RAON Control-Document Series
Revision : v1.0, Release : a fixed date

Raspberry Pi Technical Documentation

scwook*
Rare Isotope Science Project
Institute for Basic Science, Daejeon, South Korea

February 22, 2015

Abstract

본 기술문서는 Raspberry Pi에 대한 기본 설치 및 설정방법을 포함하여 다양한 센서들을 이용한 테스트 및 EPICS Integration 방법에 대하여 설명하였다. 기본적으로 사용된 Model은 Raspberry Pi Model B+ 이며 OS는 Raspbian을 사용하였다. [1]

1 Introduction

Raspberry Pi(RPi)는 교육용 프로젝트의 일환으로 개발된 소형 컴퓨터로 가격이 아주 저렴하고 신용카드 정도의 크기를 가지고 있다. RPi는 하드웨어적으로 ARM기반의 CPU를 장착하고 있으며 5V의 Micro USB를 통해 전원을 공급받는다. 확장 포트로는 USB, Ethernet Port, HDMI를 지원하며, 특히 입출력 신호를 제어하기 위한 GPIO(General Purpose Inut Output)포트를 지원하는데 SPI, I2C, UART통신이 가능하다. 결과적으로 다양한 Device 및 Sensor를 RPi를 통해 제어 및 모니터링 가능하다. 본 기술문서에서 다루고 있는 Device 및 Sensor는 다음과 같다.

- PIR Motion Sensor
- PM1001 Dust Sensor
- DHT11 Temperature and Humidity Sensor
- DHT22 Temperature and Humidity Sensor
- DS1820 Temperature Sensor

*@ibs.re.kr

- L298 Dual H-Bridge Motor Driver
- MD5-DH14 Motor Driver

RPi는 ARM 아키텍쳐를 기반으로 하기 때문에 이를 지원하는 OS는 거의 설치가능하다. 현재 공식 홈페이지에서 제공하는 OS는 5가지가 있으며, 이 중 Debian 계열의 Raspbian이 가장 많이 사용되고 있다.

1.1 Installation

Raspbian을 설치하는 방법은 2가지가 있다.

- New Out Of the Box Software(NOOBS) 설치
- Raspbian Image 설치

Raspberry Pi에 설치되는 OS는 Raspbian외에 몇가지가 더 있는데 NOOBS는 이러한 OS를 Package로 묶은 것으로 하나 또는 그 이상의 OS를 한번에 설치할 수 있다. 만약 하나의 OS만 설치하고자 하는 경우에는 Image파일을 이용하여 설치하면 되는데 초보자에게는 다소 어려울 수 있다. RPi 공식 홈페이지에서는 NOOBS를 이용하는 것을 추천함으로 여기에서도 NOOBS를 이용하여 설치를 진행한다.

Download

Raspbian 설치를 위해 다음 홈페이지에서 NOOBS 파일을 다운 받는다
http://www.raspberrypi.org/downloads/
다운로드한 파일의 압축을 해제하고 Micro SD Card에 파일을 전부 복사한다.

First Boot

Raspberry Pi전원을 연결 하면 NOOBS Install Manager가 나오는데 Raspbian을 선택한 후 Install 버튼을 누르면 설치가 진행된다. 설치가 완료되고 재부팅을 하면 Raspberry Pi Software Configuration Tool이 나타나는데 Finish를 누르면 기본적인 Raspbian 설치는 완료된다.

1.2 Configuration

Password

Raspbian의 기본 ID 및 Password는 각각 pi와 raspberry로 설정되어 있으며 passwd 명령을 통해 Password 변경이 가능하다.

```
pi@raspberry# passwd
Changing password for pi.
(current) UNIX password:
Enter new UNIX password:
Retype new UNIX password:
passwd: password updated successfully
```

Networking

네트워크는 기본적으로 DHCP로 설정되어 있다. 고정 IP로 변경할 경우 /etc/network/interface 파일을 수정한다 .

```
auto lo

iface lo inet loopback

allow-hotplug eth0
iface eth0 inet static
        address 10.1.4.206
        netmask 255.255.255.0
        broadcast 10.1.4.255
        gateway 10.1.4.254
        dns-nameservers 10.1.2.240
```

무선 네트워크를 사용할 경우 다음과 같이 무선 네트워크 정보를 추가해 준다.

```
auto lo

iface lo inet loopback

allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet static
   address 10.1.4.207
   netmask 255.255.255.0
   network 10.1.4.0
   broadcast 10.1.4.255
   gateway 10.1.4.254
   dns-nameservers 10.1.2.240
   wpa-scan-ssid 1
   wpa-ap-ssid 1
   wpa-key-mgmt WPA-PSK
   wpa-proto RSN WPA
   wpa-pairwise CCMP TKIP
   wpa-group CCMP TKIP
   wpa-ssid "CTRLTEAM"
   wpa-psk "asdf12345"
```

여기서 wpa-ssid와 wpa-psk는 사용하고자 하는 무선네트워크 ssid와 password를 넣으면 된다. 만약 DHCP로 무선을 설정 할 경우 다음과 같이 wpa-ssid와 wpa-psk만 설정해 주면 된다.

```
auto lo

iface lo inet loopback

allow-hotplug wlan0
   iface wlan0 inet dhcp
   wpa-ssid "CTRLTEAM"
   wpa-psk "asdf12345"
```

UART

Raspberry Pi의 UART(Universal asynchronous receiver/transmitter)는 일반적으로 RS-232와 같은 시리얼 통신을 5V Level의 TTL신호로 전송한다. 따라서 Raspberry Pi나 Arduino와 같이 UART를 지원하는 보드에서는 바로 연결하여 사용이 가능하다. 여기서 주의할 사항은 PC와 같이 Serial 통신의 전압 Level이 다른 센서를 사용할 경우 MAX232와

같은 Level Convert를 사용하여 사용하려는 센서의 전압 Level에 맞게 변경해야 한다.
기본적으로 Raspberry Pi의 UART는 Consol접속용으로 설정되어 있다. 따라서 일반적인 UART 통신을 하기 위해서는 다음과 같이 /boot/cmdline.txt 파일과 /etc/inittab 파일을 수정해야 한다.
/boot/cmdline.txt 파일을 열어 "console=ttyAMA0,115200" 부분을 삭제 한다.

```
dwc_otg.lpm_enable=0 console=ttyAMA0,115200 console=tty1 root=/dev/mmcblk0p2 rootfstype=ext4
     elevator=de$
```

/etc/inittab 파일을 열어 마지막 라인에 있는 "T0:23:respawn:/sbin/getty -L ttyAMA0 115200 vt100" 앞에 '#'을 넣어 주석 처리한다

```
# /etc/inittab: init(8) configuration.
# $Id: inittab,v 1.91 2002/01/25 13:35:21 miquels Exp $

# The default runlevel.
id:2:initdefault:

# Boot-time system configuration/initialization script.
# This is run first except when booting in emergency (-b) mode.
si::sysinit:/etc/init.d/rcS

# What to do in single-user mode.
~~:S:wait:/sbin/sulogin

# /etc/init.d executes the S and K scripts upon change
# of runlevel.
#
# Runlevel 0 is halt.
# Runlevel 1 is single-user.
# Runlevels 2-5 are multi-user.
# Runlevel 6 is reboot.

l0:0:wait:/etc/init.d/rc 0
l1:1:wait:/etc/init.d/rc 1
l2:2:wait:/etc/init.d/rc 2
l3:3:wait:/etc/init.d/rc 3
l4:4:wait:/etc/init.d/rc 4
l5:5:wait:/etc/init.d/rc 5
l6:6:wait:/etc/init.d/rc 6
# Normally not reached, but fallthrough in case of emergency.
z6:6:respawn:/sbin/sulogin

# What to do when CTRL-ALT-DEL is pressed.
ca:12345:ctrlaltdel:/sbin/shutdown -t1 -a -r now

# Action on special keypress (ALT-UpArrow).
#kb::kbrequest:/bin/echo "Keyboard Request--edit /etc/inittab to let this work."

# What to do when the power fails/returns.
pf::powerwait:/etc/init.d/powerfail start
pn::powerfailnow:/etc/init.d/powerfail now
po::powerokwait:/etc/init.d/powerfail stop

# /sbin/getty invocations for the runlevels.
#
# The "id" field MUST be the same as the last
# characters of the device (after "tty").
#
#
# Format:
```

```
#  <id>:<runlevels>:<action>:<process>
#
# Note that on most Debian systems tty7 is used by the X Window System,
# so if you want to add more getty's go ahead but skip tty7 if you run X.
#
1:2345:respawn:/sbin/getty --noclear 38400 tty1
2:23:respawn:/sbin/getty 38400 tty2
3:23:respawn:/sbin/getty 38400 tty3
4:23:respawn:/sbin/getty 38400 tty4
5:23:respawn:/sbin/getty 38400 tty5
6:23:respawn:/sbin/getty 38400 tty6

# Example how to put a getty on a serial line (for a terminal)
#
#T0:23:respawn:/sbin/getty -L ttyS0 9600 vt100
#T1:23:respawn:/sbin/getty -L ttyS1 9600 vt100

# Example how to put a getty on a modem line.
#
#T3:23:respawn:/sbin/mgetty -x0 -s 57600 ttyS3


#Spawn a getty on Raspberry Pi serial line
#T0:23:respawn:/sbin/getty -L ttyAMA0 115200 vt100
```

설정을 마쳤으면 재부팅 한다.

```
pi@raspberrypi~$ sudo reboot
```

재부팅이 완료되면 UART를 사용할 수 있다. 참고로 Raspberry Pi의 UART device는 /etc/ttyAMA0에 할당되어 있으며 8번 Pin을 Transmit, 10번 Pin을 Receive로 사용한다.

1.3 Library

wiringPi

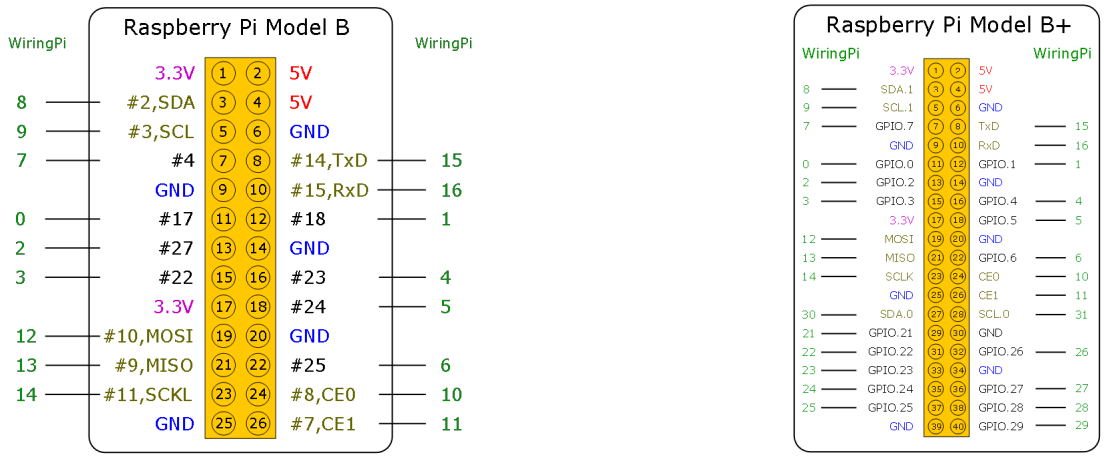
WiringPi는 Arduino에서 사용되는 Wiring Library를 RPi에 맞게 변경한 것으로 GPIO access를 포함하여 PiFace, GertBoard와 같은 확장 보드 및 HD44780U와 같은 Device Chip을 지원한다. 보다 자세한 사항은 홈페이지를 참고하기 바란다.

Wiring Pi 설치는 git 서버로 부터 파일을 복사한 후 빌드하면 된다.

```
pi@raspberry# git clone git://git.drogon.net/wiringPi
Cloning into 'wiringPi'...
remote: Counting objects: 657, done.
remote: Compressing objects: 100% (599/599), done.
remote: Total 657 (delta 476), reused 95 (delta 58)
Receiving objects: 100% (657/657), 247.61 KiB | 94 KiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (476/476), done.
pi@raspberrypi# cd wiringPi
pi@raspberrypi:/wiringPi# ./build
```

Pin Layout은 'readall' 명령으로 확인 가능하다. Wiring Pi는 자체적인 Pin Map을 사용하는데 wPi로 표시된 부분은 Wiring Pi에서 사용하는 GPIO 핀 번호이다.

```
pi@raspberrypi# gpio readall
+-----+-----+---------+------+---+--B Plus--+---+------+---------+-----+-----+
 | BCM | wPi |   Name  | Mode | V | Physical | V | Mode | Name    | wPi | BCM |
```



(a) Model B

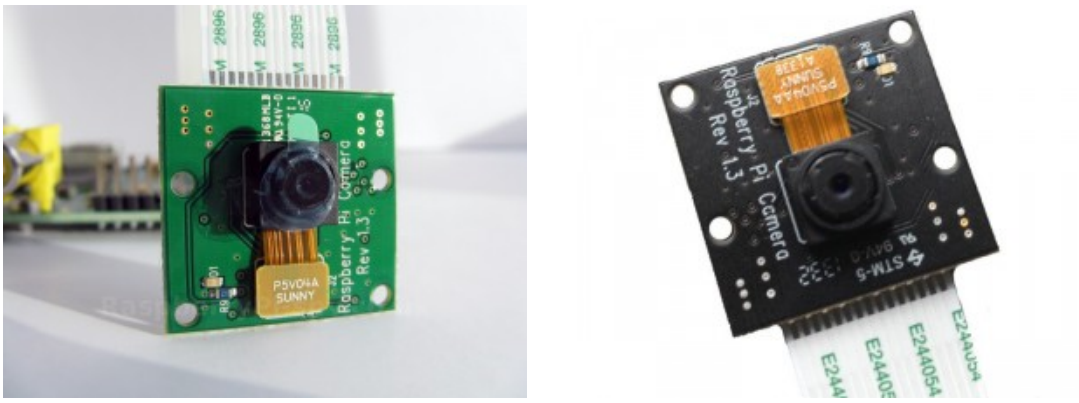
(b) Model B+

Figure 1 Raspberry Pi Pin Map

```
+-----+-----+---------+------+---+----++----+---+------+---------+-----+-----+
|     |     |    3.3v |      |   |  1 || 2  |   |      | 5v      |     |     |
|   2 |   8 |   SDA.1 |   IN | 1 |  3 || 4  |   |      | 5V      |     |     |
|   3 |   9 |   SCL.1 |   IN | 1 |  5 || 6  |   |      | 0v      |     |     |
|   4 |   7 | GPIO. 7 |   IN | 0 |  7 || 8  | 1 | ALT0 | TxD     | 15  | 14  |
|     |     |      0v |      |   |  9 || 10 | 1 | ALT0 | RxD     | 16  | 15  |
|  17 |   0 | GPIO. 0 |   IN | 0 | 11 || 12 | 0 | IN   | GPIO. 1 | 1   | 18  |
|  27 |   2 | GPIO. 2 |   IN | 0 | 13 || 14 |   |      | 0v      |     |     |
|  22 |   3 | GPIO. 3 |   IN | 0 | 15 || 16 | 0 | IN   | GPIO. 4 | 4   | 23  |
|     |     |    3.3v |      |   | 17 || 18 | 0 | IN   | GPIO. 5 | 5   | 24  |
|  10 |  12 |    MOSI |   IN | 0 | 19 || 20 |   |      | 0v      |     |     |
|   9 |  13 |    MISO |   IN | 0 | 21 || 22 | 0 | IN   | GPIO. 6 | 6   | 25  |
|  11 |  14 |    SCLK |   IN | 0 | 23 || 24 | 0 | IN   | CE0     | 10  | 8   |
|     |     |      0v |      |   | 25 || 26 | 0 | IN   | CE1     | 11  | 7   |
|   0 |  30 |   SDA.0 |   IN | 0 | 27 || 28 | 0 | IN   | SCL.0   | 31  | 1   |
|   5 |  21 | GPIO.21 |   IN | 0 | 29 || 30 |   |      | 0v      |     |     |
|   6 |  22 | GPIO.22 |   IN | 0 | 31 || 32 | 0 | IN   | GPIO.26 | 26  | 12  |
|  13 |  23 | GPIO.23 |   IN | 0 | 33 || 34 |   |      | 0v      |     |     |
|  19 |  24 | GPIO.24 |   IN | 0 | 35 || 36 | 0 | IN   | GPIO.27 | 27  | 16  |
|  26 |  25 | GPIO.25 |   IN | 0 | 37 || 38 | 0 | IN   | GPIO.28 | 28  | 20  |
|     |     |      0v |      |   | 39 || 40 | 0 | IN   | GPIO.29 | 29  | 21  |
+-----+-----+---------+------+---+----++----+---+------+---------+-----+-----+
| BCM | wPi |   Name  | Mode | V | Physical | V | Mode | Name    | wPi | BCM |
+-----+-----+---------+------+---+--B Plus--+---+------+---------+-----+-----+
```

2 Application

본 Chapter에서는 RPi에 연결 가능한 Device 및 Sensor를 이용한 테스트 설명한다. 테스트는 Model B+에서 진행되었으며 기본적으로 Rasbian 과 wiringPi가 설치되어 있어야한다.



(a) Normal Camera (b) NoIR Camera

Figure 2 Raspberry Pi Camera Module

2.1 Pi Camera

Raspberry Pi에서 제공하고 있는 카메라는 2종류가 있다. 하나는 일반적으로 사용하는 카메라로 기판 색이 초록색으로 되어 있다. 다른 하나는 NoIR(No Infrared) 카메라로 기판 색이 검은색으로 되어 있다. 두 카메라는 기능적으로 완전 동일하나 NoIR 카메라는 적외선 필터가 없으므로 적외선 영역까지도 볼 수있다. 즉 적외선 LED와 함께 사용하면 어두운 장소에서도 촬영이 가능하다. 반면 낮에는 실제 색감 및 밝기가 일반 카메라와 다르게 보이는 단점이 있다.

