalizacja magistrali,
- nadanie logicznej jedynki,
- nadanie logicznego zera,
- odczyt bitu danych.

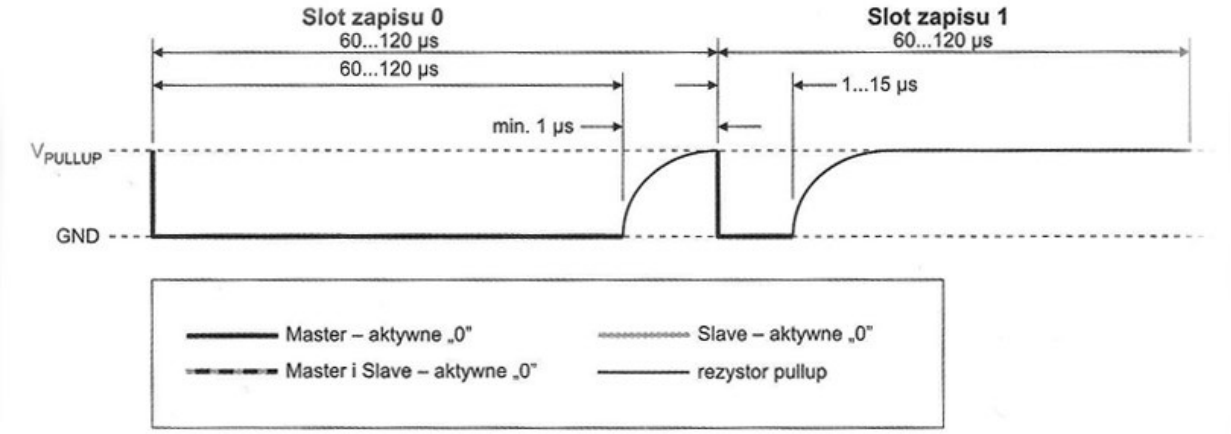
Bazując na powyższych czterech operacjach możemy zrealizować kompletne funkcje przesyłania i odczytu całego bajta danych, adresowania urządzeń, itd., stąd też w dalszej części tego podrozdziału skupimy się wyłącznie na bardzo krótkiej analizie tych najprostszych transakcji.

Głównym zadaniem sekwencji inicjalizacji jest zresetowanie magistrali i wykrycie podłączonych do niej urządzeń. W cyklu tym układ *Master* wymusza na magistrali poziom niski o czasie trwania 480-960µs. Po zwolnieniu magistrali (co jest równoznaczne z ustawieniem poziomu wysokiego poprzez zewnętrzny rezystor podciągający) układ *Mastera* oczekuje na impuls obecności (ang. *presence pulse*) ze strony układów *Slave*. Impuls obecności, reprezentowany przez stan niski na magistrali, powinien trwać od 15 do 60µs.



Rys. 2.9.3. *Magistrala 1-Wire – sekwencja inicjalizacji*

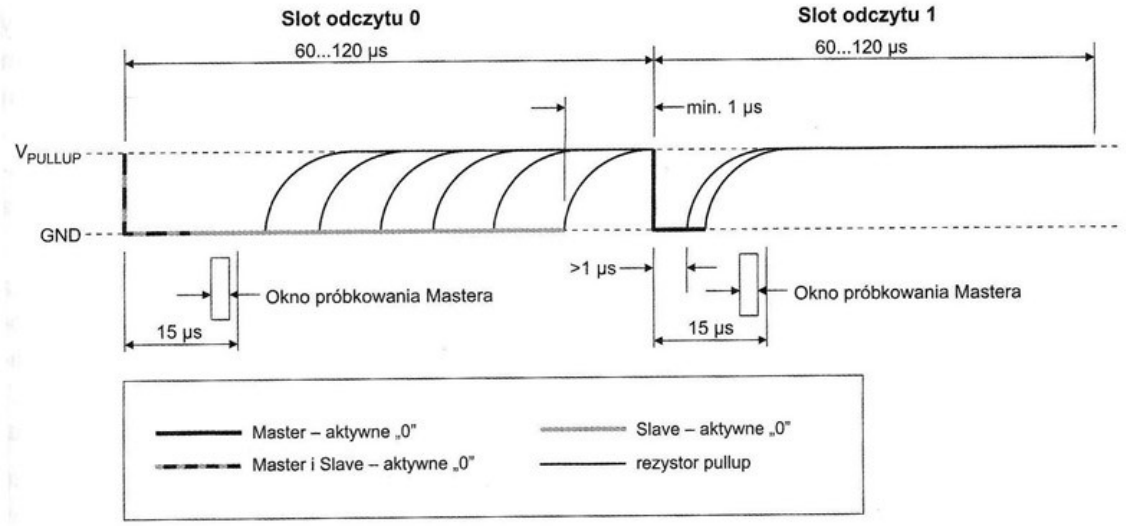
Wystawienie przez przynajmniej jeden układ *Slave* impulsu obecności, jest sygnałem dla *Mastera*, że może sukcesywnie przeprowadzać kolejne operacje zapisu/ odczytu. Zapis logicznej jedynki polega na ustawieniu przez układ mastera stanu niskiego na linii danych magistrali na okres 15µs, a następnie zwolnieniu magistrali do końca czasu trwania szczeliny czasowej (maksymalnie 105µs). W przypadku zapisu logicznego zera, stan niski na magistrali powinien trwać od 60 do 120µs. Odstęp przed transmisją kolejnego bitu powinien wynosić minimum 1 µs.



Rys. 2.9.4. *Magistrala 1-Wire – transmisja bitu*

Jak wspomniano, 1-Wire zapewnia komunikację dwukierunkową, tak więc do pełnego przedstawienia wymiany danych na magistrali, brakuje już tylko krótkiego przedstawienia odczytu bitu danych z urządzenia *Slave*.