Installation

RPi 카메라 모듈은 Figure 3과 같이 Camera 전용 Port를 사용하며 RPi Configuration 을 통해 Port를 활성화 시켜 준다.

```
pi@raspberry# sudo raspi-config
```

설정을 마쳤으면 재부팅 한다.

```
pi@raspberry# sudo reboot
```

Test

기본적인 카메라 사용방법은 다음과 같다.
사진 캡쳐는 raspitill을 사용한다.

```
pi@raspberry# raspistill -o cam.jpg
```

상하 좌우 반전을 하고 싶으면 vf, hf 옵션을 설정한다.

```
pi@raspberry# raspivid -o vid.h264
```

t옵션을 사용하면 시간 설정이 가능하다.(기본은 5초) 다음은 10초동안 촬영한다.

```
pi@raspberry# sudo raspi-config
```

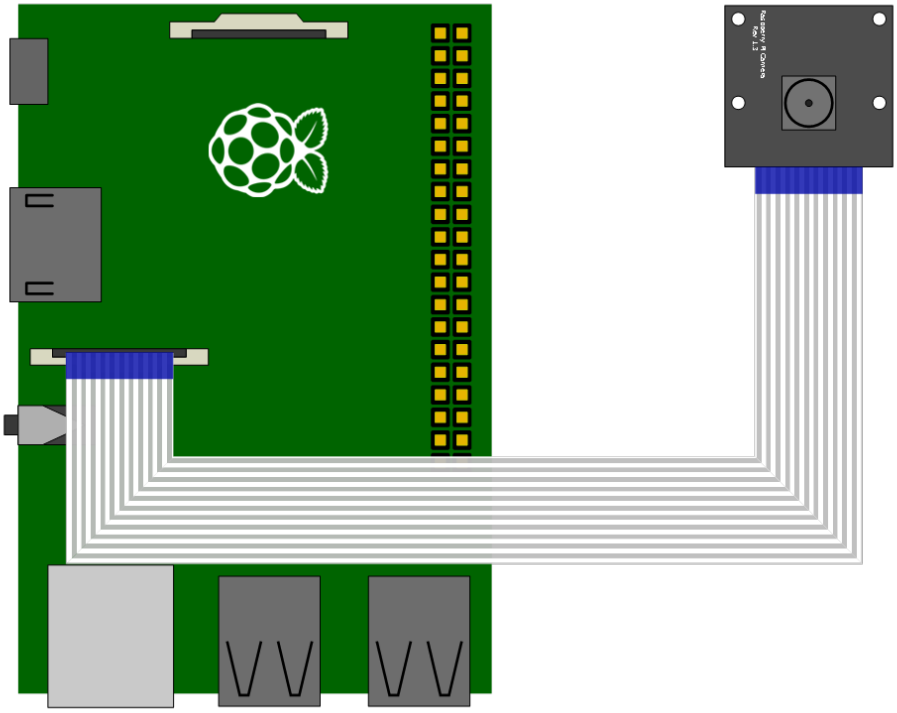


Figure 3 Camera Installation

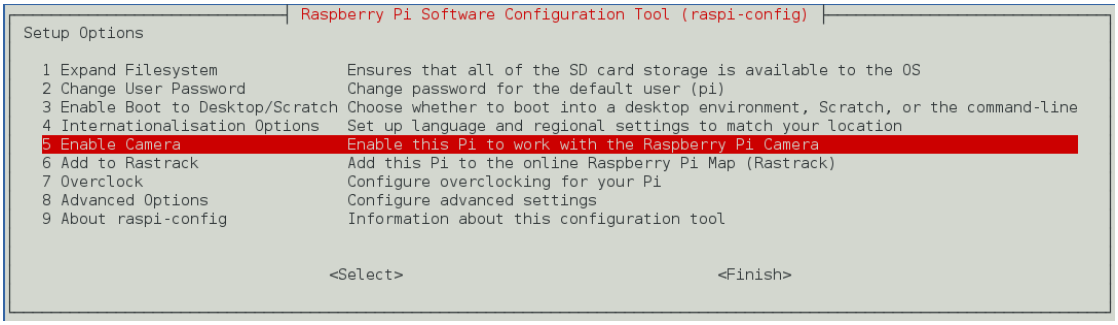


Figure 4 Camera Installation

카메라가 작동할 때 LED가 켜지지 않게 하려면 /boot/config.txt 파일에 disable_camera_led=1 을 추가한 후 재부팅 한다.

```
...
...
...

# NOOBS Auto-generated Settings:
hdmi_force_hotplug=1
```

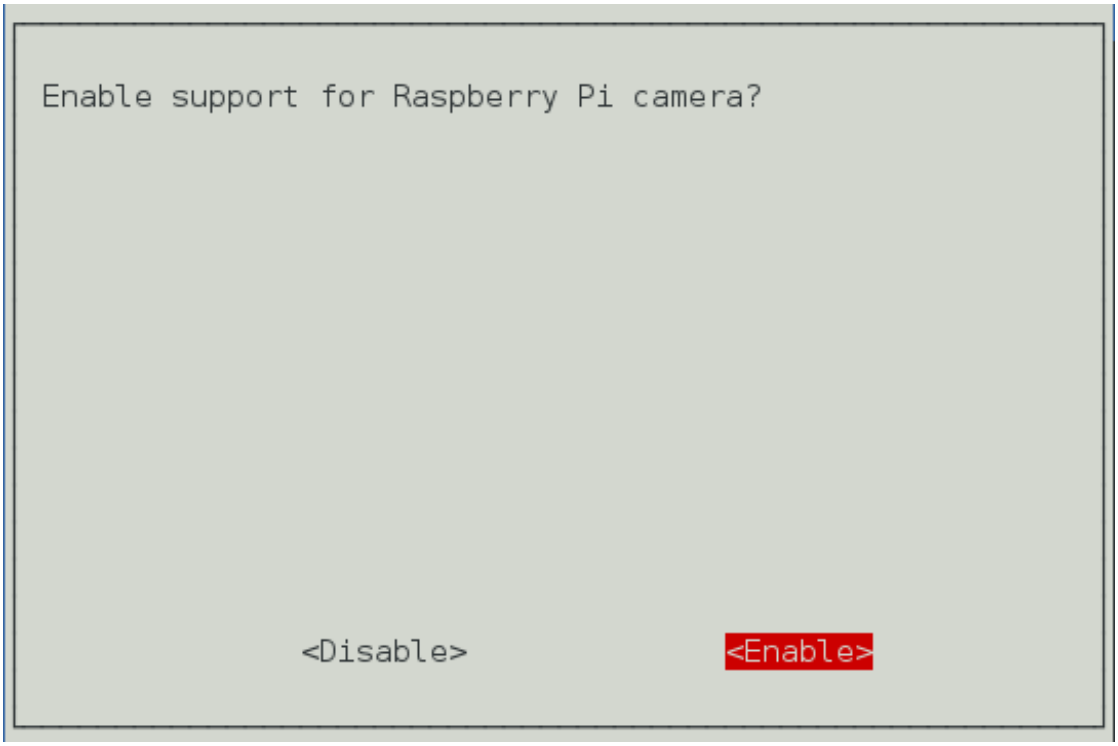


Figure 5 Camera Installation

```
config_hdmi_boost=4
overscan_left=24
overscan_right=24
overscan_top=16
overscan_bottom=16
disable_overscan=0
start_x=1
gpu_mem=128
disable_camera_led=1
```

Web Streaming

Raspberry Pi Camera를 Web에서 볼 수 있도록 설정해 본다. 기본적인 설정은 다음 홈페이지를 따랐다. http://www.rasplay.org/?p=7174 우선 필요한 Library를 설치한다.

```
pi@raspberry# sudo apt-get install git cmake libjpeg8-dev imagemagick -y
```

다음 videodev.h 헤더파일을 videodev2.h파일로 링크한다.

```
pi@raspberry# sudo ln -s /usr/include/linux/videodev2.h /usr/include/linux/videodev.h
```

```
pi@raspberry# git clone https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer
```

다운 받은 코드를 make 한다.

```
pi@raspberrypi# cd mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental
pi@raspberrypi:/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental# make
```

make가 완료되면 다음과 같은 실행 스크립트를 만든다.

```
export STREAMER_PATH=$HOME/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental
export LD_LIBRARY_PATH=$STREAMER_PATH
$STREAMER_PATH/mjpg_streamer -i "input_raspicam.so -x 640 -y 480 -fps 30" -o "output_http.so -w
    $STREAMER_PATH/www"
```

스크립트를 실행 한다.

```
pi@raspberrypi# sh mjpg.sh
MJPG Streamer Version: svn rev:
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[0]=raspicam
input plugin
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[1]=-x
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[2]=640
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[3]=-y
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[4]=480
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[5]=-fps
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 118): argv[6]=30
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 175): case 2,3
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 181): case 4,5
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    input_init(), 187): case 6, 7
 i: fps.............: 30
 i: resolution........: 640 x 480
 i: camera parameters..............:

Sharpness 0, Contrast 0, Brightness 50
Saturation 0, ISO 400, Video Stabilisation No, Exposure compensation 0
Exposure Mode 'auto', AWB Mode 'auto', Image Effect 'none'
Metering Mode 'average', Colour Effect Enabled No with U = 128, V = 128
Rotation 0, hflip No, vflip No
 o: www-folder-path...: /home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/www/
 o: HTTP TCP port.....: 8080
 o: username:password.: disabled
 o: commands..........: enabled
 i: Starting Camera
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    worker_thread(), 553): Host init, starting mmal
stuff
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    worker_thread(), 681): Camera enabled, creating
encoder
Encoder Buffer Size 81920
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    worker_thread(), 764): Encoder enabled, creating
pool and connecting ports
 DBG(/home/pi/mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/plugins/input_raspicam/input_raspicam.c,
    worker_thread(), 880): Starting video o
```

스크립트가 실행되면 다음 주소를 통해 웹으로 영상을 확인할 수 있다. http://[IP Address]:8080 wget을 이용하며 Web Streaming으로 부터 이미지를 저장할 수 있다.

```
scwook@scwook# wget http://10.1.5.194:8080/?action=snapshot -O image.jpg
```

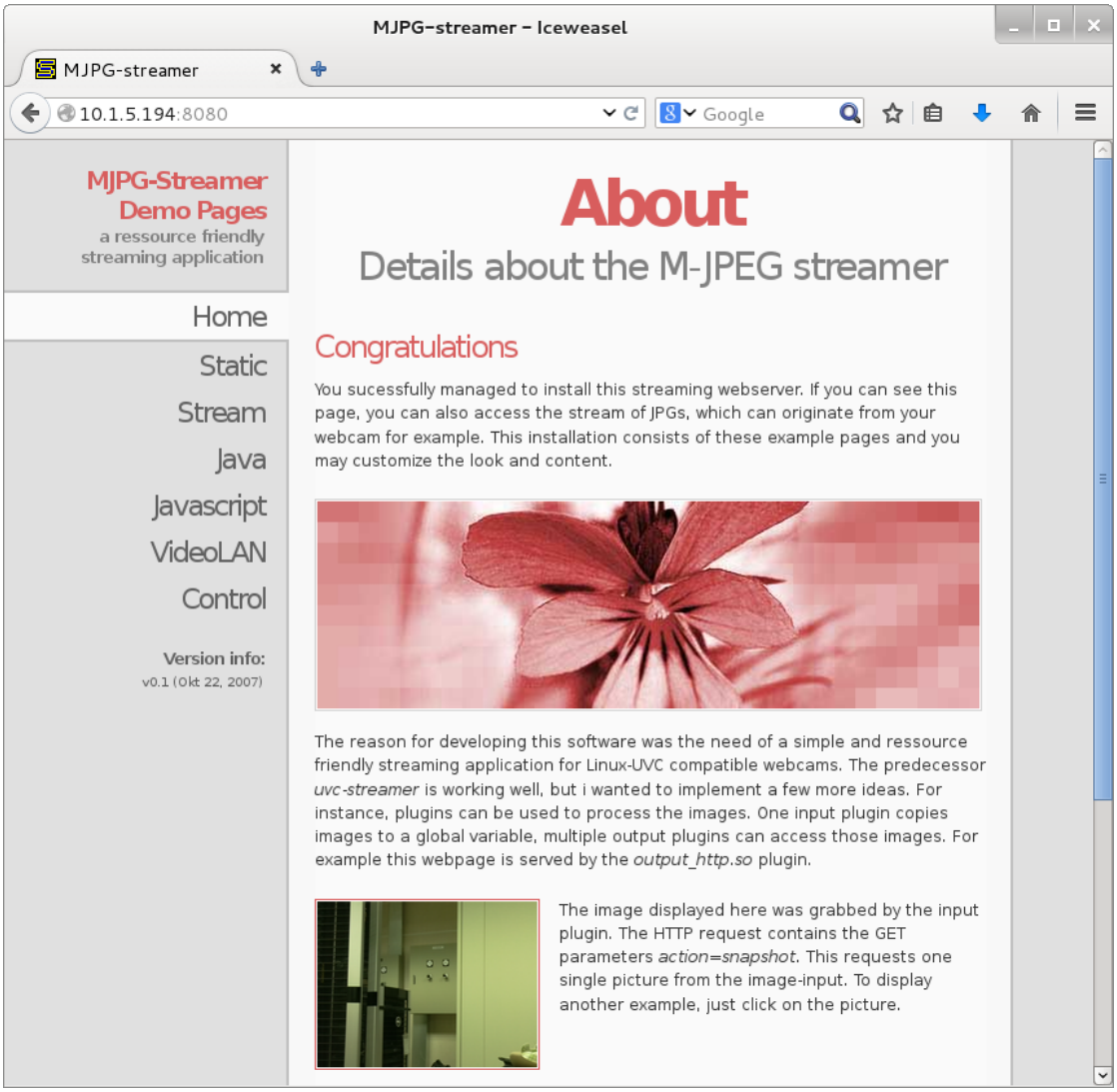


Figure 6 Camera Installation

Script를 만들면 주기적으로 이미지를 저장할 수 있다. 다음은 2초 간격으로 이미지를 저장하는 script이다.

```
while :
do
   DATE=$(date +"%Y-%m-%d_%H%M%S")
   wget -nv http://10.1.5.194:8080/?action=snapshot -O ./camera/$DATE.jpg
   sleep 2
done
```

camera 폴더를 만들고 script를 실행한다.

```
scwook@scwook# mkdir camera
scwook@scwook# sh capture.sh
```

mencoder를 이용하면 앞서 만든 여러장의 이미지를 하나의 Time-Lapse 동영상으로 만들 수 있다. 파일을 만들기 전에 우선 mencoder를 설치한다.

```
scwook@scwook# sudo aptitude install mencoder
```

동영상으로 만들 이미지 리스트를 stills.txt 파일로 dump 시킨다.

```
scwook@scwook# ls *.jpg > stills.txt
```

mencoder를 이용하여 이미지들을 동영상으로 변환 한다.

```
scwook@scwook# mencoder -nosound -ovc lavc -lavcopts vcodec=mpeg4:aspect=4/3:
```

2.2 GPIO

LED and Button Test

버튼을 누르면 LED가 켜지는 테스트를 해보자. 그림7과 같은 회로를 구성한다. 소스코드는

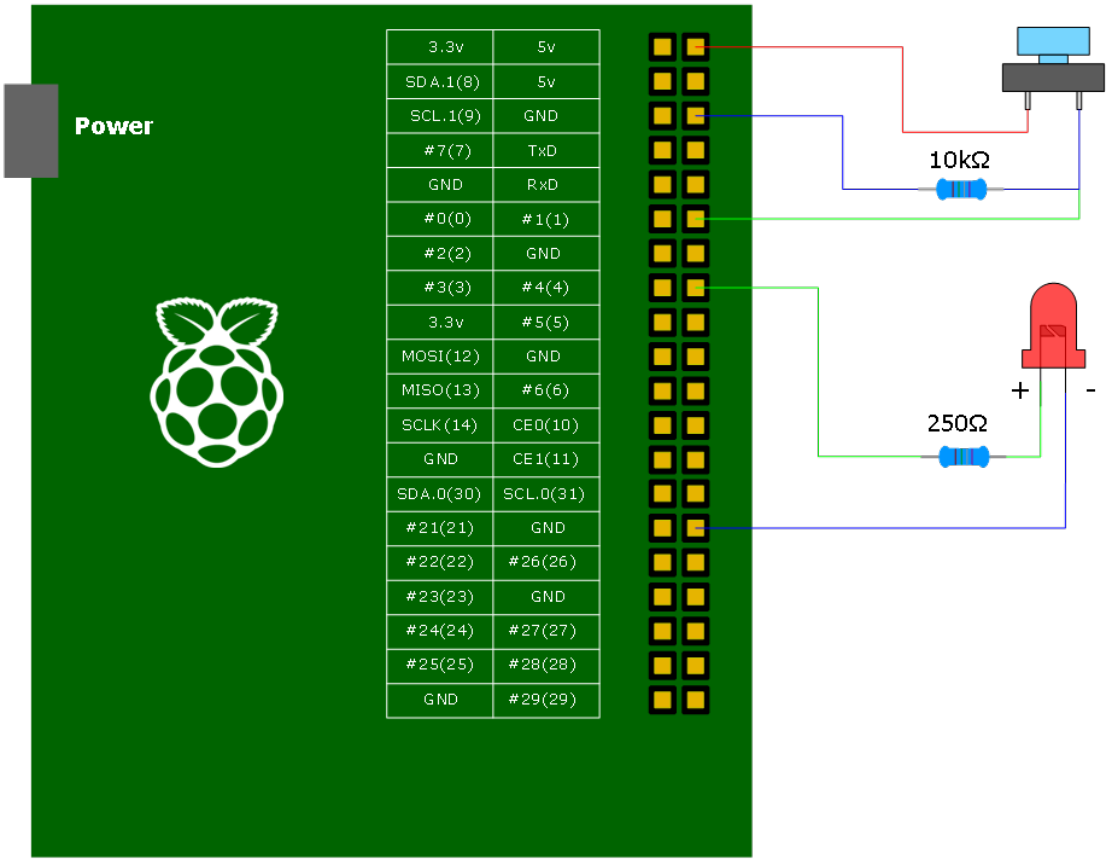


Figure 7 GPIO In/Out Test

다음과 같다.

```
#include <stdio.h>
#include <wiringPi.h>

#define LED 4
#define BUTTON 1

int main(void)
{
  if(wiringPiSetup() == -1)
    return 1;

  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON, INPUT);

  digitalWrite(LED, 0);
  int input = 0;

  for(;;)
  {
    if(digitalRead(BUTTON))
      digitalWrite(LED, 1);
    else
      digitalWrite(LED, 0);

    delay(100);
  }

  return 0;
}
```

Listing 2.1 gpio.c

컴파일 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi# gcc -o buttonTest buttonTest.c -lwiringPi
pi@raspberrypi# sudo ./buttonTest
```

버튼을 눌렀을 때 불이 들어오면 성공!

PIR Motion Sensor

PIR Motion 센서를 이용하여 동작을 감지해 보자. 그림8과 같은 회로를 구성한다. 소스코드는 다음과 같다.

```
#include <stdio.h>
#include <wiringPi.h>

#define PIR 1

int main(void)
{
  if(wiringPiSetup() == -1)
    return 1;

  pinMode(PIR, INPUT);

  int input = 0;

  for(;;)
  {
    if(digitalRead(PIR))
```

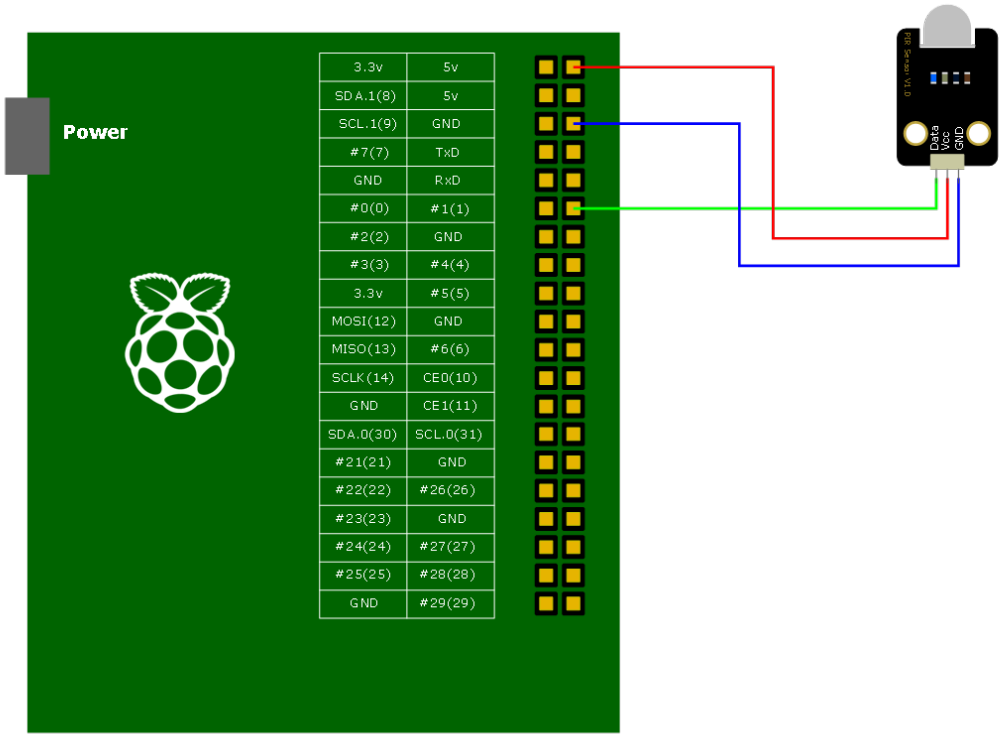


Figure 8 PIR Motion Sensor Test

```
18        printf("Motion Detected!\n");
19
20      delay(100);
21    }
22
23    return 0;
24  }
```

Listing 2.2 pri.c

컴파일 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi# gcc -o pir pir.c -lwiringPi
pi@raspberrypi# sudo ./pir
```

Motion이 감지되면 성공

2.3 Humidity and Temperature Sensor

DHT11

DHT11 센서를 이용하여 온도와 습도를 읽어 보자. 그림12와 같은 회로를 구성한다. 소스 코드는 다음과 같다.

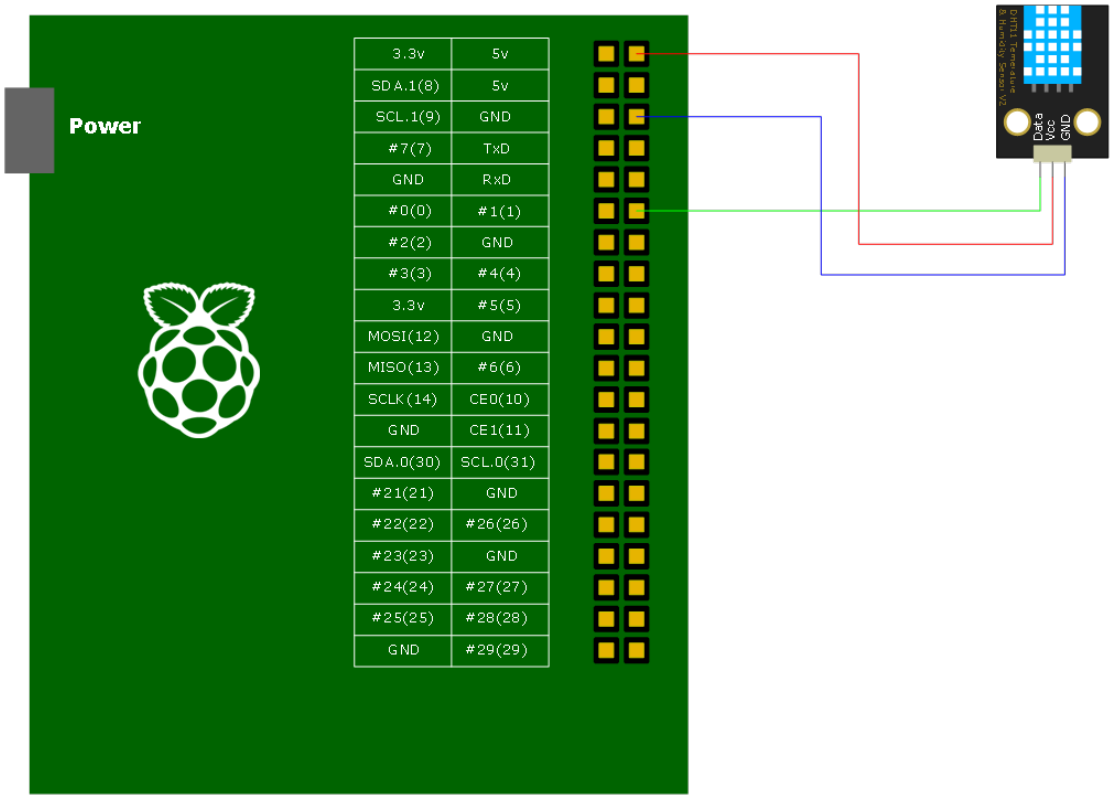


Figure 9 DHT11 Sensor Test

```
#include <wiringPi.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdint.h>

#define MAX_TIME 85
#define DHT11PIN 1

int dht11_val[5]={0,0,0,0,0};

void dht11_read_val()
{
uint8_t lststate=HIGH;
  uint8_t counter=0;
  uint8_t j=0,i;

  for(i=0;i<5;i++)
     dht11_val[i]=0;

  pinMode(DHT11PIN,OUTPUT);
  digitalWrite(DHT11PIN,LOW);

  delay(18);

  digitalWrite(DHT11PIN,HIGH);
```

```
26
27    delayMicroseconds(40);
28
29    pinMode(DHT11PIN,INPUT);
30    for(i=0;i<MAX_TIME;i++)
31    {
32      counter=0;
33      while(digitalRead(DHT11PIN)==laststate){
34        counter++;
35        delayMicroseconds(1);
36        if(counter==255)
37     break;
38      }
39
40      laststate=digitalRead(DHT11PIN);
41
42      if(counter==255)
43         break;
44
45      // top 3 transistions are ignored
46      if((i>=4)&&(i%2==0)){
47        dht11_val[j/8]<<=1;
48        if(counter>16)
49     dht11_val[j/8]|=1;
50        j++;
51      }
52    }
53
54    // verify cheksum and print the verified data
55    if((j>=40)&&(dht11_val[4]==((dht11_val[0]+dht11_val[1]+dht11_val[2]+dht11_val[3])& 0xFF)))
56    {
57      farenheit=dht11_val[2]*9./5.+32;
58      printf("H = %d.%d\nT = %d.%d\n",dht11_val[0],dht11_val[1],dht11_val[2],dht11_val[3]);
59    }
60    else
61      printf("Invalid Data!!\n");
62  }
63
64  int main(void)
65  {
66    if(wiringPiSetup()==-1)
67      exit(1);
68
69    while(1)
70    {
71       dht11_read_val();
72         delay(1000);
73    }
74
75    return 0;
76  }
```

Listing 2.3 dht11.c

컴파일 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi# gcc -o dht11 dht11.c -lwiringPi
pi@raspberrypi# sudo ./dht11
```

온습도 값이 출력되면 성공!

DS1820

DS1820 센서를 이용하여 온도를 읽어 보자. 소스코드는 다음과 같다.

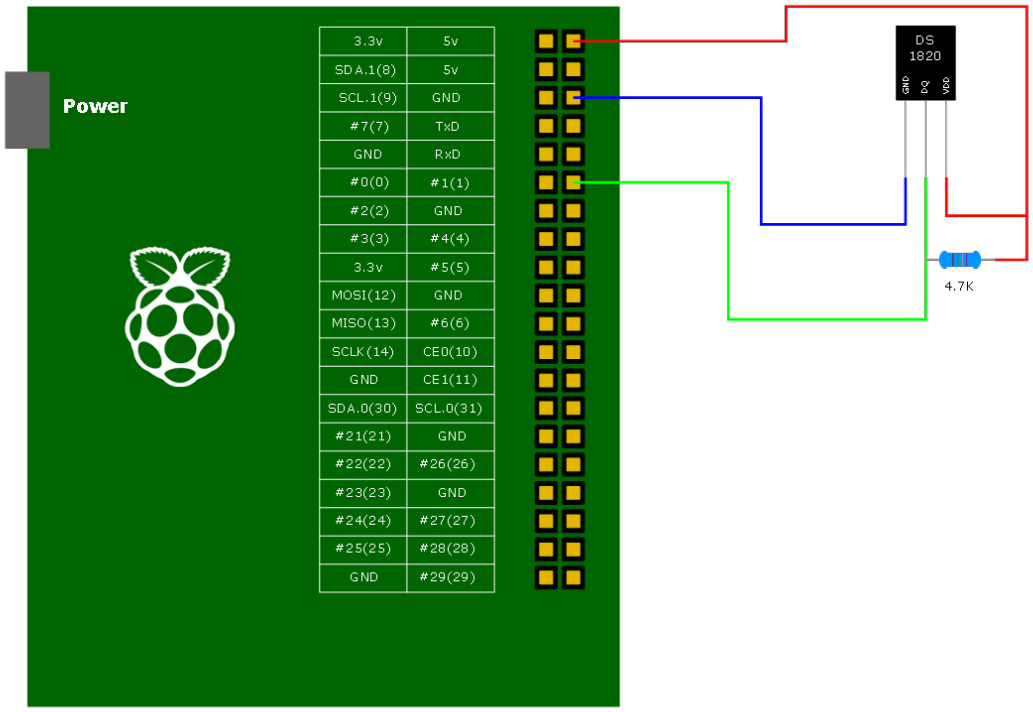


Figure 10 DS1820 Temperature Sensor Test

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <stdlib.h>
4  #include <stdint.h>
5
6  #include <wiringPi.h>
7
8  #define PIN_NUM 1
9
10 float ds1820_read();
11 int onewire_reset();
12 void onewire_write(uint8_t data);
13 void onewire_write_bit(int bit);
14 uint8_t onewire_read();
15 int onewire_read_bit();
16 uint8_t crc_read();
17 uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data);
18
19 int main()
20 {
21   if(wiringPiSetup() == -1)
22     return 1;
```

```
23
24    float temp = 0.0f;
25
26    while(1)
27    {
28      temp = ds1820_read();
29      printf("%.1f\n", temp);
30
31     delay(1000);
32    }
33  }
34  float ds1820_read()
35  {
36    uint8_t busy = 1;
37
38    onewire_reset();
39    onewire_write(0xCC);
40    onewire_write(0x44);
41
42    delay(750);
43    while(busy == 0)
44    {
45      busy = onewire_read();
46      printf("busy: %d\n", busy);
47    }
48
49    onewire_reset();
50    onewire_write(0xCC);
51    onewire_write(0xBE);
52
53    uint8_t lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c, crc;
54    float real_temp = 0.0f;
55    signed char temp_read = 0;
56
57    lsb = onewire_read();
58    msb = onewire_read();
59    th = onewire_read();
60    tl = onewire_read();
61    reserved1 = onewire_read();
62    reserved2 = onewire_read();
63    count_remain = onewire_read();
64    count_per_c = onewire_read();
65    crc = onewire_read();
66
67    uint8_t data[] = {lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c};
68
69    onewire_reset();
70
71    if(crc_read(data) == crc)
72    {
73      temp_read = (signed char)(lsb>>1);
74
75      if(msb == 255)
76        temp_read = temp_read | 0x80;
77
78      real_temp = (float)temp_read + 0.85f - (float)count_remain/(float)count_per_c;
79      real_temp = (int)(real_temp * 10) / 10.0f;
80    }
81    else
82      printf("CRC Error  ");
83
84    return real_temp;
```

```
85  }
86
87  int onewire_reset()
88  {
89    int result;
90
91    pinMode(PIN_NUM, OUTPUT);
92
93    digitalWrite(PIN_NUM, LOW);
94    delayMicroseconds(480);
95
96    pinMode(PIN_NUM, INPUT);
97    delayMicroseconds(70);
98
99    result = digitalRead(PIN_NUM);
100
101   delayMicroseconds(410);
102
103   return result;
104 }
105
106 void onewire_write(uint8_t data)
107 {
108   int loop;
109
110   for(loop=0; loop<8; loop++)
111   {
112     onewire_write_bit(data & 0x01);
113
114     data >>= 1;
115   }
116 }
117 void onewire_write_bit(int bit)
118 {
119   pinMode(PIN_NUM, OUTPUT);
120
121   if(bit)
122   {
123     digitalWrite(PIN_NUM, LOW);
124     delayMicroseconds(6);
125     digitalWrite(PIN_NUM, HIGH);
126     delayMicroseconds(64);
127   }
128   else
129   {
130     digitalWrite(PIN_NUM, LOW);
131     delayMicroseconds(60);
132     digitalWrite(PIN_NUM, HIGH);
133     delayMicroseconds(10);
134   }
135
136 }
137
138 uint8_t onewire_read()
139 {
140   int loop, result=0;
141
142   for(loop=0; loop<8; loop++)
143   {
144     result >>= 1;
145
146     if(onewire_read_bit())
```

```
      result |= 0x80;
  }

  return result;
}

int onewire_read_bit()
{
  int result;

  pinMode(PIN_NUM, OUTPUT);

  digitalWrite(PIN_NUM, LOW);
  delayMicroseconds(6);

  pinMode(PIN_NUM, INPUT);
  delayMicroseconds(9);

  result = digitalRead(PIN_NUM) & 0x01;
  delayMicroseconds(55);

  return result;
}

uint8_t crc_read(uint8_t *data)
{
 uint8_t i, crc;

 crc = 0x00;

 for(i=0; i<8; i++)
  crc = crc_cal(crc, data[i]);

 return crc;
}

uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data)
{
  int j;
  for(j=0;j<8;j++) {
      if ((data & 0x01 ) ^ (crc & 0x01)) {
     // DATA ^ LSB CRC = 1
     crc = crc>>1;
     // Set the MSB to 1
     crc = crc | 0x80;
     // Check bit 3
     if (crc & 0x04) {
         crc = crc & 0xFB; // Bit 3 is set, so clear it
     } else {
         crc = crc | 0x04; // Bit 3 is clear, so set it
     }
     // Check bit 4
     if (crc & 0x08) {
         crc = crc & 0xF7; // Bit 4 is set, so clear it
     } else {
         crc = crc | 0x08; // Bit 4 is clear, so set it
     }
      } else {
     // DATA ^ LSB CRC = 0
     crc = crc>>1;
     // clear MSB
     crc = crc & 0x7F;
```

```
209       // No need to check bits, with DATA ^ LSB CRC = 0, they will remain unchanged
210        }
211        data = data>>1;
212    }
213
214    return crc;
215  }
```