Żądanie odczytu bitu danych jest sygnalizowane przez układ *Master* poprzez wystawienie na magistrali impulsu o czasie trwania 1µs. Następnie poziom na magistrali ustawia układ *Slave* – jeżeli transmitowana jest logiczna jedynka, układ master nie przedłuża impulsu, jeżeli natomiast logiczne zero, *Slave* przedłuża impuls do czasu minimum 15µs od momentu rozpoczęcia transmisji. Przed upływem 15µs master rozpoczyna próbkowanie stanu magistrali.



Rys. 2.9.5. *Magistrala 1-Wire – transmisja bitu*

[1] Włączenie kontrolera magistrali 1-Wire w jądrze systemu:

```
Device Drivers --->
  <*> Dallas's 1-wire support --->
    1-wire Bus Masters --->
      < >DS2490 USB <-> W1 transport layer for 1-wire
      < > Maxim DS2482 I2C to 1-Wire bridge
      <*> GPIO 1-wire busmaster
```

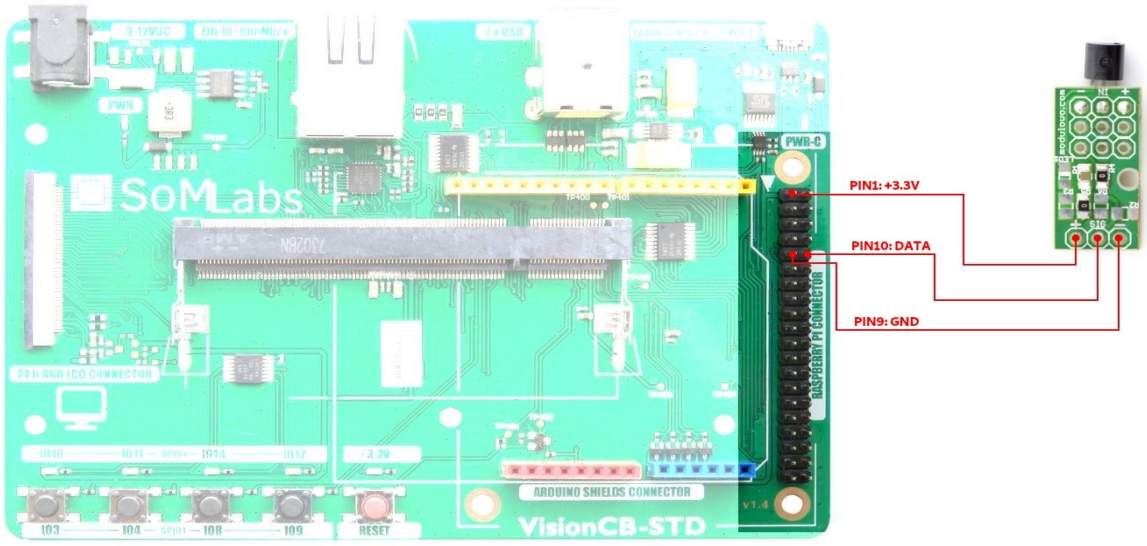
[2] Włączenie sterownika dla urządzeń *Slave*:

```
Device Drivers --->
  <*> Dallas's 1-wire support --->
    1-wire Slaves --->
      <*> Thermal family implementation
      < > 1kb EEPROM family support (DS2431)
```

[3] Opis *Device Tree:*

```
onewire {
  compatible = "w1-gpio";
  pinctrl-0 = <&pinctrl_w1_gpio>;
  pinctrl-names = "default";
  gpios = <&gpio1 29 0>;
};

&iomuxc {
  pinctrl-names = "default";
  pinctrl-0 = <&pinctrl_hog_1>;
    imx6ul-evk {

      pinctrl_w1_gpio: onewire {
        fsl,pins = <
          MX6UL_PAD_UART4_RX_DATA__GPIO1_IO29    0x4001b8b1
        >;
      };
  };
};
```

[4] Schemat połączeń sprzętowych:



ĆWICZENIE 3

Time-to-market w systemach Linux Embedded, czyli wykorzystanie gotowych komponentów oprogramowania do sprawnej realizacji bardziej rozbudowanych projektów programowo-sprzętowych.

Dzisiejszy rynek elektroniki użytkowej wymaga od projektantów, by konstruowane przez nich urządzenia nie tylko były użyteczne, funkcjonalne i poprawnie zrealizowane. Przy dużej i wciąż rosnącej konkurencji na rynku elektroniki użytkowej, należy również zadbać, by urządzenie miało nowoczesny design a czas realizacji produktu był jak najkrótszy - od momentu złożenia zamówienia przez potencjalnego klienta do jego pełnej realizacji. Co zrobić, by nadążyć za dynamicznie rozwijającym się rynkiem? Korzystać z otwartych i gotowych pakietów oprogramowania.

Jedną z niewątpliwych zalet wykorzystania systemu operacyjnego Linux w procesie projektowania urządzeń wbudowanych jest szybki i łatwy dostęp do otwartych, darmowych i wolnych (w sensie wolności) repozytoriów oprogramowania implementujących m.in. rozbudowane stosy graficzne, protokoły sieciowe czy złożone algorytmy obliczeń. Fakt ten odgrywa szczególnie ważną rolę, kiedy zadanie stawiane przed naszym urządzeniem może zostać chociaż częściowo zrealizowane za pomocą istniejących już pakietów oprogramowania. Samodzielna implementacja stosów obsługi USB, Ethernet, Bluetooth czy bardziej złożonych interfejsów graficznych użytkownika może być czasochłonna i podatna na błędy. Wykorzystując gotowe sterowniki i pakiety oprogramowania (o ile są one udostępnione na dogodnej licencji), zyskujemy nie tylko czas, ale i pewność, że oprogramowanie zostało przetestowane przez tysiące innych użytkowników Linuksa.

W ćwiczeniu numer 3, przedstawiony zostanie przykład prostego i szybkiego tworzenia bardziej rozbudowanych projektów sprzętowo-programowych, z wykorzystaniem bibliotek gotowego i darmowego oprogramowania. Wykorzystując wyłącznie minimalną funkcjonalność środowiska uruchomieniowego *Node.js* oraz biblioteki *Three.js*, przygotujemy prosty serwer WWW, prezentujący wyniki danych pomiarów odczytanych z modułu żyroskopu w postaci animowanej kostki 3D. Zaczynajmy!