Listing 2.4 ds1820.c

컴파일 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi# gcc -o ds1820 ds1820.c -lwiringPi
pi@raspberrypi# sudo ./ds1820
```

온도 값이 출력되면 성공

2.4 Dust Sensor

PM1001

PM1001의 경우 UART 통신을 통해 데이터를 전송하므로 Raspberry Pi의 UART 포트와 연결이 가능하다. 센서에 연결하기 전에 1.2를 참고하여 UART Consol 설정을 해제한다. 테스트 회로는 그림11와 같다. 소스코드는 다음과 같다.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <wiringPi.h>
3  #include <wiringSerial.h>
4
5  int main(void)
6  {
7    int fd;
8
9    if((fd = serialOpen("/dev/ttyAMA0", 9600)) < 0)
10   {
11     printf("Unable to open serial device\n");
12     return 1;
13   }
14
15   if(wiringPiSetup() == -1)
16   {
17     printf("Unable to start wiringPi\n");
18     return 1;
19   }
20
21   serialFlush(fd);
22
23   unsigned char c;
24   int df[4];
25   int dust;
26
27   c = 0x11;
28   serialPutchar(fd, c);
29
30   c = 0x01;
31   serialPutchar(fd, c);
32   serialPutchar(fd, c);
33
34   c = 0xED;
```

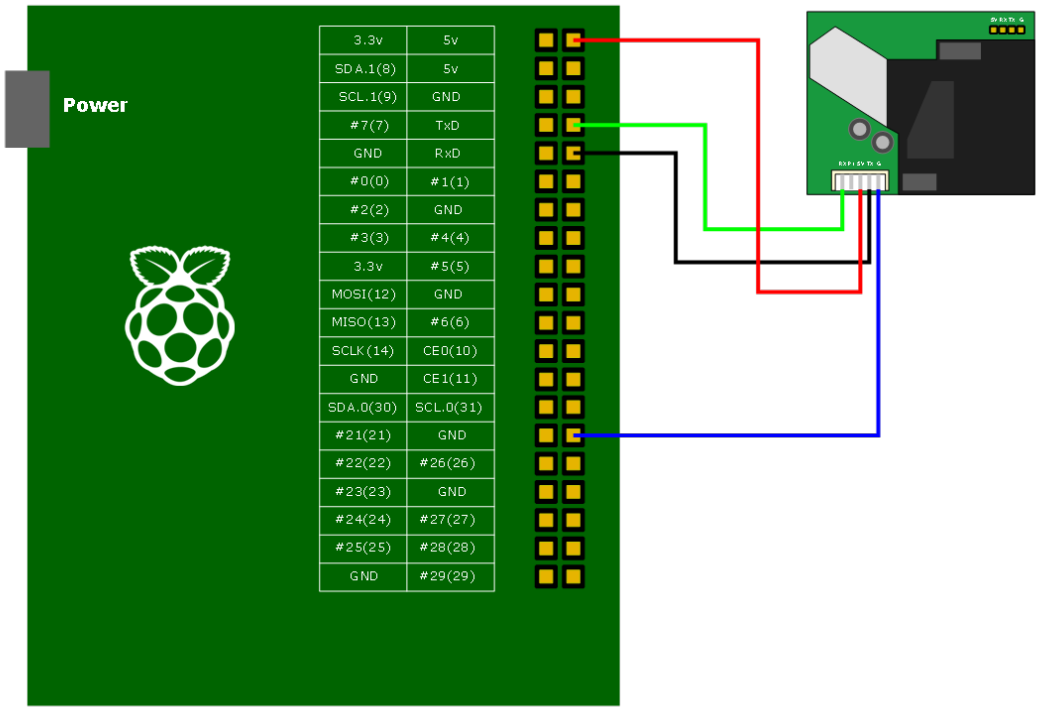


Figure 11 PM1001 Dust Sensor

```
35  serialPutchar(fd, c);
36
37  printf("%d ", serialGetchar(fd));
38  printf("%d ", serialGetchar(fd));
39  printf("%d ", serialGetchar(fd));
40
41  int i=0, j;
42  for(i; i<3; i++)
43  {
44    j=0;
45    for(j; j<4; j++)
46      df[j] = serialGetchar(fd);
47
48    dust = df[0]*256*256*256 + df[1]*256*256 + df[2]*256 + df[3];
49    printf("%d ", dust);
50  }
51
52  printf("%d\n", serialGetchar(fd));
53  printf("%d %d %d %d\n", df[0], df[1], df[2], df[3]);
54
55  serialFlush(fd);
56  serialClose(fd);
57
58  return 0;
```

```
59 }
```

Listing 2.5 pm1001.c

컴파일 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi# gcc -o pm1001 pm1001.c -lwiringPi
pi@raspberrypi# sudo ./pm1001
```

먼지 값이 출력되면 성공

2.5 Motor

L298 Dual H-Brdge

L298 Dual H-Bridge를 이용하여 2Phase Motor를 작동시켜 보자. 그림12와 같은 회로를 구성한다. 소스코드는 다음과 같다.

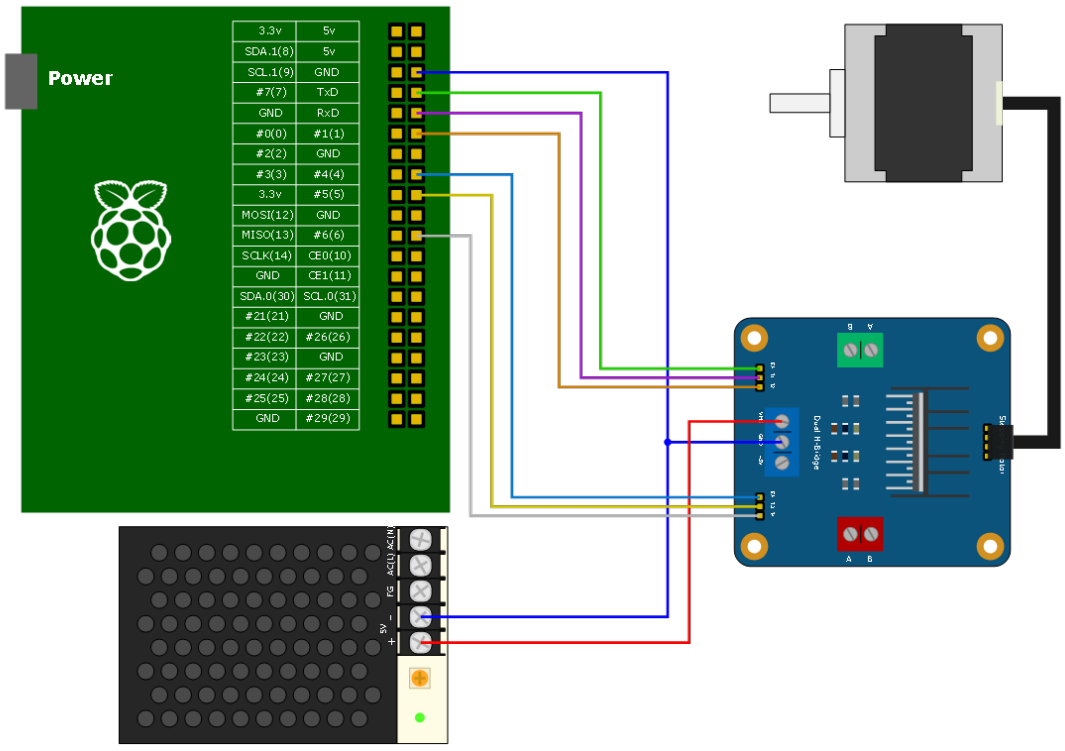


Figure 12 L298 Dual H-Bridge 2Phase Step Motor

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <wiringPi.h>
3
4 #define TRUE 1
5 #define FALSE 0
```

```
6  #define DELAY 1800
7
8  #define EA 15
9  #define EB 4
10 #define IN1 16
11 #define IN2 1
12 #define IN3 5
13 #define IN4 6
14
15 void setStep(int a, int b, int c, int d)
16 {
17    digitalWrite(IN1, a);
18    digitalWrite(IN2, b);
19    digitalWrite(IN3, c);
20    digitalWrite(IN4, d);
21 }
22
23 int main(void)
24 {
25   if(wiringPiSetup() == -1)
26   {
27     printf("Init Error\n");
28     return 1;
29   }
30
31   pinMode(EA, OUTPUT);
32   pinMode(IN1, OUTPUT);
33   pinMode(IN2, OUTPUT);
34   pinMode(EB, OUTPUT);
35   pinMode(IN3, OUTPUT);
36   pinMode(IN4, OUTPUT);
37
38   digitalWrite(EA, TRUE);
39   digitalWrite(EB, TRUE);
40
41   int i;
42   int loop;
43
44   for(;;)
45   {
46     for(i=0; i<500; i++)
47     {
48       setStep(1,0,1,0);
49       delayMicroseconds(DELAY);
50       setStep(0,1,1,0);
51       delayMicroseconds(DELAY);
52       setStep(0,1,0,1);
53       delayMicroseconds(DELAY);
54       setStep(1,0,0,1);
55       delayMicroseconds(DELAY);
56     }
57
58     delay(1000);
59
60     for(i=0; i<500; i++)
61     {
62       setStep(1,0,0,1);
63       delayMicroseconds(DELAY);
64       setStep(0,1,0,1);
65       delayMicroseconds(DELAY);
66       setStep(0,1,1,0);
67       delayMicroseconds(DELAY);
```

```
68        setStep(1,0,1,0);
69        delayMicroseconds(DELAY);
70      }
71
72      delay(1000);
73
74    }
75
76    digitalWrite(EA, FALSE);
77    digitalWrite(EB, FALSE);
```

Listing 2.6 l298.c

위 코드에서 setStep함수는 IN신호를 만드는 함수로 총 4번의 Step이 1Cycle이 된다. 1Step당 1.8도씩 회전하며 총 회전수는 반복문을 통해 제어 가능하다. 따라서 모터를 1회전 하고자 하면 반복 횟수를 50(360 / 1.8 / 4)으로 하면 된다. 모터 속도는 DELAY시간에 따라 바뀌는데 시간이 너무 짧은 경우 회전하지 않는다. 모통 모터마다 최대 응답속도가 있으므로 그에 맞게 조절해야 한다. 테스트한 모터의 경우 1.8ms(대략 167rpm)보다 짧은 경우 불규칙적인 회전을 보인다. Step신호를 반대로 주면 순서가 반대로 작용하므로 모터 방향이 바뀐다. 모터의 방향은 Step순서를 반대로 하면 된다.

MD5-DH14

MD-DH14 Motor Driver를 이용하여 5Phase Pentagon방식의 Step Motor를 작동시켜 보자. 그림13과 같이 회로를 구성한다. 소스코드는 다음과 같다.

```
1   #include <stdio.h>
2   #include <wiringPi.h>
3
4   #define PULSE 5000
5
6   int main(void)
7   {
8     if(wiringPiSetup() == -1)
9     {
10      printf("Init Error\n");
11      return 1;
12    }
13
14    pinMode(1, OUTPUT);
15    pinMode(4, OUTPUT);
16
17    int pulse;
18    for(;;)
19    {
20      digitalWrite(4, 0);
21      for(pulse=0; pulse<PULSE; pulse++)
22      {
23        digitalWrite(1, 1);
24        delayMicroseconds(500);
25        digitalWrite(1, 0);
26        delayMicroseconds(500);
27      }
28
29      digitalWrite(4, 1);
30      for(pulse=0; pulse<PULSE; pulse++)
31      {
32        digitalWrite(1, 1);
```

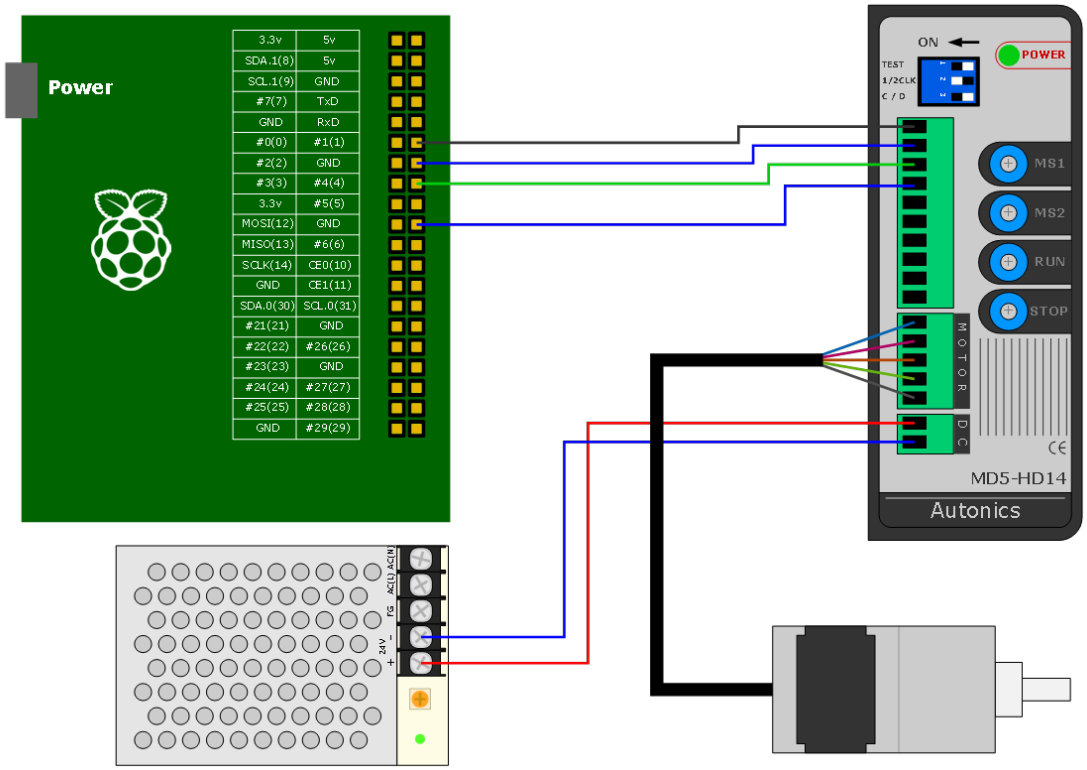


Figure 13 5Phase Motor Test

```
33        delayMicroseconds(500);
34        digitalWrite(1, 0);
35        delayMicroseconds(500);
36      }
37    }
38  }
```

Listing 2.7 md5dh14.c

3 EPICS Integration

여기서는 앞서 테스트한 Sensor 및 Device를 EPICS에 Integration하고 Channel Access를 통해 값을 Monitoring 또는 Control하는 방법에 대하여 기술하였다. 본 Chapter에서 사용된 EPICS는 3.14.12.4 버전이며 전체적으로 다음과 같은 구조를 바탕으로 하고 있다.

3.1 Installation

위 구조에 맞게 EPICS를 설치하기 위해 git으로 부터 script파일을 받는다.

```
pi@raspberrypi# git clone https://github.com/jeonghanlee/scripts_for_epics
```

3.2 Library

synApps

3.3 GPIO

section2.2에서 진행하였던 GPIO 테스트를 EPICS로 Integration 하여 테스트해 본다. 최종 목표는 그림7과 같이 회로를 구성하고 다음 epics db를 통해 GPIO를 제어하는 것이다.

```
record(bi, "inp1")
{
  field(DTYP, "GPIO")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1")
}

record(bo, "out4")
{
  field(DTYP, "GPIO")
  field(OUT, "@4")
}
```

코드 작성에 앞서 테스트 할 기본 폴더 및 EPICS Application 구조를 생성한다.

```
pi@ctrlpi3 cd ../epics/R3.14.12.4/siteApps
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps# mkdir gpio
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps# cd gpio
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio# makeBaseApp.pl -t ioc gpio
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio# makeBaseApp.pl -i -t ioc gpio

Using target architecture linux-arm (only one available)
The following applications are available:
    gpio
What application should the IOC(s) boot?
The default uses the IOC's name, even if not listed above.
Application name? gpio
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio# ls
conigure  gpioApp  iocBoot Makefile
```

gpioApp/src 폴더로 이동한 후 devGPIO.c 파일을 만들어 다음과 같이 코드를 작성한다.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <stdlib.h>
4
5  #include <epicsExport.h>
6  #include <devSup.h>
7  #include <boRecord.h>
8  #include <biRecord.h>
9
10 #include <wiringPi.h>
11
12 static long bo_init_record(boRecord *pbo);
13 static long bi_init_record(biRecord *pbi);
14
15 static long write_bo(boRecord *pbo);
16 static long read_bi(biRecord *pbi);
17
18 struct Pin_Info
19 {
20   int pin_num;
```

```
21  };
22
23  static long bo_init_record(boRecord *pbo)
24  {
25    struct Pin_Info *pin_info = malloc(sizeof(struct Pin_Info));
26
27    if(wiringPiSetup() == -1)
28      return 1;
29
30    int pin_num = 0;
31    pin_num = atoi(pbo->out.value.instio.string);
32
33    pinMode(pin_num, OUTPUT);
34
35    pin_info->pin_num = pin_num;
36
37    pbo->dpvt = pin_info;
38
39    return 0;
40  }
41
42  static long bi_init_record(biRecord *pbi)
43  {
44    struct Pin_Info *pin_info = malloc(sizeof(struct Pin_Info));
45
46    if(wiringPiSetup() == -1)
47      return 1;
48
49    int pin_num = 0;
50    pin_num = atoi(pbi->inp.value.instio.string);
51
52    pinMode(pin_num, INPUT);
53
54    pin_info->pin_num = pin_num;
55
56    pbi->dpvt = pin_info;
57
58    return 0;
59  }
60
61
62  static long write_bo(boRecord *pbo)
63  {
64    struct Pin_Info *pin_info = pbo->dpvt;
65
66    int pin = pin_info->pin_num;
67    int val = pbo->rval;
68
69    digitalWrite(pin, val);
70
71    return 0;
72  }
73
74  static long read_bi(biRecord *pbi)
75  {
76    struct Pin_Info *pin_info = pbi->dpvt;
77
78    int pin = pin_info->pin_num;
79    int val = digitalRead(pin);
80
81    pbi->rval = val;
82
```

```
83    return 0;
84  }
85
86  struct
87  {
88    long num;
89    DEVSUPFUN     report;
90    DEVSUPFUN     init;
91    DEVSUPFUN     init_record;
92    DEVSUPFUN     get_ioint_info;
93    DEVSUPFUN     write_bo;
94    DEVSUPFUN     special_linconv;
95  } devBoGpioAsync = {
96    6,
97    NULL,
98    NULL,
99    bo_init_record,
100   NULL,
101   write_bo,
102   NULL
103 };
104
105 struct
106 {
107   long num;
108   DEVSUPFUN     report;
109   DEVSUPFUN     init;
110   DEVSUPFUN     init_record;
111   DEVSUPFUN     get_ioint_info;
112   DEVSUPFUN     read_bi;
113   DEVSUPFUN     special_linconv;
114 } devBiGpioAsync = {
115   6,
116   NULL,
117   NULL,
118   bi_init_record,
119   NULL,
120   read_bi,
121   NULL
122 };
123
124 epicsExportAddress(dset,devBoGpioAsync);
125 epicsExportAddress(dset,devBiGpioAsync);
```

Listing 3.1 devGPIO.c

코드 작성이 완료되면 devGPIO.dbd 파일을 만든다.

```
device(bo, INST_IO, devBoGpioAsync, "GPIO")
device(bi, INST_IO, devBiGpioAsync, "GPIO")
```

앞서 작성한 코드를 Build하기 위해 Makefile에 다음과 같이 추가한다.

```
TOP=../..

include $(TOP)/configure/CONFIG

USR_INCLUDES += -I/home/pi/wiringPi/wiringPi
wiringPi_DIR += /home/pi/wiringPi/wiringPi /home/pi/wiringPi/devLib

#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE
#============================
```

```
#============================
# Build the IOC application

PROD_IOC = gpio
# gpio.dbd will be created and installed
DBD += gpio.dbd

# gpio.dbd will be made up from these files:
gpio_DBD += base.dbd

# Include dbd files from all support applications:
#gpio_DBD += xxx.dbd
gpio_DBD += devGPIO.dbd

# Add all the support libraries needed by this IOC
#gpio_LIBS += xxx
gpio_LIBS += wiringPi

# gpio_registerRecordDeviceDriver.cpp derives from gpio.dbd
gpio_SRCS += gpio_registerRecordDeviceDriver.cpp
gpio_SRCS += devGPIO.c

# Build the main IOC entry point on workstation OSs.
gpio_SRCS_DEFAULT += gpioMain.cpp
gpio_SRCS_vxWorks += -nil-

# Add support from base/src/vxWorks if needed
#gpio_OBJS_vxWorks += $(EPICS_BASE_BIN)/vxComLibrary

# Finally link to the EPICS Base libraries
gpio_LIBS += $(EPICS_BASE_IOC_LIBS)

#===========================

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

db파일을 만들기 위해 gpioApp/Db 폴더로 이동한 후 다음과 같은 gpio.db 파일을 만든다.

```
record(bi, "inp1")
{
  field(DTYP, "GPIO")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1")
}

record(bo, "out4")
{
  field(DTYP, "GPIO")
  field(OUT, "@4")
}
```

gpio.db에서는 GPIO 1번을 입력으로 4번을 출력으로 설정했음을 알 수있다. Makefile에 db파일을 추가해 준다.
마지막으로 앞서 작성한 파일들을 컴파일 하기 위해 gpio폴더로 이동한 후 make를 실행한다.

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio# make
```

make가 완료되면 bin/linux-arm 폴더에 gpio 파일과 db 폴더에 gpio.db 파일이 만들어 진다. 이제 ioc를 실행시키기 위해 iocBoot/iocgpio 폴더로 이동 후 st.cmd파일에 gpio.db를 Load하는 코드를 추가해 준다.

```
#!../../bin/linux-arm/gpio

## You may have to change gpio to something else
## everywhere it appears in this file

< envPaths

cd ${TOP}

## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/gpio.dbd"
gpio_registerRecordDeviceDriver pdbbase

## Load record instances
#dbLoadTemplate "db/userHost.substitutions"
#dbLoadRecords "db/dbSubExample.db", "user=piHost"
dbLoadRecords "db/gpio.db"

## Set this to see messages from mySub
#var mySubDebug 1

## Run this to trace the stages of iocInit
#traceIocInit

cd ${TOP}/iocBoot/${IOC}
iocInit

## Start any sequence programs
#seq sncExample, "user=piHost"
```

마지막으로 st.cmd파일을 실행파일로 변경한 후 실행시킨다.

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio/iocBoot/iocdht11 $ chmod 755 st.cmd
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/gpio/iocBoot/iocdht11 $ sudo ./st.cmd
```

output 테스트를 위해 다음과 같이 out4 출력값을 1로 하고 LED에 불이 들어오는지 확인한다.

```
epics> dbpf out4 1
```

input 테스트는 버튼을 눌렀을 때 inp1 값을 읽어 확인한다.

```
epics> dbpr inp1
ASG:                DESC:               DISA: 0             DISP: 0
DISV: 1             NAME: gpio:inp1     RVAL: 0             SEVR: NO_ALARM
STAT: NO_ALARM      SVAL: 0             TPRO: 0             VAL: 1
```

3.4 Dust Sensor

section2.4에서 진행하였던 PM1001 Sensor를 EPICS로 Integration 하여 테스트해 본다. 최종 목표는 그림11와 같이 회로를 구성하고 다음 epics db를 통해 먼지값을 읽는것이다.

```
record(ai,"PI:DUST")
{
  field(DTYP, "stream")
```

```
  field(INP, "@sensor.proto get_dust UART")
  field(SCAN, "1 second")
}
```

코드 작성에 앞서 기본 폴더 및 EPICS Application 구조를 생성한다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4 $ cd siteApps
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ mkdir pm1001
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ cd pm1001
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001 $ makeBaseApp.pl -t ioc pm1001
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001 $ makeBaseApp.pl -i -t ioc pm1001
Using target architecture linux-arm (only one available)
The following applications are available:
    pm1001
What application should the IOC(s) boot?
The default uses the IOC's name, even if not listed above.
Application name? pm1001
```

pm1001/configure/RELEASE 파일에 asyn과 stream Library위치를 추가해 준다.

```
# RELEASE - Location of external support modules
#
# IF YOU MAKE ANY CHANGES to this file you must subsequently
# do a "gnumake rebuild" in this application's top level
# directory.
#
# The build process does not check dependencies against files
# that are outside this application, thus you should do a
# "gnumake rebuild" in the top level directory after EPICS_BASE
# or any other external module pointed to below is rebuilt.
#
# Host- or target-specific settings can be given in files named
#  RELEASE.$(EPICS_HOST_ARCH).Common
#  RELEASE.Common.$(T_A)
#  RELEASE.$(EPICS_HOST_ARCH).$(T_A)
#
# This file should ONLY define paths to other support modules,
# or include statements that pull in similar RELEASE files.
# Build settings that are NOT module paths should appear in a
# CONFIG_SITE file.

TEMPLATE_TOP=$(EPICS_BASE)/templates/makeBaseApp/top

# If using the sequencer, point SNCSEQ at its top directory:
#SNCSEQ=$(EPICS_BASE)/../modules/soft/seq

# EPICS_BASE usually appears last so other apps can override stuff:
EPICS_BASE=/home/pi/epics/R3.14.12.4/base

# Set RULES here if you want to take build rules from somewhere
# other than EPICS_BASE:
#RULES=/path/to/epics/support/module/rules/x-y

ASYN=$(EPICS_PATH)/siteLibs
STREAM=$(EPICS_PATH)/siteLibs
```

pm1001App/src 폴더로 이동하면 pm1001Main.cpp와 Makefile이 있다. Makefile에 다음 코드를 추가한다.

```
TOP=../..

include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
```

```
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE
#============================

#============================
# Build the IOC application

PROD_IOC = pm1001
# pm1001.dbd will be created and installed
DBD += pm1001.dbd

# pm1001.dbd will be made up from these files:
pm1001_DBD += base.dbd

# Include dbd files from all support applications:
#pm1001_DBD += xxx.dbd

pm1001_DBD += stream.dbd
pm1001_DBD += drvAsynSerialPort.dbd

# Add all the support libraries needed by this IOC
#pm1001_LIBS += xxx

pm1001_LIBS += stream
pm1001_LIBS += asyn

# pm1001_registerRecordDeviceDriver.cpp derives from pm1001.dbd
pm1001_SRCS += pm1001_registerRecordDeviceDriver.cpp

# Build the main IOC entry point on workstation OSs.
pm1001_SRCS_DEFAULT += pm1001Main.cpp
pm1001_SRCS_vxWorks += -nil-

# Add support from base/src/vxWorks if needed
#pm1001_OBJS_vxWorks += $(EPICS_BASE_BIN)/vxComLibrary

# Finally link to the EPICS Base libraries
pm1001_LIBS += $(EPICS_BASE_IOC_LIBS)

#===========================

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

이제 필요한 Library는 사용준비가 되었으므로 db와 proto 파일을 만들도록 한다. pm1001App/Db 폴더로 이동하여 pm1001.db 파일을 만들고 Makefile에 추가해 준다.

```
record(ai,"SS:DUST")
{
  field(DTYP, "stream")
  field(INP, "@sensor.proto get_dust UART")
  field(SCAN, "1 second")
}
```

```
TOP=../..
include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE

#----------------------------------------------------
#  Optimization of db files using dbst (DEFAULT: NO)
#DB_OPT = YES
```

```
#----------------------------------------------------
# Create and install (or just install) into /db
# databases, templates, substitutions like this
#DB += xxx.db
DB += pm1001.db

#----------------------------------------------------
# If .db template is not named *.template add
# _template =

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

proto 파일을 만들기 앞서 pm1001 센서의 통신 명령어를 알아야 한다. 메뉴얼을 참고하면 통신 명령어가 다음과 같음을 알 수 있다.

SEND: [IP] [LB] [CMD] [DF] [CS]

RESPONSE: [ACK] [LB] [CMD] [DF] [CS]

여기서 각 명령에 대한 의미는 다음과 같다.

[IP]: address(fixed as 0x11) [LB]: byte length followed does not include CS [CMD]: command [DF]: parameter items with command, optional [CS]: CS = -(IP + LB + CMD + DF) [ACK] 0x16 right command

예를 들어 PM1001로 부터 먼지 값을 읽는 명령어는 다음과 같다. SEND: 0X11, 0X01, 0X01, 0XED RESPONSE: 0x16, 0x0D, 0x01, 4BytePM값, 4BytePM값, 4BytePM값, [CS] 여기서 PM값은 4Byte(DF0, DF1, DF2, DF3)로 구성된 먼지 데이터 값으로 측정 값은 다음과 같다. Measured value = DF0 * 256 * 256 * 256 + DF1 * 256 * 256 + DF2 * 256 + DF3 참고로 값은 값이 3번 반복해서 출력되므로 첫 번째 값만 읽으면 된다. 이제 proto 파일을 만들기 위해 pm1001에서 proto폴더를 하나 만든 후 pm1001.proto 파일을 다음과 같이 작성한다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001 $ mkdir proto
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001 $ cd proto
```

```
get_dust{
   out "\x11\x01\x01\xED";
   in "%*3r%4r%*4r%*4r%*1r";
}
```

get_dust 함수는 out을 통해 먼지 값을 읽어오는 명령을 전송한다. pm1001 센서는 응답 값으로 총 16byte의 값을 리턴하는데 이 중 먼지 데이터는 처음 3byte 이후 4byte 씩 3번 반복되므로 첫 4byte만 저장하고 checksum을 포함한 나머지 byte는 무시한다. 참고로 읽고자 하는 값을 무시 하고 싶을 때는 '*'를 앞에다 붙이면 된다. 여기에서는 4byte를 읽으므로 앞서 말한 Measured value를 계산하기 위해 256을 곱하지 않아도 된다. 만약 DF0 DF3을 따로 읽고자 하면 다음과 같이 1byte씩 읽으면 된다.

```
get_d0{
   out "\x11\x01\x01\xED";
   in "%*3r%1r%*3r%*4r%*4r%*1r";
}

get_d1{
   out "\x11\x01\x01\xED";
   in "%*3r%*1r%1r%*2r%*4r%*4r%*1r";
```

```
}

get_d2{
   out "\x11\x01\x01\xED";
   in "%*3r%*2r%1r%*1r%*4r%*4r%*1r";
}

get_d3{
   out "\x11\x01\x01\xED";
   in "%*3r%*3r%1r%*4r%*4r%*1r";
}
```

이제 pm1001폴더로 이동하여 make를 실행하자

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001 $ make
```

ioc를 실행하기 위해 iocBoot/iocpm1001로 이동 후 st.cmd 파일에 다음과 같이 추가 한다.

```
#!../../bin/linux-arm/pm1001

## You may have to change pm1001 to something else
## everywhere it appears in this file

< envPaths

cd ${TOP}

epicsEnvSet "STREAM_PROTOCOL_PATH" "../../proto"

## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/pm1001.dbd"
pm1001_registerRecordDeviceDriver pdbbase

drvAsynSerialPortConfigure "UART" "/dev/ttyAMA0"

asynSetOption("UART", 0, "baud", "9600")
asynSetOption("UART", 0, "bits", "8")
asynSetOption("UART", 0, "parity", "none")

## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/pm1001.db")

cd ${TOP}/iocBoot/${IOC}
iocInit

## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
```

st.cmd를 실행파일로 변경한 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001/iocBoot/iocpm1001 $ chmod 755 st.cmd
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001/iocBoot/iocpm1001 $ sudo ./st.cmd
#!../../bin/linux-arm/pm1001
## You may have to change pm1001 to something else
## everywhere it appears in this file
< envPaths
epicsEnvSet("ARCH","linux-arm")
epicsEnvSet("IOC","iocpm1001")
epicsEnvSet("TOP","/home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001")
epicsEnvSet("EPICS_BASE","/home/pi/epics/R3.14.12.4/base")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001
epicsEnvSet "STREAM_PROTOCOL_PATH" "../../proto"
```

```
## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/pm1001.dbd"
pm1001_registerRecordDeviceDriver pdbbase
drvAsynSerialPortConfigure "UART" "/dev/ttyAMA0"
asynSetOption("UART", 0, "baud", "9600")
asynSetOption("UART", 0, "bits", "8")
asynSetOption("UART", 0, "parity", "none")
## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/sensor.db")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/pm1001/iocBoot/iocpm1001
iocInit
Starting iocInit
############################################################################
## EPICS R3.14.12.4 $Date: Mon 2013-12-16 15:51:45 -0600$
## EPICS Base built Oct  4 2014
############################################################################
iocRun: All initialization complete
## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
```

먼지 값이 읽어지면 끝!

```
epics> dbpr SS:DUST
ASG:                DESC:               DISA: 0             DISP: 0
DISV: 1             NAME: SS:DUST       RVAL: 673           SEVR: NO_ALARM
STAT: NO_ALARM      SVAL: 0             TPRO: 0             VAL: 673
```

참고로 pm1001 센서는 먼지 값을 수량PCS/L값 으로 출력해 주는데 이 값을 농도(ug/m^3)으로 변환 하고자 할 경우 다음 식을 사용하면 된다.

농도(ug/m^3) = ((수량PCS/L값) * 3,528) / 100,000

3.5 Temperature & Humidity Sensor

DHT11

본 메뉴얼에서는 다음과 같은 하드웨어 구성과 EPICS Record를 만들어 DHT11센서의 온습도를 읽는 Library를 만드는 것이다. 여기서 "@1"은 GPIO Pin 번호를 의미한다. 하드웨어 구성은 다음과 같다.

Raspberry Pi Model B+ DHT11 Sensor 최종 목표는 다음 Record를 만들어 온습도 값을 읽는 것이다.

```
record(ai, "tem")
{
  field(DTYP, "DHT11")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1 temperature")
}

record(ai, "hum")
{
  field(DTYP, "DHT11")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1 humidity")
}
```

siteApps안에 dht11폴더를 만든 후 Base Application을 생성한다.