3.1. *Node.js* – systemy wbudowane i JavaScript?

Czym jest *Node.js*? Jest to wieloplatformowe środowisko uruchomieniowe JavaScript udostępnione na licencji *open-source*. Inaczej ujmując ogólnodostępną definicję – platforma *Node.js* umożliwia uruchomienie kodu JavaScript poza przeglądarką internetową. Należy podkreślić, że samo *Node.js* nie jest serwerem, umożliwia jednak proste i szybkie utworzenie serwera HTTP oraz bardziej złożonych aplikacji internetowych. Ponieważ kod programu jest uruchamiany poza przeglądarką, programista ma możliwość tworzenia typowych rozwiązań "*server-side*", czyli takich w których aplikacja może realizować odczyt/zapis systemu plików, baz danych oraz co równie istotne pod kątem realizacji urządzeń wbudowanych – wchodzić w interakcję z dołączonym do systemu urządzeniami peryferyjnymi – czujnikami, aktuatorami, itp.

Ze względu na dużą popularność platformy *Node.js* (warto nadmienić, że korzystają z niej takie serwisy jak *Netflix*, *PayPal*, *LinkedIn* czy *Uber*), gotowe pakiety oprogramowania są obecnie dostępne w niemal wszystkich dystrybucjach

linuksowych. Dla dystrybucji *Debian*, instalacja pakietu `nodejs` przebiega w sposób standardowy dla narzędzia `apt-get`:

```
root@localhost:~# apt-get install nodejs
Selecting previously unselected package libuv1:armhf.e will be used.
(Reading database ... 34198 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../libuv1_1.9.1-3_armhf.deb ...
Unpacking libuv1:armhf (1.9.1-3) ...
Selecting previously unselected package nodejs.
Preparing to unpack .../nodejs_4.8.2~dfsg-1_armhf.deb ...
Unpacking nodejs (4.8.2~dfsg-1) ...
```

Przygotowany na potrzeby niniejszych warsztatów obraz systemu linux-academy-2019.img, posiada zainstalowany pakiet nodejs – zadaniem uczestnika warsztatów jest sprawdzenie poprawności jego instalacji poprzez wykonanie polecenia:

root@localhost:~# nodejs -v

Aby przetestować poprawność instalacji, wywołajmy komendę `nodejs -v`:

```
root@localhost:~# nodejs -v
v8.11.4
```

Jeśli w wyniku powyższego polecenia został wyświetlony numer wersji oprogramowania *Node.js*, możemy przystąpić do realizacji zadań z punktu 3.2 w którym przygotujemy najprostszą implementację serwera WWW.

3.2. *Node.js* - prosta implementacja serwera WWW

Kompletny kod źródłowy dla zagadnień omawianych w punkcie 3.2:

- */root/linux-academy/3-2/main.js*

Implementację serwera WWW rozpoczynamy od utworzenia pliku *main.js*. W pierwszej linii kodu zaimportujmy wbudowany w *Node.js* moduł `http`:

```
var http = require ('http');
```

oraz zdefiniujmy numer portu na którym będzie nasłuchiwał tworzony serwer:

```
var PORT = 8080;
```

Kolejnym krokiem będzie utworzenie właściwego serwera poprzez wywołanie metody `createServer()` na module `http`:

```
var server = http.createServer (/*…*/);
```

Metoda `createServer()` jako argument przyjmuje funkcje zwrotną, której zadaniem jest obsługa zapytań przychodzących do serwera. Funkcja ta przyjmuje dwa argumenty:

- `request` – argument zawiera informacje o szczegółach zapytania,
- `response` – obiekt zawierający metody i własności do obsługi odpowiedzi.

W naszej prostej implementacji serwera, w odpowiedzi na zapytanie klienta prześlemy: informację z kodem odpowiedzi (*200–OK*), typ zwracanego dokumentu (*text/plain* – czyste dane tekstowe) oraz napis *„Hello World!”*. Uzupełniony kod metody `createServer()` o obsługę zapytania został przedstawiony poniżej:

```
var server = http.createServer (function handler (request, response) {
  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/plain'});
  response.end ('Hello World!');
});
```

Ostatnim etapem, jest wywołanie metody `listen()` wraz z przekazaniem numeru portu, na którym serwer będzie nasłuchiwał nadchodzących połączeń:

```
server.listen (PORT);
```

Kompletna zawartość pliku main.js została przedstawiona na *Listingu 3.2.1*.

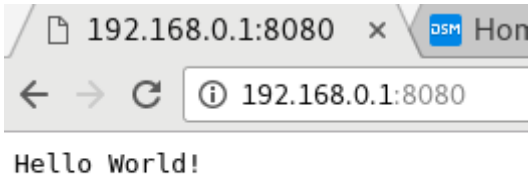
```
var http = require ('http');

var PORT = 8080;

var server = http.createServer (function handler (request, response) {
  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/plain'});
  response.end ('Hello World!');
});

server.listen (PORT);
```

Listing 3.2.1. *Skrypt main.js z implementacją prostego serwera WWW*

Po zapisaniu zmian w pliku *main.js*, możemy uruchomić skrypt za pomocą polecenia:

```
nodejs main.js
```

Jeżeli próba uruchomienia skryptu została zakończona sukcesem, wpisując w oknie przeglądarki adres *http://192.168.1.1:8080* zobaczymy rezultat działania serwera WWW – *Rysunek 3.2.1*.