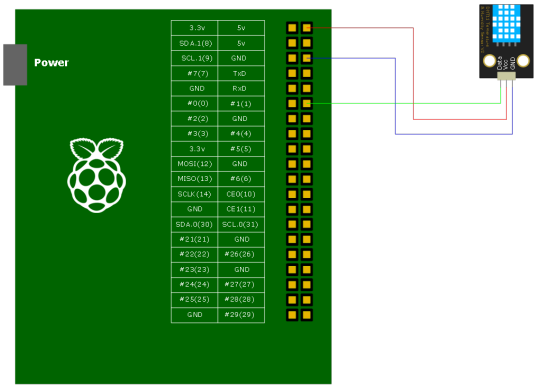


Figure 14 DHT11 Sensor Test

```
pi@ctrlpi3 cd ../epics/R3.14.12.4/siteApps
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ mkdir dht11
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ cd dht11
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11 $ makeBaseApp.pl -t ioc dht11
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11 $ makeBaseApp.pl -i -t ioc dht11

Using target architecture linux-arm (only one available)
The following applications are available:
    dht11
What application should the IOC(s) boot?
The default uses the IOC's name, even if not listed above.
Application name?

pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11 $ ls
conigure  dht11App  iocBoot Makefile
\begin{lstlisting}[style=termstylenumber, caption={Editing \texttt{/etc/fai/NFSROOT}}, label={list
     :nfsroot-file}]
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#include <epicsExport.h>
#include <devSup.h>
#include <recSup.h>
#include <recGbl.h>
#include <dbAccess.h>
#include <callback.h>
#include <aiRecord.h>

#include <wiringPi.h>

static long ai_init_record(aiRecord *pai);
static long read_ai(aiRecord *pai);

static long ai_init_record(aiRecord *pai)
{
}

static long read_ai(aiRecord *pai)
{
}
```

```
struct
{
  long num;
  DEVSUPFUN     report;
  DEVSUPFUN     init;
  DEVSUPFUN     init_record;
  DEVSUPFUN     get_ioint_info;
  DEVSUPFUN     read_ai;
  DEVSUPFUN     special_linconv;
} devAiDHT11Async = {
  6,
  NULL,
  NULL,
  ai_init_record,
  NULL,
  read_ai,
  NULL
};

epicsExportAddress(dset,devAiDHT11Async);
```

기본 구조는 아날로그 입력을 위해 aiRecord를 사용하였으며, 초기화 함수와 센서 값을 읽기 위한 함수로 구성되어 있다. 또한 wiringPi Library를 사용하기 위해 헤더파일을 추가하였다. dset을 devAiDHT11Async로 설정하였으므로 devDHT11.dbd 파일을 만들어 다음과 같이 작성한다.

```
device(ai, INST_IO, devAiDHT11Async, "DHT11")
```

이제 실제 코드를 작성하도록 한다. 우선 코드를 Asynchronous 형식으로 만들기 위해 다음과 같이 Callback 함수를 만들고 초기화 한다.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <stdlib.h>
4
5  #include <epicsExport.h>
6  #include <devSup.h>
7  #include <recSup.h>
8  #include <recGbl.h>
9  #include <dbAccess.h>
10 #include <callback.h>
11 #include <aiRecord.h>
12
13 #include <wiringPi.h>
14
15 typedef struct _DHT_INFO
16 {
17   CALLBACK callback;
18
19 }DHT_INFO;
20
21 static long ai_init_record(aiRecord *pai);
22 static long read_ai(aiRecord *pai);
23
24 static void myCallback(CALLBACK *pcallback)
25 {
26   aiRecord *precord;
27   struct rset *prset;
28
29   callbackGetUser(precord, pcallback);
```

```
30    prset = (struct rset *)(precord->rset);
31
32    dbScanLock((dbCommon*)precord);
33    (*prset->process)(precord);
34    dbScanUnlock((dbCommon*)precord);
35  }
36
37  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
38  {
39    DHT_INFO *dht_info = malloc(sizeof(DHT_INFO));
40
41    callbackSetCallback(myCallback, &dht_info->callback);
42    callbackSetPriority(priorityLow, &dht_info->callback);
43    callbackSetUser(pai, &dht_info->callback);
44
45    pai->dpvt = dht_info;
46  }
47
48  static long read_ai(aiRecord *pai)
49  {
50    DHT_INFO *dht_info = pai->dpvt;
51
52    if(pai->pact)
53    {
54      pai->udf = FALSE;
55
56      return 2;
57    }
58
59    pai->pact = TRUE;
60    callbackRequestDelayed(&dht_info->callback, pai->disv);
61
62    return 0;
63
64  }
65
66  struct
67  {
68    long num;
69    DEVSUPFUN     report;
70    DEVSUPFUN     init;
71    DEVSUPFUN     init_record;
72    DEVSUPFUN     get_ioint_info;
73    DEVSUPFUN     read_ai;
74    DEVSUPFUN     special_linconv;
75  } devAiDHT11Async = {
76    6,
77    NULL,
78    NULL,
79    ai_init_record,
80    NULL,
81    read_ai,
82    NULL
83  };
84
85  epicsExportAddress(dset,devAiDHT11Async);
```

Listing 3.2 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

DHT_INFO 구조체는 callback 함수의 포인터를 포함하여 센서에 대한 정보를 저장하기 위한 구조체 이다. 기본적인 준비가 되었으므로 몇가지 초기화 작업을 다음과 같이 추가한다.

```
1  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
2  {
3    DHT_INFO *dht_info = malloc(sizeof(DHT_INFO));
4
5    callbackSetCallback(myCallback, &dht_info->callback);
6    callbackSetPriority(priorityLow, &dht_info->callback);
7    callbackSetUser(pai, &dht_info->callback);
8
9    if(wiringPiSetup() == -1)
10     return 1;
11
12   char *para;
13   char *sensor;
14   int pin_num = 0;
15   int mode = 0;
16
17   para = pai->inp.value.instio.string;
18
19   pin_num = atoi(strtok(para, " "));
20   sensor = strtok(NULL, " ");
21
22   if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
23     mode = 0;
24   else
25     mode = 1;
26
27   pai->dpvt = dht_info;
28
29   return 0;
30 }
```

Listing 3.3 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

다음에는 Record에서 설정한 Pin번호와 Read Type(Humidity 또는 Temperature)를 읽어 공백을 기준으로 분리해서 각각 변수에 저장한다. 참고로 atoi는 문자열을 정수형으로 변환해주는 C Library 함수이고, strtok는 문자열을 분리 문자를 기준으로 문자를 분리해서 반환시켜 준다.

```
para = pai->inp.value.instio.string;

pin_num = atoi(strtok(para, " "));
sensor = strtok(NULL, " ");
```

이제 분리된 문자중 Read Type에 따라 mode 값을 설정한다.

```
if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
  mode = 0;
else
  mode = 1;
```

지금까지 저장된 pin_num과 mode값을 read_ai 함수에서 사용하기 위해 다음과 같이 DHT_INFO 구조체에 변수를 추가하고 값을 Pin Number와 Mode로 초기화 한다.

```
1  struct _DHT_INFO
2  {
3    CALLBACK callback;
4
5    int pin_num;
6    int pin_mode;
7
8  }DHT_INFO;
```

```

...
...

static long ai_init_record(aiRecord *pai)
{
  DHT_INFO *dht_info = malloc(sizeof(DHT_INFO));

  callbackSetCallback(myCallback, &dht_info->callback);
  callbackSetPriority(priorityLow, &dht_info->callback);
  callbackSetUser(pai, &dht_info->callback);

  if(wiringPiSetup() == -1)
    return 1;

  char *para;
  char *sensor;
  int pin_num = 0;
  int mode = 0;

  para = pai->inp.value.instio.string;

  pin_num = atoi(strtok(para, " "));
  sensor = strtok(NULL, " ");

  if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
    mode = 0;
  else
    mode = 1;

  dht_info->pin_num = pin_num;
  dht_info->pin_mode = mode;

  pai->dpvt = dht_info;

  return 0;
}
```

Listing 3.4 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

다음은 read_ai 함수에 실제 값을 읽어 Record 변수에 저장하는 코드를 추가한다.

```
static long read_ai(aiRecord *pai)
{
  DHT_INFO *dht_info = pai->dpvt;

  if(pai->pact)
  {
    readDHT11(dht_info);

    if(dht_info->pin_mode == 0)
      pai->val = dht_info->val_h;
    else
      pai->val = dht_info->val_t;

    pai->udf = FALSE;

    return 2;
  }

  pai->pact = TRUE;
  callbackRequestDelayed(&dht_info->callback, pai->disv);
```

```
21
22    return 0;
23  }
```

Listing 3.5 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

readDHT11 함수는 실제 센서로 부터 온습도 값을 읽은 후 DHT_INFO 구조체에 선언된 온습도 변수에 저장하는 함수로 다음과 같다.

```
1   void readDHT11(DHT_INFO *dht_info)
2   {
3     int pin = dht_info->pin_num;
4     int mode = dht_info->pin_mode;
5
6     int i=0;
7     for(i=0;i<5;i++)
8         dht11_val[i]=0;
9
10    epicsUInt8 lststate=HIGH;
11    epicsUInt8 counter=0;
12    epicsUInt8 j=0,i;
13
14    pinMode(pin,OUTPUT);
15    digitalWrite(pin,LOW);
16    delay(18);
17    digitalWrite(pin,HIGH);
18    delayMicroseconds(40);
19    pinMode(pin,INPUT);
20
21    int j=0;
22    for(i=0;i<MAX_TIME;i++)
23    {
24      counter=0;
25      while(digitalRead(pin)==lststate)
26      {
27        counter++;
28        delayMicroseconds(1);
29        if(counter==255)
30     break;
31      }
32
33      lststate=digitalRead(pin);
34      if(counter==255)
35         break;
36      // top 3 transistions are ignored
37      if((i>=4)&&(i%2==0))
38      {
39        dht11_val[j/8]<<=1;
40        if(counter>16)
41     dht11_val[j/8]|=1;
42        j++;
43      }
44    }
45
46    float val = 0.0f;
47    char tmp[10];
48
49    sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[0], dht11_val[1]);
50    val = atof(tmp);
51
52    dht_info->val_h = val;
53
```

```
54    sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[2], dht11_val[3]);
55    val = atof(tmp);
56
57    dht_info->val_t = val;
58  }
```

Listing 3.6 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

dht11_val배열, 함수이름, MAX_TIME를 헤더 선언 아래에 추가해 주고 온습도 값을 저장하는 변수를 DHT_INFO구조체 안에 선언해 준다. 초기화 함수에는 dht11_val 배열과 구조체 변수를 0으로 초기화 하는 코드를 추가한다.

```
1   #include <wiringPi.h>
2
3   #define MAX_TIME 85
4
5   int dht11_val[5];
6
7   typedef struct _DHT_INFO
8   {
9     CALLBACK callback;
10
11    int pin_num;
12    int pin_mode;
13
14    float val_h;
15    float val_t;
16
17  }DHT_INFO;
18
19  void readDHT11(DHT_INFO *dht_info);
20
21  static long ai_init_record(aiRecord *pai);
22  static long read_ai(aiRecord *pai);
23
24  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
25  {
26    ...
27    ...
28
29    if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
30      mode = 0;
31    else
32      mode = 1;
33
34    int i;
35    for(i=0;i<5;i++)
36    {
37      dht11_val[i] = 0;
38    }
39
40    dht_info->val_h = 0.0f;
41    dht_info->val_t = 0.0f;
42
43  ...
44  ...
45  }
```

Listing 3.7 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

지금까지 작성한 readDHT11 함수는 유효성 검사가 빠져있다. 따라서 잘못된 온습도 센서 값이 읽어지면 그대로 출력하는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유효성 검사코드를 추가한다. 유효성 검사는 dth22_val 배열의 마지막 checksum 값이 나머지 4개의 값의 합과 같은 경우에만 올바른 값으로 볼 수 있다. 만약 checksum 값과 차이가 발생 할 경우 이전 값을 유지하도록 한다. 참고로 checksum을 검사하는 방법은 센서 또는 장비마다 다르므로 메뉴얼을 참고한다.

```
void readDHT11(DHT_INFO *dht_info)
{
  int pin = dht_info->pin_num;
  int mode = dht_info->pin_mode;

  int i=0;
  for(i=0;i<5;i++)
      dht11_val[i]=0;

  epicsUInt8 lststate=HIGH;
  epicsUInt8 counter=0;
  epicsUInt8 j=0,i;

  pinMode(pin,OUTPUT);
  digitalWrite(pin,LOW);
  delay(18);
  digitalWrite(pin,HIGH);
  delayMicroseconds(40);
  pinMode(pin,INPUT);

  int j=0;
  for(i=0;i<MAX_TIME;i++)
  {
    counter=0;
    while(digitalRead(pin)==lststate)
    {
      counter++;
      delayMicroseconds(1);
      if(counter==255)
   break;
    }

    lststate=digitalRead(pin);
    if(counter==255)
       break;
    // top 3 transistions are ignored
    if((i>=4)&&(i%2==0))
    {
      dht11_val[j/8]<<=1;
      if(counter>16)
   dht11_val[j/8]|=1;
      j++;
    }
  }

  float val = 0.0f;
  char tmp[10];
  if((j>=40)&&(dht11_val[4]==((dht11_val[0]+dht11_val[1]+dht11_val[2]+dht11_val[3])& 0xFF)))
  {
    sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[0], dht11_val[1]);
    val = atof(tmp);

    dht_info->val_h = val;
```

```
54      dht_info->pre_val_h = h;
55
56      sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[2], dht11_val[3]);
57      val = atof(tmp);
58
59      dht_info->val_t = val;
60      dht_info->pre_val_t = t;
61    }
62    else
63    {
64      if(mode == 0)
65        dht_info->val_h = dht_info->pre_val_h;
66      else
67        dht_info->val_t = dht_info->pre_val_t;
68    }
69
70  }
```

Listing 3.8 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

pre_val_h와 pre_val_t 변수는 이전 온습도 값을 가지고 있어 유효성 검사가 실패할 경우 이전 값을 다시 돌려준다. 두 변수를 DHT_INFO 구조체 안에 선언해 주고 초기화 코드를 넣는다.

```
1   #include <wiringPi.h>
2   #define MAX_TIME 85
3
4   int dht11_val[5];
5
6   typedef struct _DHT_INFO
7   {
8     CALLBACK callback;
9
10    int pin_num;
11    int pin_mode;
12
13    float val_h;
14    float val_t;
15
16    float pre_val_h;
17    float pre_val_t;
18
19  }DHT_INFO;
20
21  ...
22  ...
23
24  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
25  {
26    ...
27    ...
28
29    if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
30      mode = 0;
31    else
32      mode = 1;
33
34    int i;
35    for(i=0;i<5;i++)
36    {
37      dht11_val[i] = 0;
```

```
38    }
39
40    dht_info->val_h = 0.0f;
41    dht_info->val_t = 0.0f;
42    dht_info->pre_val_h = 0.0f;
43    dht_info->pre_val_t = 0.0f;
44
45    ...
46    ...
47
48  }
```

Listing 3.9 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

전체 코드는 아래와 같다.

```
1   #include <stdio.h>
2   #include <string.h>
3   #include <stdlib.h>
4
5   #include <epicsExport.h>
6   #include <devSup.h>
7   #include <recSup.h>
8   #include <recGbl.h>
9   #include <dbAccess.h>
10  #include <callback.h>
11  #include <aiRecord.h>
12
13  #include <wiringPi.h>
14
15  #define MAX_TIME 85
16
17  int dht11_val[5];
18
19  typedef struct _DHT_INFO
20  {
21    CALLBACK callback;
22
23    int pin_num;
24    int pin_mode;
25
26    float val_h;
27    float val_t;
28
29    float pre_val_h;
30    float pre_val_t;
31  }DHT_INFO;
32
33  void readDHT11(DHT_INFO *dht_info);
34
35  static long ai_init_record(aiRecord *pai);
36  static long read_ai(aiRecord *pai);
37
38  static void myCallback(CALLBACK *pcallback)
39  {
40    aiRecord *precord;
41    struct rset *prset;
42
43    callbackGetUser(precord, pcallback);
44    prset = (struct rset *)(precord->rset);
45
46    dbScanLock((dbCommon*)precord);
```

```
47    (*prset->process)(precord);
48    dbScanUnlock((dbCommon*)precord);
49  }
50
51  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
52  {
53    DHT_INFO *dht_info = malloc(sizeof(DHT_INFO));
54
55    callbackSetCallback(myCallback, &dht_info->callback);
56    callbackSetPriority(priorityLow, &dht_info->callback);
57    callbackSetUser(pai, &dht_info->callback);
58
59    if(wiringPiSetup() == -1)
60      return 1;
61
62    char *para;
63    char *sensor;
64    int pin_num = 0;
65    int mode = 0;
66
67    para = pai->inp.value.instio.string;
68
69    pin_num = atoi(strtok(para, " "));
70    sensor = strtok(NULL, " ");
71
72    if(strcmp(sensor, "humidity") == 0)
73      mode = 0;
74    else
75      mode = 1;
76
77    int i;
78    for(i=0;i<5;i++)
79      dht11_val[i] = 0;
80
81    dht_info->val_h = 0.0f;
82    dht_info->val_t = 0.0f;
83    dht_info->pre_val_h = 0.0f;
84    dht_info->pre_val_t = 0.0f;
85
86    dht_info->pin_num = pin_num;
87    dht_info->pin_mode = mode;
88
89    pai->dpvt = dht_info;
90
91    return 0;
92  }
93
94  static long read_ai(aiRecord *pai)
95  {
96    DHT_INFO *dht_info = pai->dpvt;
97
98    if(pai->pact)
99    {
100     readDHT11(dht_info);
101
102     if(dht_info->pin_mode == 0)
103       pai->val = dht_info->val_h;
104     else
105       pai->val = dht_info->val_t;
106
107     pai->udf = FALSE;
108
```

```
109     return 2;
110   }
111
112   pai->pact = TRUE;
113   callbackRequestDelayed(&dht_info->callback, pai->disv);
114
115   return 0;
116 }
117
118 struct
119 {
120   long num;
121   DEVSUPFUN     report;
122   DEVSUPFUN     init;
123   DEVSUPFUN     init_record;
124   DEVSUPFUN     get_ioint_info;
125   DEVSUPFUN     read_ai;
126   DEVSUPFUN     special_linconv;
127 } devAiDHT11Async = {
128   6,
129   NULL,
130   NULL,
131   ai_init_record,
132   NULL,
133   read_ai,
134   NULL
135 };
136
137 epicsExportAddress(dset,devAiDHT11Async);
138
139 void readDHT11(DHT_INFO *dht_info)
140 {
141   int pin = dht_info->pin_num;
142   int mode = dht_info->pin_mode;
143
144   int i=0;
145   for(i=0;i<5;i++)
146       dht11_val[i]=0;
147
148   epicsUInt8 lststate=HIGH;
149   epicsUInt8 counter=0;
150
151   pinMode(pin,OUTPUT);
152   digitalWrite(pin,LOW);
153   delay(18);
154   digitalWrite(pin,HIGH);
155   delayMicroseconds(40);
156   pinMode(pin,INPUT);
157
158   int j=0;
159   for(i=0;i<MAX_TIME;i++)
160   {
161     counter=0;
162     while(digitalRead(pin)==lststate)
163     {
164       counter++;
165       delayMicroseconds(1);
166       if(counter==255)
167    break;
168     }
169
170     lststate=digitalRead(pin);
```

```
171     if(counter==255)
172        break;
173     // top 3 transistions are ignored
174     if((i>=4)&&(i%2==0))
175     {
176       dht11_val[j/8]<<=1;
177       if(counter>16)
178    dht11_val[j/8]|=1;
179       j++;
180     }
181   }
182
183   float val = 0.0f;
184   char tmp[10];
185
186   if((j>=40)&&(dht11_val[4]==((dht11_val[0]+dht11_val[1]+dht11_val[2]+dht11_val[3])& 0xFF)))
187   {
188     sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[0], dht11_val[1]);
189     val = atof(tmp);
190
191     dht_info->val_h = val;
192     dht_info->pre_val_h = val;
193
194     sprintf(tmp, "%d.%d", dht11_val[2], dht11_val[3]);
195     val = atof(tmp);
196
197     dht_info->val_t = val;
198     dht_info->pre_val_t = val;
199   }
200   else
201   {
202     if(mode == 0)
203       dht_info->val_h = dht_info->pre_val_h;
204     else
205       dht_info->val_t = dht_info->pre_val_t;
206   }
207 }
```

Listing 3.10 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

마지막으로 Makefile에 다음 코드를 추가한 후 make를 실행한다.

```
TOP=../..

include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE
#============================

#============================
# Build the IOC application

USR_INCLUDES += -I/home/pi/wiringPi/wiringPi
wiringPi_DIR += /home/pi/wiringPi/wiringPi /home/pi/wiringPi/devLib

PROD_IOC = dht11
# dht11.dbd will be created and installed
DBD += dht11.dbd

# dht11.dbd will be made up from these files:
dht11_DBD += base.dbd
```

```
# Include dbd files from all support applications:
#dht11_DBD += xxx.dbd
dht11_DBD += devDHT11.dbd

# Add all the support libraries needed by this IOC
#dht11_LIBS += xxx

# dht11_registerRecordDeviceDriver.cpp derives from dht11.dbd
dht11_SRCS += dht11_registerRecordDeviceDriver.cpp
dht11_SRCS += devDHT11.c

# Build the main IOC entry point on workstation OSs.
dht11_SRCS_DEFAULT += dht11Main.cpp
dht11_SRCS_vxWorks += -nil-

# Add support from base/src/vxWorks if needed
#dht11_OBJS_vxWorks += $(EPICS_BASE_BIN)/vxComLibrary

# Finally link to the EPICS Base libraries
dht11_LIBS += $(EPICS_BASE_IOC_LIBS)
dht11_LIBS += wiringPi

#===========================

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/dht11App/src $ make
```

make가 완료되면 bin/linux-arm 폴더에 dht11 파일이 생성된다. 테스트를 위해 dht11App/Db 폴더로 이동한 후 처음 테스트 하고자 했던 dht11.db 파일을 만든다.

```
record(ai, "tem")
{
  field(DTYP, "DHT11")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1 temperature")
}

record(ai, "hum")
{
  field(DTYP, "DHT11")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1 humidity")
}
```

Makefile에 dth11.db를 추가한 후 make를 실행한다.

```
TOP=../..
include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE

#----------------------------------------------------
#  Optimization of db files using dbst (DEFAULT: NO)
#DB_OPT = YES

#----------------------------------------------------
# Create and install (or just install) into /db
# databases, templates, substitutions like this
#DB += xxx.db
```

```
DB += dht11.db

#----------------------------------------------------
# If .db template is not named *.template add
# _template =

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/dht11App/Db $ make
```

make가 완료되면 최상위 폴더에 db폴더가 만들어지고 그 안에 dht11.db파일이 생성된다.

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/db $ ls
dht11.db
```

이제 ioc를 실행하기 위해 iocBoot/iocdht11 폴더로 이동한다. st.cmd파일을 수정하기 전 make를 실행해서 envPahts파일을 만든다.

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/iocBoot/iocdht11 $ make
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/iocBoot/iocdht11 $ ls
envPaths  Makefile  st.cmd
```

이제 st.cmd파일을 열어 dht11.db 레코드를 추가해 준다.

```
#!../../bin/linux-arm/dht11

## You may have to change dht11 to something else
## everywhere it appears in this file

< envPaths

cd ${TOP}

## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/dht11.dbd"
dht11_registerRecordDeviceDriver pdbbase

## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/dht11.db")

cd ${TOP}/iocBoot/${IOC}
iocInit

## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
```

최종적으로 st.cmd 파일을 실행파일로 변경한 후 실행한다.

```
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/iocBoot/iocdht11 $ chmod 755 st.cmd
pi@ctrlpi3 ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/iocBoot/iocdht11 $ sudo ./st.cmd
#!../../bin/linux-arm/dht11
## You may have to change dht11 to something else
## everywhere it appears in this file
< envPaths
epicsEnvSet("ARCH","linux-arm")
epicsEnvSet("IOC","iocdht11")
epicsEnvSet("TOP","/home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11")
epicsEnvSet("EPICS_BASE","/home/pi/epics/R3.14.12.4/base")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11
## Register all support components
```

```
dbLoadDatabase "dbd/dht11.dbd"
dht11_registerRecordDeviceDriver pdbbase
## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/dht11.db")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/dht11/iocBoot/iocdht11
iocInit
Starting iocInit
############################################################################
## EPICS R3.14.12.4 $Date: Mon 2013-12-16 15:51:45 -0600$
## EPICS Base built Aug 29 2014
############################################################################
iocRun: All initialization complete
## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
epics>
```

온도와 습도값이 제대로 읽어지면 끝!

```
epics> dbpr tem
ASG:                DESC:               DISA: 0             DISP: 0
DISV: 1             NAME: tem           RVAL: 0             SEVR: NO_ALARM
STAT: NO_ALARM      SVAL: 0             TPRO: 0             VAL: 26
epics> dbpr hum
ASG:                DESC:               DISA: 0             DISP: 0
DISV: 1             NAME: hum           RVAL: 57            SEVR: NO_ALARM
STAT: NO_ALARM      SVAL: 0             TPRO: 0             VAL: 57
```

DHT22

DS1820

본 메뉴얼에서는 다음과 같은 하드웨어 구성과 EPICS Record를 만들어 DS1820센서의 온도 값을 읽는 Library를 만드는 것이다. 여기서 "@1"은 GPIO Pin 번호를 의미한다.

하드웨어 구성은 다음과 같다.

- Raspberry Pi Model B+
- DS1820 Sensor
- 4.7k Ohme Register

최종 목표는 다음 Record를 만들어 온습도 값을 읽는 것이다.

```
record(ai, "ds1820")
{
 field(DTYP, "DS1820")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1")
}
```

siteApps안에 ds1820폴더를 만든 후 Base Application을 생성한다.

```
pi@raspberrypi cd ../epics/R3.14.12.4/siteApps
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ mkdir ds1820
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps $ cd ds1820
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820 $ makeBaseApp.pl -t ioc ds1820
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820 $ makeBaseApp.pl -i -t ioc ds1820
```

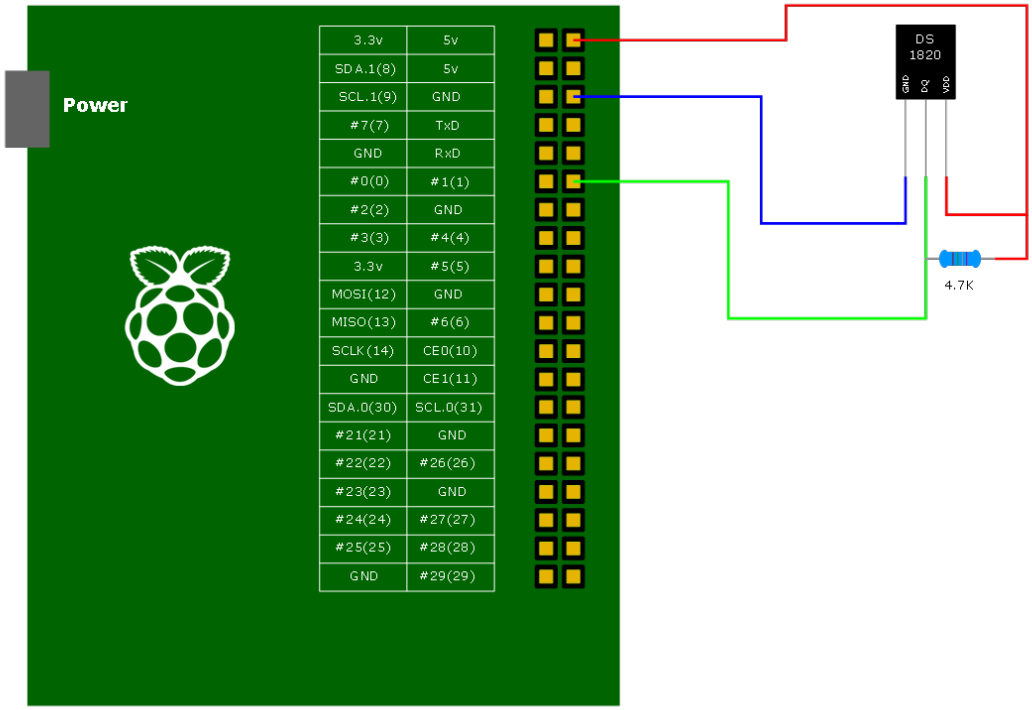


Figure 15 DS1820 Sensor Test

```
Using target architecture linux-arm (only one available)
The following applications are available:
    ds1820
What application should the IOC(s) boot?
The default uses the IOC's name, even if not listed above.
Application name?

pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820 $ ls
conigure  ds1820App  iocBoot Makefile
```

ds1820App/src 폴더로 이동한 후 devDS1820.c 파일을 만들어 기본 코드를 작성한다.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <stdlib.h>
4
5  #include <epicsExport.h>
6  #include <devSup.h>
7  #include <recSup.h>
8  #include <recGbl.h>
9  #include <dbAccess.h>
10 #include <callback.h>
11 #include <aiRecord.h>
12
13 #include <wiringPi.h>
```

```
14
15 static long ai_init_record(aiRecord *pai);
16 static long read_ai(aiRecord *pai);
17
18 static long ai_init_record(aiRecord *pai)
19 {
20 }
21
22 static long read_ai(aiRecord *pai)
23 {
24 }
25
26 struct
27 {
28   long num;
29   DEVSUPFUN     report;
30   DEVSUPFUN     init;
31   DEVSUPFUN     init_record;
32   DEVSUPFUN     get_ioint_info;
33   DEVSUPFUN     read_ai;
34   DEVSUPFUN     special_linconv;
35 } devAiDS1820Async = {
36   6,
37   NULL,
38   NULL,
39   ai_init_record,
40   NULL,
41   read_ai,
42   NULL
43 };
44
45 epicsExportAddress(dset,devAiDS1820Async);
```

Listing 3.11 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

기본 구조는 아날로그 입력을 위해 aiRecord를 사용하였으며, 초기화 함수와 센서 값을 읽기 위한 함수로 구성되어 있다. 또한 wiringPi Library를 사용하기 위해 헤더파일을 추가하였다. dset을 devAiDS1820Async로 설정하였으므로 devDS1820.dbd 파일을 만들어 다음과 같이 작성한다.

```
device(ai, INST_IO, devAiDS1820Async, "DS1820")
```

이제 실제 코드를 작성하도록 한다. 우선 코드를 Asynchronous 형식으로 만들기 위해 다음과 같이 Callback 함수를 만들고 초기화 한다.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <stdlib.h>
4
5  #include <epicsExport.h>
6  #include <devSup.h>
7  #include <recSup.h>
8  #include <recGbl.h>
9  #include <dbAccess.h>
10 #include <callback.h>
11 #include <aiRecord.h>
12
13 #include <wiringPi.h>
14
15 typedef struct _DS1820_INFO
16 {
```

```
17    CALLBACK callback;
18
19  }DS1820_INFO;
20
21  static long ai_init_record(aiRecord *pai);
22  static long read_ai(aiRecord *pai);
23
24  static void myCallback(CALLBACK *pcallback)
25  {
26    aiRecord *precord;
27    struct rset *prset;
28
29    callbackGetUser(precord, pcallback);
30    prset = (struct rset *)(precord->rset);
31
32    dbScanLock((dbCommon*)precord);
33    (*prset->process)(precord);
34    dbScanUnlock((dbCommon*)precord);
35  }
36
37  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
38  {
39    DS1820_INFO *ds1820_info = malloc(sizeof(DS1820_INFO));
40
41    callbackSetCallback(myCallback, &ds1820_info->callback);
42    callbackSetPriority(priorityLow, &ds1820_info->callback);
43    callbackSetUser(pai, &ds1820_info->callback);
44
45    pai->dpvt = ds1820_info;
46  }
47
48  static long read_ai(aiRecord *pai)
49  {
50    DS1820_INFO *ds1820_info = pai->dpvt;
51
52    if(pai->pact)
53    {
54      pai->udf = FALSE;
55
56      return 2;
57    }
58
59    pai->pact = TRUE;
60    callbackRequestDelayed(&ds1820_info->callback, pai->disv);
61
62    return 0;
63
64  }
65
66  struct
67  {
68    long num;
69    DEVSUPFUN     report;
70    DEVSUPFUN     init;
71    DEVSUPFUN     init_record;
72    DEVSUPFUN     get_ioint_info;
73    DEVSUPFUN     read_ai;
74    DEVSUPFUN     special_linconv;
75  } devAiDS1820Async = {
76    6,
77    NULL,
78    NULL,
```

```
79    ai_init_record,
80    NULL,
81    read_ai,
82    NULL
83  };
84
85  epicsExportAddress(dset,devAiDS1820Async);
```

Listing 3.12 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

DS1820_INFO 구조체는 callback 함수의 포인터를 포함하여 센서에 대한 정보를 저장하기 위한 구조체 이다. 기본적인 준비가 되었으므로 몇가지 초기화 작업을 다음과 같이 추가한다.

```
1   static long ai_init_record(aiRecord *pai)
2   {
3     DS1820_INFO *ds1820_info = malloc(sizeof(DS1820_INFO));
4
5     callbackSetCallback(myCallback, &ds1820_info->callback);
6     callbackSetPriority(priorityLow, &ds1820_info->callback);
7     callbackSetUser(pai, &ds1820_info->callback);
8
9     if(wiringPiSetup() == -1)
10      return 1;
11
12    char *para;
13    int pin_num = 0;
14
15    para = pai->inp.value.instio.string;
16
17    pin_num = atoi(para);
18
19    pai->dpvt = ds1820_info;
20
21    return 0;
22  }
```

Listing 3.13 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

pin_num를 read_ai 함수에서 사용하기 위해 다음과 같이 DS1820_INFO 구조체에 변수를 추가하고 값을 초기화 한다.

```
1   struct _DS1820_INFO
2   {
3     CALLBACK callback;
4
5     int pin_num;
6
7   }DS1820_INFO;
8
9   ...
10  ...
11
12  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
13  {
14    DS1820_INFO *ds1820_info = malloc(sizeof(DS1820_INFO));
15
16    callbackSetCallback(myCallback, &ds1820_info->callback);
17    callbackSetPriority(priorityLow, &ds1820_info->callback);
18    callbackSetUser(pai, &ds1820_info->callback);
19
```

```
20    if(wiringPiSetup() == -1)
21      return 1;
22
23    char *para;
24    int pin_num = 0;
25
26    para = pai->inp.value.instio.string;
27
28    pin_num = atoi(para);
29
30
31    ds1820_info->pin_num = pin_num;
32
33    pai->dpvt = ds1820_info;
34
35    return 0;
36  }
```

Listing 3.14 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

다음은 read_ai 함수에 실제 값을 읽어 Record 변수에 저장하는 코드를 추가한다.

```
1   static long read_ai(aiRecord *pai)
2   {
3     DS1820_INFO *ds1820_info = pai->dpvt;
4
5     if(pai->pact)
6     {
7     readDS1820(ds1820_info);
8
9       pai->val = ds1820_info->temper;
10
11      pai->udf = FALSE;
12
13      return 2;
14    }
15
16    pai->pact = TRUE;
17    callbackRequestDelayed(&dht_info->callback, pai->disv);
18
19    return 0;
20  }
```

Listing 3.15 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

readDS1820 함수는 실제 센서로 부터 온습도 값을 읽은 후 DS1820_INFO 구조체에 선언된 온습도 변수에 저장하는 함수로 다음과 같다.

```
1   void ds1820_read(DS1820_INFO* ds1820_info)
2   {
3     uint8_t busy = 1;
4     int pin = ds1820_info->pin_num;
5
6     onewire_reset(pin);
7     onewire_write(pin, 0xCC);
8     onewire_write(pin, 0x44);
9
10    delay(750);
11    while(busy == 0)
12    {
13      busy = onewire_read(pin);
14      printf("busy: %d\n", busy);
```

```
15    }
16
17    onewire_reset(pin);
18    onewire_write(pin, 0xCC);
19    onewire_write(pin, 0xBE);
20
21    uint8_t lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c, crc;
22    float real_temp = 0.0f;
23    float pre_real_temp = ds1820_info->temper;
24    signed char temp_read = 0;
25
26    lsb = onewire_read(pin);
27    msb = onewire_read(pin);
28    th = onewire_read(pin);
29    tl = onewire_read(pin);
30    reserved1 = onewire_read(pin);
31    reserved2 = onewire_read(pin);
32    count_remain = onewire_read(pin);
33    count_per_c = onewire_read(pin);
34    crc = onewire_read(pin);
35
36    uint8_t data[] = {lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c};
37
38    onewire_reset(pin);
39
40    if(crc_read(data) == crc)
41    {
42      temp_read = (signed char)(lsb>>1);
43
44      if(msb == 255)
45        temp_read = temp_read | 0x80;
46
47      real_temp = (float)temp_read + 0.85f - (float)count_remain/(float)count_per_c;
48      real_temp = (int)(real_temp * 10) / 10.0f;
49
50      ds1820_info->temper = real_temp;
51      ds1820_info->pre_temper = real_temp;
52    }
53    else
54      ds1820_info->temper = pre_real_temp;
55
56  }
```

Listing 3.16 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

ds1820_read는 4개의 함수를 내부에서 호출하는데 다음과 같다.

- onewire_reset: DS1820 센서를 초기화 한다.
- onewire_write: 8bit 정보를 센서로 전송한다.
- onewire_read: 8bit 정보를 센서로 부터 읽는다.
- crc_read: Cyclical Redundancy Check(CRC) 값을 계산한다.

onewire_reset 함수는 DS1820 센서를 초기화 하는 함수로 다음과 같다.