Rys. 3.2.1. *Implementacja prostego serwera WWW*

3.3. *Node.js* - serwer WWW z podziałem na funkcje *front-end/back-end*

Kompletny kod źródłowy dla zagadnień omawianych w punkcie 3.3:

- */root/linux-academy/3-3/main.js*
- */root/linux-academy/3-3/index.html*

Bezpośrednie umieszczenie „kodu strony” - w postaci napisu *„Hello World!”* - w funkcji `response.end()` nie wpływa znacząco na czytelność kodu, jednak nietrudno wyobrazić sobie sytuację, że budowany przez nas serwis zaczyna się rozrastać, a wprowadzane znaczniki HTML znacznie zwiększają objętość kodu strony, powodując że skrypt *main.js* może stać się mało czytelny i trudny w zarządzaniu. W takiej sytuacji niezbędne jest wprowadzenie jasnego podziału na *front-end* (czyli właściwą stronę udostępnianą użytkownikowi) oraz *back-end* (czyli kod realizujący zadania stawiane przed serwerem). Wprowadzenie podziału na *front-end* i *back-end* wymaga jedynie kosmetycznych zmian w skrypcie *main.js* z punktu 3.2. Zmodyfikowany skrypt *main.js* przedstawiono na *Listingu 3.3.1*.

```
var http = require ('http');
var fs = require ('fs');

var index = fs.readFileSync (__dirname + '/index.html');

var PORT = 8080;

var server = http.createServer (function handler (request, response) {
  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/html'});
  response.end (index);
});

server.listen (PORT);
```

Listing 3.3.1. *Serwer WWW z podziałem na funkcje fron-end/back-end*

Z wykorzystaniem wbudowanego modułu `fs` (pozwalającego na przeprowadzanie szeregu operacji I/O na plikach) w sposób synchroniczny wczytujemy zawartość pliku *index.html*, umieszczonego w tym samym folderze jak skrypt *main.js*. Ponieważ wczytany plik jest prostą stroną HTML, zmieniamy zawartość pola `Content-Type` na `text/html`. W wywołaniu `response.end()` przesyłamy użytkownikowi zawartość pliku *index.html*.

Dla kompletności zadania, utwórzmy również prosty plik HTML – *index.html*:

```
<!DOCTYPE html>
<html>

  <head>
  </head>

  <body>
    <h1>Hello World!</h1>
  </body>
</html>
```

Po zakończonej edycji plików *main.js* oraz *index.html*, sprawdźmy poprawność naszego kodu poprzez ponowne uruchomienie serwera:

```
nodejs main.js
```

3.4. *Node.js* – komunikacja *front-end<->back-end* z wykorzystaniem *socket.io*

Kompletny kod źródłowy dla zagadnień omawianych w punkcie 3.4:

- */root/linux-academy/3-4/main.js*
- */root/linux-academy/3-4/index.html*

Wprowadzenie wyraźnego podziału na sekcje *front-end* i *back-end* stawia przed nami kolejne zadanie do wykonania – zapewnienie sprawnej komunikacji i wymiany danych w „czasie rzeczywistym" pomiędzy tymi modułami. Dlaczego w czasie rzeczywistym? Protokół HTTP jest typowym protokołem typu żądanie-odpowiedź, w którym to rolę żądającego pełni klient/przeglądarka internetowa. Rozwiązanie to spełnia swoje zadanie w przypadku gdy to klient chce przesłać dane do serwera. Niestety w sytuacji gdy serwer chce poinformować odbiorcę o aktualizacji danych (np. nowych odczytach z czujników temperatury, których wyniki powinny być wyświetlane w czasie rzeczywistym w interfejsie przeglądarkowym), nie może on zainicjować połączenia z klientem. Modyfikacja „w locie" pliku *index.html* przez kod serwera oraz cykliczne odświeżanie strony przez klienta nie brzmią jak idealne rozwiązanie problemu. W takiej sytuacji pomocną dłoń wyciąga do nas biblioteka *socket.io* zapewniająca połączenie pomiędzy stroną WWW (front-endem) a skryptem uruchomionym na serwerze (back-endem). *Socket.io* jest biblioteką języka JavaScript, której zadaniem jest ułatwienie pracy z protokołem *WebSocket* (który to natomiast jest częścią specyfikacji HTML5, umożliwiającą dwustronną komunikację klient-serwer w czasie rzeczywistym). Biblioteka *socket.io* składa się z tzw. części serwerowej (będącej modułem dla platformy *Node.js*) oraz klienckiej (dla przeglądarek internetowych). Bazując na kodzie skryptu *main.js* oraz strony *index.html* z poprzedniego podpunktu, przejdźmy do praktycznej implementacji.

Rozbudowę skryptu *main.js* rozpoczynamy od zaimportowania modułu *socket.io* (szczegóły dotyczące instalacji zewnętrznego pakietu *socket.io* zostały przedstawione w ramce poniżej):

```
var io = require ('socket.io').listen(server);
```

Pakiet socket.io nie jest częścią platformy Node.js i wymaga dodatkowej instalacji. Do instalacji dodatkowych pakietów można wykorzystać dystrybuowany wraz z Node.js, manager pakietów npm:

npm install socket.io

W domyślnym obrazie, pakiet socket.io jest dystrybuowany wraz z kodem źródłowym poszczególnych ćwiczeń, stąd uczestnicy warsztatów nie muszą dokonywać samodzielnej instalacji poszczególnych pakietów.

W następnym kroku utwórzmy *event-handler* dla zdarzenia `connection` (które jest wywoływane każdorazowo, gdy do serwera podłączony zostanie nowy klient), wyświetlający krótki komunikat na standardowym wyjściu:

```
io.on ('connection', function (socket) {
  console.log ('We have new connection!');
});
```

W docelowym rozwiązaniu realizowanym w ramach ćwiczenia numer 3, aplikacja serwera będzie przesyłała do przeglądarki użytkownika informacje odczytane z modułu żyroskopu. Sposób w jaki zostanie zrealizowana komunikacja pomiędzy aplikacją *gyro-i2c* (z ćwiczenia numer 2) a serwerem WWW, zostanie omówiony w kolejnym podpunkcie niniejszego ćwiczenia. Na potrzeby obecnego zadania, przygotujmy prostą funkcję `send_time()`, która z interwałem jednej sekundy, prześle do wszystkich podłączonych klientów aktualny czas:

```
function send_time() {
  io.emit ('time', {message: new Date().toISOString()});
}
setInterval (send_time, 1000);
```

W ciele funkcji `send_time()` wysyłamy rozgłoszeniową wiadomość `time` z aktualnym czasem serwera, skierowaną do wszystkich aktualnie podłączonych klientów. Pełny kod skryptu *main.js* wraz z wyszczególnieniem wprowadzonych zmian (w odniesieniu do podpunktu 3.3) został przedstawiony na *Listingu 3.4.1*.

```
var http = require ('http');
var fs = require ('fs');

var index = fs.readFileSync (__dirname + '/index.html');

var PORT = 8080;

var server = http.createServer (function handler (request, response) {
  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/html'});
  response.end (index);
});

var io = require ('socket.io').listen(server);

io.on ('connection', function (socket) {
  console.log ('We have new connection!');
});

function send_time() {
  io.emit ('time', {message: new Date().toISOString()});
}
setInterval (send_time, 1000);

server.listen (PORT);
```

Listing 3.4.1. *Skrypt main.js zintegrowany z bilioteką socket.io*

Ostatnim etapem zadania z podpunktu 3.3 jest integracja biblioteki *socket.io* z udostępnianą przez serwer stroną *index.html*. Integrację biblioteki rozpoczniemy od dołączenia w sekcji `<head>` biblioteki *socket.io*:

```
<script src='/socket.io/socket.io.js'></script>
```

Również w sekcji `<head>` utwórzmy prosty skrypt realizujący nawiązanie połączenia z serwerem oraz odbiór komunikatów (należy pamiętać, że kod zawarty w tagach `<script></script>` zostanie uruchomiony przez przeglądarkę, a więc komputer PC użytkownika):

```
var socket = io();

socket.on ('time', function (data) {
  /* TODO */
});
```

Zanim przystąpimy do uzupełnienia kodu *event-handler'a* dla zdefiniowanego przez nas zdarzenia `time`, w sekcji `<body>` strony HTML utwórzmy akapit z identyfikatorem `test`, w miejscu którego wyświetlone zostaną dane otrzymane z serwera WWW:

```
<p id="test">JavaScript can change HTML content.</p>
```

Mając określone pole w który otrzymane dane będą wyświetlane, możemy uzupełnić implementację *event-handler'a* dla zdarzenia `time`:

```
socket.on ('time', function (data) {
  document.getElementById("test").innerHTML = data.message;
});
```

Pełna zawartość pliku *index.html* (wraz z wyróżnieniem zmian wprowadzonych w stosunku do podpunktu 3.3) została przedstawiona na *Listingu 3.4.2*.

```
<!DOCTYPE html>
<html>

  <head>
    <script src='/socket.io/socket.io.js'></script>
    <script>

      var socket = io();

      socket.on ('time', function (data) {
        document.getElementById("test").innerHTML = data.message;
      });

    </script>
  </head>

  <body>
    <h1>Hello World!</h1>
    <p id="test">JavaScript can change HTML content.</p>
  </body>

</html>
```

Listing 3.4.2. *Strona index.html zintegrowana z biblioteką socket.io*

Przy ponownym uruchomieniu serwera poleceniem:

```
nodejs main.js
```

oraz odświeżeniu zawartości adresu *http://192.168.1.1:8080*, powinniśmy uzyskać efekt przedstawiony na *Rysunku 3.4.1*.

Rys. 3.4.1. *Przykład komunikacji między serwer WWW a przeglądarką internetową*

3.5. *Node.js* – serwer WWW z odczytem danych z modułu żyroskopu

Kompletny kod źródłowy dla zagadnień omawianych w punkcie 3.5:

- */root/linux-academy/3-5/main.js*
- */root/linux-academy/3-5/index.html*

Na obecnym etapie realizacji ćwiczenia wiemy już jak nawiązać prostą komunikację pomiędzy serwerem a klientem. Do pełnej realizacji celu postawionego przez ćwiczeniem numer 3, brakuje wciąż informacji w jaki sposób „poinformować" serwer o aktualnych danych pomiarowych, zwracanych przez moduł żyroskopu. Do najprostszych rozwiązań tego problemu możemy zaliczyć np. bezpośrednią implementacją obsługi żyroskopu w kodzie serwera – z wykorzystaniem operacji na plikach lub gotowych modułów *Node.js,* instalowanych poprzez menadżer pakietów *npm*. Przykładem takiego modułu może być pakiet `i2c`, instalowany poleceniem:

```
npm install i2c
```

który udostępnia proste API do realizacji niskopoziomowych operacji zapisu/odczytu danych na magistrali, np.:

```
var i2c = require('i2c');

var wire = new i2c(address, {device: '/dev/i2c-1'});

wire.writeByte(byte, function(err) {});

wire.writeBytes(command, [byte0, byte1], function(err) {});

wire.readByte(function(err, res) { // result is single byte })

wire.readBytes(command, length, function(err, res) {});
```

Pomimo tego, że API modułu `i2c` jest bardzo zbliżone do rozwiązań wykorzystanych przy implementacji obsługi żyroskopu w języku C a sama reimplementacja kodu `gyro-i2c` (z ćwiczenia numer 2) na kod JavaScript nie powinna być zbyt czasochłonna, do realizacji kolejnego zadania użyjemy alternatywnego podejścia. Aby uniknąć ponownego przygotowywania obsługi żyroskopu, do realizacji zadania wykorzystamy gotowy plik binarny `gyro-i2c` oraz wbudowany w *Node.js* moduł `child_process`. Za pomocą metody `spawn()` utworzymy nowy proces potomny oraz zdefiniujemy dla niego funkcje zwrotną obsługi standardowego wyjścia (wywoływaną w chwili gdy program `gyro-i2c` zwróci kolejną porcję danych z wynikami pomiarów).

Analogicznie jak w poprzednich podpunktach, do realizacji tego etapu wykorzystamy pliki z etapu 3.4. Edycję rozpoczniemy od skryptu *main.js* w którym zaimportujemy wbudowany moduł `child_process`:

```
var spawn = require('child_process').spawn;
```

W kolejnym kroku, za pomocą wywołania `spawn()` utworzymy nowy proces potomny realizujący kod programu `gyro-i2c` (skopiowany uprzednio do folderu */tmp)*:

```
var child = spawn ('/tmp/gyro-i2c');
```

Ostatnią modyfikacją w skrypcie *main.js* jest dodanie funkcji zwrotnych do obsługi kanałów `stdout` (funkcja przesyła odczytane dane do przeglądarki w postaci komunikatu `xyz`) oraz `stderr` (funkcja wypisuje w konsoli dane odczytane ze standardowego strumienia błędów):

```
child.stdout.on ('data', function (data) {
  io.emit ('xyz', {message: data.toString().split('\n')[0]});
});

child.stderr.on ('data', function (data) {
  console.log ('stderr: ' + data);
});
```

Warto również zaimplementować obsługę zdarzenia `close`, która poinformuje nas o zakończeniu procesu potomnego i zwróconym przez niego kodzie wyjścia:

```
child.on ('close', function (code) {
  console.log ('exit: ' + code);
});
```

Pełna zawartość pliku *main.js* (wraz z wyróżnieniem zmian wprowadzonych w stosunku do podpunktu 3.4) została przedstawiona na *Listingu 3.5.1*.

```
var http = require ('http');
var fs = require ('fs');
var spawn = require('child_process').spawn;

var index = fs.readFileSync (__dirname + '/index.html');

var PORT = 8080;

var server = http.createServer (function handler (request, response) {
  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/html'});
  response.end (index);
});
```

```
var io = require ('socket.io').listen(server);

io.on ('connection', function (socket) {
  console.log ('We have new connection!');
});

var child = spawn ('/tmp/gyro-i2c');

child.stdout.on ('data', function (data) {
  io.emit ('xyz', {message: data.toString().split('\n')[0]});
});

child.stderr.on ('data', function (data) {
  console.log ('stderr: ' + data);
});

child.on ('close', function (code) {
  console.log ('exit: ' + code);
});

server.listen (PORT);
```

Listing 3.5.1. *Skrypt main.js z zaimplementowaną obsługą procesu potomnego*

Przystosujmy również plik *index.html* do nowych wymagań projektu, tj. wyświetlenia wartości trzech pomiarów dla osi X, Y oraz Z. W tym celu w sekcji `<body>` utwórzmy prostą tabelę zawierającą identyfikatory pól `x_val`, `y_val` oraz `z_val`:

```
<table>
      <tr>
            <th>X [deg]</th>
            <td><p id="x_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
            <th>Y [deg]</th>
            <td><p id="y_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
            <th>Z [deg]</th>
            <td><p id="z_val">---</p></td>
      </tr>
</table>
```

W sekcji `<head>` zmodyfikujmy kod obsługi wiadomości `xyz`. Odczytana linia danych zostanie podzielona względem separatora ‘ ‘ (spacja), a wyniki pomiarów przypisane do poszczególnych identyfikatorów pól:

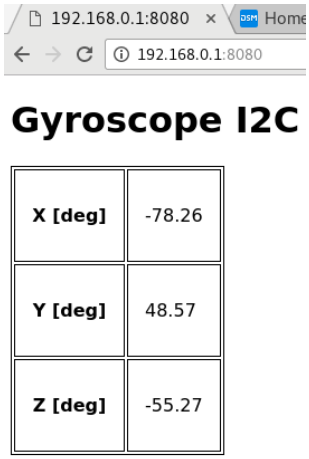
```
<script>

      var socket = io();

      socket.on ('xyz', function (data) {
        var arr = data.message.split(" ");
        document.getElementById("x_val").innerHTML = arr[0];
        document.getElementById("y_val").innerHTML = arr[1];
        document.getElementById("z_val").innerHTML = arr[2];
      });

</script>
```

Dla poprawienia estetyki utworzonej strony w sekcji head dodano wpis formatujący wygląd tabeli. Pełna zawartość pliku *index.html* (wraz z wyróżnieniem zmian wprowadzonych w stosunku do podpunktu 3.4) została przedstawiona na *Listingu 3.5.2*.

```
<!DOCTYPE html>
<html>

  <head>

    <style>
      table, th, td {
        border: 1px solid black;
      }
      th, td {
        border: 1px solid black;
        padding: 15px;
      }
    </style>

    <script src='/socket.io/socket.io.js'></script>
    <script>

      var socket = io();

      socket.on ('xyz', function (data) {
        var arr = data.message.split(" ");
        document.getElementById("x_val").innerHTML = arr[0];
        document.getElementById("y_val").innerHTML = arr[1];
        document.getElementById("z_val").innerHTML = arr[2];
      });

    </script>
  </head>

  <body>
    <h1>Gyroscope I2C</h1>
    <table>
      <tr>
        <th>X [deg]</th>
        <td><p id="x_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
        <th>Y [deg]</th>
        <td><p id="y_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
        <th>Z [deg]</th>
        <td><p id="z_val">---</p></td>
      </tr>
    </table>
  </body>
</html>
```

Listing 3.5.2. *Skrypt main.js z zaimplementowaną obsługą procesu potomnego*

Przy ponownym uruchomieniu serwera poleceniem `nodejs main.js` oraz odświeżeniu zawartości adresu *http://192.168.1.1:8080*, powinniśmy uzyskać efekt przedstawiony na *Rysunku 3.5.1*.



Rys. 3.5.1. *Prezentacja wyników pomiarów w oknie przeglądarki internetowej*

3.6. *Node.js* – rozbudowa interfejsu o proste elementy grafiki 3D (*Three.js*)

Kompletny kod źródłowy dla zagadnień omawianych w punkcie 3.6:

- */root/linux-academy/3-6/main.js*
- */root/linux-academy/3-6/index.html*
- */root/linux-academy/3-6/three.min.js*

W ostatnim podpunkcie ćwiczenia numer 3, rozbudujemy interfejs graficzny aplikacji o prostą grafikę 3D w postaci sześciennej kostki, odwzorowującej ruch podłączonego modułu żyroskopu. Do realizacji operacji graficznych wykorzystamy bibliotekę *Three.js*, która to natomiast korzysta z API *WebGL* – oficjalnego rozszerzenia możliwości języka JavaScript o interfejs grafiki 3D. Bezpośrednie wykorzystanie interfejsu *WebGL* jest dość uciążliwe, choćby ze względu na dużą liczbę operacji niskiego poziomu, jakie spoczywają na programiście – definicja wierzchołków, buforów, macierzy transformacji, operacje związane z wyświetlaniem sceny, obsługa *shaderów*, oświetlenia, modeli, kamer i wiele innych. W bibliotece *Three.js* scena budowana jest z obiektów (sama scena jest również obiektem w którym umieszczamy inne obiekty). Do podstawowych obiektów możemy zaliczyć: figury geometryczne (biblioteka posiada zdefiniowane kilka gotowych do użycia obiektów takich jak sfera czy sześcian), materiały przypisywane do figur geometrycznym (określające m.in. ich kolor i fizykę odbijania światła), źródła światła oraz obserwatora sceny (czyli „kamerę”, która obserwuje scenę w określonym położeniu). Choć przedstawione w tym akapicie definicje mogę wydawać się na tym etapie mało nieczytelne, przystąpmy do praktycznej realizacji zadania, która powinna wyjaśnić wprowadzone pojęcia.

Ponieważ kod odpowiedzialny za animację 3D jest wykonywany przez przeglądarkę po stronie komputera użytkownika, należy upewnić się, że wybrana przez nas przeglądarka internetowa wspiera API WebGL v1:

http://webglreport.com/

Rozbudowę aplikacji rozpoczynamy od pobrania kodu biblioteki *Three.js* (plik *three.min.js*) do katalogu w którym umieszczono skrypt *main.js* oraz stronę *index.html*:

```
wget http://threejs.org/build/three.min.js
```

W trakcie trwania warsztatów nie ma potrzeby samodzielnego pobierania kodu biblioteki Three.js – wszystkie niezbędne pliki do wykonania tego etapu zostały umieszczone w katalogu /root/linux-academy/3-6.

Edycję pliku *index.html* rozpoczynamy od zdefiniowania w sekcji `<head>` „płótna” `canvas` (o wymiarach 500x500px oraz identyfikatorze `mycanvas`) w którym będzie renderowana docelowa animacja:

```
<canvas id="mycanvas" width="500" height="500"></canvas>
```

Następnie w sekcji `<head>` dołączamy bibliotekę *Three.js*:

```
<script src='three.min.js'></script>
```

W dalszej części skryptu definiujemy zmienne w których będziemy przechowywać wyniki pomiarów w osi x, y, z oraz informacje o tworzonej scenie i dołączonych do niej obiektach:

```
var camera, scene, renderer;
var geometry, material, mesh;
var x, y, z;
```

Następnie implementujemy funkcję `init()`, której zadaniem jest zbudowanie sceny z określonych obiektów:

```
function init() {

  scene = new THREE.Scene();

  camera = new THREE.PerspectiveCamera (70, 500/500, 0.01, 10);
  camera.position.z = 0.5;

  geometry = new THREE.BoxGeometry (0.2, 0.2, 0.2);
  material = new THREE.MeshNormalMaterial();

  mesh = new THREE.Mesh (geometry, material);
  scene.add (mesh);

  renderer = new THREE.WebGLRenderer ({ canvas: mycanvas});
  renderer.setSize (500, 500);
  document.body.appendChild (renderer.domElement);
}
```

W pierwszej linii kodu funkcji `init()` tworzymy scenę, do której będziemy dołączali kolejno definiowane obiekty (kamerę, figurę geometryczną oraz materiał dla tej figury):

```
scene = new THREE.Scene();
```

W następnym kroku tworzymy obiekt kamery określając kąt jej widzenia (70 stopni), proporcje kadru, zakresy widzenia: bliski i daleki, a także jej umiejscowienie:

```
camera = new THREE.PerspectiveCamera (70, 500/500, 0.01, 10);
camera.position.z = 0.5;
```

Korzystając ze zdefiniowanych w bibliotece *Three.js* kształtów, tworzymy obiekt reprezentujący sześcian (`BoxGeometry`):

```
geometry = new THREE.BoxGeometry (0.2, 0.2, 0.2);
```

oraz obiekt stanowiący „materiał” z jakiego wykony jest nasz sześcian (decyduje on m.in. o kolorze obiektu i sposobie rozpraszania światła) – wykorzystamy tutaj predefiniowany materiał `MeshNormalMaterial`:

```
material = new THREE.MeshNormalMaterial();
```

Z połączenia figury z materiałem możemy utworzyć obiekt klasy `Mesh`, który dodajemy do tworzonej sceny:

```
mesh = new THREE.Mesh (geometry, material);
scene.add (mesh);
```

W ostatnich liniach funkcji `init()`, określamy rozmiar i identyfikator powierzchni (`mycanvas`) na której będzie renderowana animacja:

```
renderer = new THREE.WebGLRenderer ({ canvas: mycanvas});
renderer.setSize (500, 500);
document.body.appendChild (renderer.domElement);
```

Utwórzmy również funkcję animate(), która dokona obrotu obiektu, zgodnie z kątem obrotu zapisanym w zmiennych x, y, z:

```
function animate() {

  requestAnimationFrame (animate);

  mesh.rotation.x = THREE.Math.degToRad(x);
  mesh.rotation.y = THREE.Math.degToRad(y);
  mesh.rotation.z = THREE.Math.degToRad(z);

  renderer.render (scene, camera);
}
```

Pełna zawartość pliku *index.html* (wraz z wyróżnieniem zmian wprowadzonych w stosunku do podpunktu 3.5) została przedstawiona na *Listingu 3.6.1*.

```
<!DOCTYPE html>
<html>

  <head>

    <canvas id="mycanvas" width="500" height="500"></canvas>

    <style>
      table, th, td {
        border: 1px solid black;
      }
      th, td {
        border: 1px solid black;
        padding: 15px;
      }
    </style>

    <script src='/socket.io/socket.io.js'></script>
    <script src='three.min.js'></script>

    <script>

      var camera, scene, renderer;
      var geometry, material, mesh;
      var x, y, z;

      function init() {

        scene = new THREE.Scene();

        camera = new THREE.PerspectiveCamera (70, 500/500, 0.01, 10);
        camera.position.z = 0.5;

        geometry = new THREE.BoxGeometry (0.2, 0.2, 0.2);
        material = new THREE.MeshNormalMaterial();

        mesh = new THREE.Mesh (geometry, material);
        scene.add (mesh);

        renderer = new THREE.WebGLRenderer ({ canvas: mycanvas});
        renderer.setSize (500, 500);
        document.body.appendChild (renderer.domElement);
      }

      function animate() {

        requestAnimationFrame (animate);

        mesh.rotation.x = THREE.Math.degToRad(x);
        mesh.rotation.y = THREE.Math.degToRad(y);
        mesh.rotation.z = THREE.Math.degToRad(z);

        renderer.render (scene, camera);
      }

      init();
      animate();

      var socket = io();
```

```
      socket.on ('xyz', function (data) {

        var arr = data.message.split(" ");

        x = arr[0];
        y = arr[1];
        z = arr[2];

        document.getElementById("x_val").innerHTML = x;
        document.getElementById("y_val").innerHTML = y;
        document.getElementById("z_val").innerHTML = z;
      });

    </script>
  </head>

  <body>
    <h1>Gyroscope I2C</h1>
    <table>
      <tr>
        <th>X [deg]</th>
        <td><p id="x_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
        <th>Y [deg]</th>
        <td><p id="y_val">---</p></td>
      </tr>
      <tr>
        <th>Z [deg]</th>
        <td><p id="z_val">---</p></td>
      </tr>
    </table>
  </body>

</html>
```

Listing 3.6.1. *Plik index.html z wbudowaną animacją 3D*

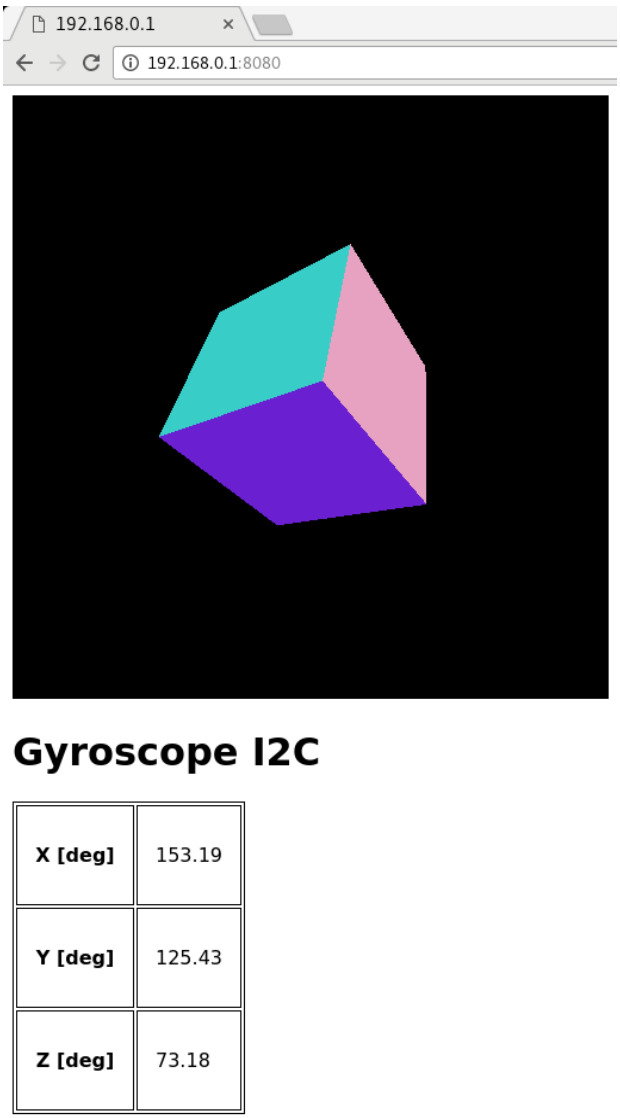
Niewielkiej modyfikacji wymaga również sam kod serwera *main.js*. Dotychczas serwer na żądnie klienta udostępniał wyłącznie plik *index.html*. W aktualnie formie, przy ładowaniu strony głównej, klient zażąda również pliku *three.min.js* – serwer powinien to żądanie obsłużyć i dostarczyć klientowi wymaganą bibliotekę.

```
var url = require('url');
var server = http.createServer (function handler (request, response) {

  var pathname = url.parse(request.url).pathname;
  console.log("Request for " + pathname + " received.");

  response.writeHead (200, {'Content-Type': 'text/html'});
  if(pathname == "/") {
    var index = fs.readFileSync (__dirname + '/index.html');
    response.write (index);
  } else if (pathname == "/three.min.js") {
    var script = fs.readFileSync (__dirname + '/three.min.js');
    response.write (script);
  }
  response.end();
});
```

Przy ponownym uruchomieniu serwera poleceniem:

```
nodejs main.js
```

oraz odświeżeniu zawartości adresu *http://192.168.1.1:8080*, powinniśmy uzyskać efekt przedstawiony na *Rysunku 3.6.1*.



Rys. 3.6.1. *Prezentacja danych odczytanych z żyroskopu w postaci animacji 3D*

Dalszy przebieg szkolenia (w tym przygotowanie prostego serwera WWW sterującego pracą wyprowadzeń GPIO, oraz omówienie i konfiguracja sterownika dla modułu KAmodEXP1) bazuje na dotychczas omówionych zagadnieniach i zostanie przedstawiony przez prowadzącego po wykonaniu zadań z ćwiczenia numer 3.