```
1   int onewire_reset(int pin)
2   {
3     int result;
```

```
4
5     pinMode(pin, OUTPUT);
6
7     digitalWrite(pin, LOW);
8     delayMicroseconds(480);
9
10    pinMode(pin, INPUT);
11    delayMicroseconds(70);
12
13    result = digitalRead(pin);
14
15    delayMicroseconds(410);
16
17    return result;
18  }
```

Listing 3.17 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

onewire_write 함수는 8bit 정보를 센서로 전송하는 함수로 일정한 Timing에 맞춰 1bit씩 전송 하기위해 onewire_write_bit 함수를 호출한다.

```
1   void onewire_write(int pin, uint8_t data)
2   {
3     int loop;
4
5     for(loop=0; loop<8; loop++)
6     {
7       onewire_write_bit(pin, data & 0x01);
8
9       data >>= 1;
10    }
11  }
12
13  void onewire_write_bit(int pin, int bit)
14  {
15    pinMode(pin, OUTPUT);
16
17    if(bit)
18    {
19      digitalWrite(pin, LOW);
20      delayMicroseconds(6);
21      digitalWrite(pin, HIGH);
22      delayMicroseconds(64);
23    }
24    else
25    {
26      digitalWrite(pin, LOW);
27      delayMicroseconds(60);
28      digitalWrite(pin, HIGH);
29      delayMicroseconds(10);
30    }
31
32  }
```

Listing 3.18 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

onewire_read 함수는 onewire_write 함수와 반대로 onewire_read_bit 함수를 통해 1bit씩 총 8bit의 정보를 센서로 부터 읽어온다.

```
1   uint8_t onewire_read(int pin)
2   {
3     int loop, result=0;
```

```
4
5   for(loop=0; loop<8; loop++)
6   {
7     result >>= 1;
8
9     if(onewire_read_bit(pin))
10      result |= 0x80;
11  }
12
13  return result;
14 }
15
16 int onewire_read_bit(int pin)
17 {
18   int result;
19
20   pinMode(pin, OUTPUT);
21
22   digitalWrite(pin, LOW);
23   delayMicroseconds(6);
24
25   pinMode(pin, INPUT);
26   delayMicroseconds(9);
27
28   result = digitalRead(pin) & 0x01;
29   delayMicroseconds(55);
30
31   return result;
32 }
```

Listing 3.19 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

read 함수는 데이터의 유효성 Check를 위해 CRC 값을 계산하는 함수로 DS1820 센서는 온도 값 계산을 위해 64bit의 데이터와 8bit CRC 값을 전송한다. crc_read 함수는 앞서 전송된 64bit 데이터를 이용하여 CRC 계산을 하는 함수로 센서로 부터 전송된 마지막 8bit CRC 값과 crc_read 함수를 통해 계산된 CRC 값이 일치하는 경우에만 온도 값이 유효하다.

```
1  uint8_t crc_read(uint8_t *data)
2  {
3   uint8_t i, crc;
4
5   crc = 0x00;
6
7   for(i=0; i<8; i++)
8    crc = crc_cal(crc, data[i]);
9
10  return crc;
11 }
12
13 uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data)
14 {
15   int j;
16   for(j=0;j<8;j++) {
17       if ((data & 0x01 ) ^ (crc & 0x01)) {
18      // DATA ^ LSB CRC = 1
19      crc = crc>>1;
20      // Set the MSB to 1
21      crc = crc | 0x80;
22      // Check bit 3
23      if (crc & 0x04) {
24          crc = crc & 0xFB; // Bit 3 is set, so clear it
```

```
25      } else {
26          crc = crc | 0x04; // Bit 3 is clear, so set it
27      }
28      // Check bit 4
29      if (crc & 0x08) {
30          crc = crc & 0xF7; // Bit 4 is set, so clear it
31      } else {
32          crc = crc | 0x08; // Bit 4 is clear, so set it
33      }
34       } else {
35      // DATA ^ LSB CRC = 0
36      crc = crc>>1;
37      // clear MSB
38      crc = crc & 0x7F;
39      // No need to check bits, with DATA ^ LSB CRC = 0, they will remain unchanged
40       }
41       data = data>>1;
42    }
43
44    return crc;
45  }
```

Listing 3.20 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

구조체 선언 아래에 전체 함수 이름을 선언해 준다.

```
1   ...
2   ...
3
4   typedef struct _DS1820_INFO
5   {
6     CALLBACK callback;
7
8     int pin_num;
9
10    float temper;
11    float pre_temper;
12  }DS1820_INFO;
13
14  void ds1820_read(DS1820_INFO *ds1820_info);
15  int onewire_reset(int pin);
16  void onewire_write(int pin, uint8_t data);
17  void onewire_write_bit(int pin, int bit);
18  uint8_t onewire_read(int pin);
19  int onewire_read_bit(int pin);
20  uint8_t crc_read();
21  uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data);
```

Listing 3.21 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

전체 코드는 다음과 같다.

```
1   #include <stdio.h>
2   #include <string.h>
3   #include <stdlib.h>
4   #include <stdint.h>
5
6   #include <epicsExport.h>
7   #include <devSup.h>
8   #include <recSup.h>
9   #include <recGbl.h>
10  #include <dbAccess.h>
11  #include <callback.h>
```

```
12  #include <aiRecord.h>
13
14  #include <wiringPi.h>
15
16  typedef struct _DS1820_INFO
17  {
18    CALLBACK callback;
19
20    int pin_num;
21
22    float temper;
23    float pre_temper;
24  }DS1820_INFO;
25
26  void ds1820_read(DS1820_INFO *ds1820_info);
27  int onewire_reset(int pin);
28  void onewire_write(int pin, uint8_t data);
29  void onewire_write_bit(int pin, int bit);
30  uint8_t onewire_read(int pin);
31  int onewire_read_bit(int pin);
32  uint8_t crc_read();
33  uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data);
34
35  static long ai_init_record(aiRecord *pai);
36  static long read_ai(aiRecord *pai);
37
38  static void myCallback(CALLBACK *pcallback)
39  {
40    aiRecord *precord;
41    struct rset *prset;
42
43    callbackGetUser(precord, pcallback);
44    prset = (struct rset *)(precord->rset);
45
46    dbScanLock((dbCommon*)precord);
47    (*prset->process)(precord);
48    dbScanUnlock((dbCommon*)precord);
49  }
50
51  static long ai_init_record(aiRecord *pai)
52  {
53    DS1820_INFO *ds1820_info = malloc(sizeof(DS1820_INFO));
54
55    callbackSetCallback(myCallback, &ds1820_info->callback);
56    callbackSetPriority(priorityLow, &ds1820_info->callback);
57    callbackSetUser(pai, &ds1820_info->callback);
58
59    if(wiringPiSetup() == -1)
60      return 1;
61
62    char *para;
63    int pin_num = 0;
64
65    para = pai->inp.value.instio.string;
66
67    pin_num = atoi(para);
68
69    ds1820_info->temper = 0.0f;
70    ds1820_info->pre_temper = 0.0f;
71
72    ds1820_info->pin_num = pin_num;
73
```

```
74    pai->dpvt = ds1820_info;
75
76    return 0;
77  }
78
79  static long read_ai(aiRecord *pai)
80  {
81    DS1820_INFO *ds1820_info = pai->dpvt;
82
83    if(pai->pact)
84    {
85      ds1820_read(ds1820_info);
86
87      pai->val = ds1820_info->temper;
88
89      pai->udf = FALSE;
90
91      return 2;
92    }
93
94    pai->pact = TRUE;
95    callbackRequestDelayed(&ds1820_info->callback, pai->disv);
96
97    return 0;
98  }
99
100 struct
101 {
102   long num;
103   DEVSUPFUN     report;
104   DEVSUPFUN     init;
105   DEVSUPFUN     init_record;
106   DEVSUPFUN     get_ioint_info;
107   DEVSUPFUN     read_ai;
108   DEVSUPFUN     special_linconv;
109 } devAiDS1820Async = {
110   6,
111   NULL,
112   NULL,
113   ai_init_record,
114   NULL,
115   read_ai,
116   NULL
117 };
118
119 epicsExportAddress(dset,devAiDS1820Async);
120
121 void ds1820_read(DS1820_INFO* ds1820_info)
122 {
123   uint8_t busy = 1;
124   int pin = ds1820_info->pin_num;
125
126   onewire_reset(pin);
127   onewire_write(pin, 0xCC);
128   onewire_write(pin, 0x44);
129
130   delay(750);
131   while(busy == 0)
132   {
133     busy = onewire_read(pin);
134     printf("busy: %d\n", busy);
135   }
```

```
136
137   onewire_reset(pin);
138   onewire_write(pin, 0xCC);
139   onewire_write(pin, 0xBE);
140
141   uint8_t lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c, crc;
142   float real_temp = 0.0f;
143   float pre_real_temp = ds1820_info->temper;
144   signed char temp_read = 0;
145
146   lsb = onewire_read(pin);
147   msb = onewire_read(pin);
148   th = onewire_read(pin);
149   tl = onewire_read(pin);
150   reserved1 = onewire_read(pin);
151   reserved2 = onewire_read(pin);
152   count_remain = onewire_read(pin);
153   count_per_c = onewire_read(pin);
154   crc = onewire_read(pin);
155
156   uint8_t data[] = {lsb, msb, th, tl, reserved1, reserved2, count_remain, count_per_c};
157
158   onewire_reset(pin);
159
160   if(crc_read(data) == crc)
161   {
162     temp_read = (signed char)(lsb>>1);
163
164     if(msb == 255)
165       temp_read = temp_read | 0x80;
166
167     real_temp = (float)temp_read + 0.85f - (float)count_remain/(float)count_per_c;
168     real_temp = (int)(real_temp * 10) / 10.0f;
169
170     ds1820_info->temper = real_temp;
171     ds1820_info->pre_temper = real_temp;
172   }
173   else
174     ds1820_info->temper = pre_real_temp;
175
176 }
177
178 int onewire_reset(int pin)
179 {
180   int result;
181
182   pinMode(pin, OUTPUT);
183
184   digitalWrite(pin, LOW);
185   delayMicroseconds(480);
186
187   pinMode(pin, INPUT);
188   delayMicroseconds(70);
189
190   result = digitalRead(pin);
191
192   delayMicroseconds(410);
193
194   return result;
195 }
196
197 void onewire_write(int pin, uint8_t data)
```

```
198 {
199   int loop;
200 
201   for(loop=0; loop<8; loop++)
202   {
203     onewire_write_bit(pin, data & 0x01);
204 
205     data >>= 1;
206   }
207 }
208 
209 void onewire_write_bit(int pin, int bit)
210 {
211   pinMode(pin, OUTPUT);
212 
213   if(bit)
214   {
215     digitalWrite(pin, LOW);
216     delayMicroseconds(6);
217     digitalWrite(pin, HIGH);
218     delayMicroseconds(64);
219   }
220   else
221   {
222     digitalWrite(pin, LOW);
223     delayMicroseconds(60);
224     digitalWrite(pin, HIGH);
225     delayMicroseconds(10);
226   }
227 
228 }
229 
230 uint8_t onewire_read(int pin)
231 {
232   int loop, result=0;
233 
234   for(loop=0; loop<8; loop++)
235   {
236     result >>= 1;
237 
238     if(onewire_read_bit(pin))
239       result |= 0x80;
240   }
241 
242   return result;
243 }
244 
245 int onewire_read_bit(int pin)
246 {
247   int result;
248 
249   pinMode(pin, OUTPUT);
250 
251   digitalWrite(pin, LOW);
252   delayMicroseconds(6);
253 
254   pinMode(pin, INPUT);
255   delayMicroseconds(9);
256 
257   result = digitalRead(pin) & 0x01;
258   delayMicroseconds(55);
259 
```

```
  return result;
}

uint8_t crc_read(uint8_t *data)
{
 uint8_t i, crc;

 crc = 0x00;

 for(i=0; i<8; i++)
  crc = crc_cal(crc, data[i]);

 return crc;
}

uint8_t crc_cal(uint8_t crc, uint8_t data)
{
  int j;
  for(j=0;j<8;j++) {
      if ((data & 0x01 ) ^ (crc & 0x01)) {
     // DATA ^ LSB CRC = 1
     crc = crc>>1;
     // Set the MSB to 1
     crc = crc | 0x80;
     // Check bit 3
     if (crc & 0x04) {
         crc = crc & 0xFB; // Bit 3 is set, so clear it
     } else {
         crc = crc | 0x04; // Bit 3 is clear, so set it
     }
     // Check bit 4
     if (crc & 0x08) {
         crc = crc & 0xF7; // Bit 4 is set, so clear it
     } else {
         crc = crc | 0x08; // Bit 4 is clear, so set it
     }
      } else {
     // DATA ^ LSB CRC = 0
     crc = crc>>1;
     // clear MSB
     crc = crc & 0x7F;
     // No need to check bits, with DATA ^ LSB CRC = 0, they will remain unchanged
      }
      data = data>>1;
  }

  return crc;
}
```

Listing 3.22 Editing `/etc/fai/NFSROOT`

마지막으로 Makefile에 다음 코드를 추가한 후 make를 실행한다.

```
TOP=../..

include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE
#============================

#============================
# Build the IOC application
```

```
USR_INCLUDES += -I/home/pi/wiringPi/wiringPi
wiringPi_DIR += /home/pi/wiringPi/wiringPi /home/pi/wiringPi/devLib

PROD_IOC = ds1820
# dht11.dbd will be created and installed
DBD += ds1820.dbd

# dht11.dbd will be made up from these files:
ds1820_DBD += base.dbd

# Include dbd files from all support applications:
#ds1820_DBD += xxx.dbd
ds1820_DBD += devDS1820.dbd

# Add all the support libraries needed by this IOC
#ds1820_LIBS += xxx

# ds1820_registerRecordDeviceDriver.cpp derives from ds1820.dbd
ds1820_SRCS += ds1820_registerRecordDeviceDriver.cpp
ds1820_SRCS += devDS1820.c

# Build the main IOC entry point on workstation OSs.
ds1820_SRCS_DEFAULT += ds1820Main.cpp
ds1820_SRCS_vxWorks += -nil-

# Add support from base/src/vxWorks if needed
#ds1820_OBJS_vxWorks += $(EPICS_BASE_BIN)/vxComLibrary

# Finally link to the EPICS Base libraries
ds1820_LIBS += $(EPICS_BASE_IOC_LIBS)
ds1820_LIBS += wiringPi

#===========================

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/ds1820App/src $ make
```

make가 완료되면 bin/linux-arm 폴더에 ds1820 파일이 생성된다. 테스트를 위해 ds1820App/Db 폴더로 이동한 후 처음 테스트 하고자 했던 ds1820.db 파일을 만든다.

```
record(ai, "ds1820")
{
  field(DTYP, "DS1820")
  field(SCAN, "1 second")
  field(INP, "@1")
}
```

Makefile에 dth11.db를 추가한 후 make를 실행한다.

```
TOP=../..
include $(TOP)/configure/CONFIG
#----------------------------------------
#  ADD MACRO DEFINITIONS AFTER THIS LINE

#----------------------------------------------------
#  Optimization of db files using dbst (DEFAULT: NO)
#DB_OPT = YES
```

```
#----------------------------------------------------
# Create and install (or just install) into /db
# databases, templates, substitutions like this
#DB += xxx.db
DB += ds1820.db

#----------------------------------------------------
# If .db template is not named *.template add
# _template =

include $(TOP)/configure/RULES
#----------------------------------------
#  ADD RULES AFTER THIS LINE
```

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/ds1820App/Db $ make
```

make가 완료되면 최상위 폴더에 db폴더가 만들어지고 그 안에 ds1820.db파일이 생성된다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/db $ ls
ds1820.db
```

이제 ioc를 실행하기 위해 iocBoot/iocds1820 폴더로 이동한다. st.cmd파일을 수정하기 전 make를 실행해서 envPahts파일을 만든다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/iocBoot/iocds1820 $ make
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/iocBoot/iocds1820 $ ls
envPaths  Makefile  st.cmd
```

이제 st.cmd파일을 열어 ds1820.db 레코드를 추가해 준다.

```
#!../../bin/linux-arm/ds1820

## You may have to change dht11 to something else
## everywhere it appears in this file

< envPaths

cd ${TOP}

## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/ds1820.dbd"
ds1820_registerRecordDeviceDriver pdbbase

## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/ds1820.db")

cd ${TOP}/iocBoot/${IOC}
iocInit

## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
```

최종적으로 st.cmd 파일을 실행파일로 변경한 후 실행한다.

```
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/iocBoot/iocds1820 $ chmod 755 st.cmd
pi@raspberrypi ~/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/iocBoot/iocds1820 $ sudo ./st.cmd
#!../../bin/linux-arm/ds1820
## You may have to change ds1820 to something else
## everywhere it appears in this file
< envPaths
epicsEnvSet("ARCH","linux-arm")
epicsEnvSet("IOC","iocdht11")
```

```
epicsEnvSet("TOP","/home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820")
epicsEnvSet("EPICS_BASE","/home/pi/epics/R3.14.12.4/base")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820
## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/ds1820.dbd"
dht11_registerRecordDeviceDriver pdbbase
## Load record instances
#dbLoadRecords("db/xxx.db","user=piHost")
dbLoadRecords("db/ds1820.db")
cd /home/pi/epics/R3.14.12.4/siteApps/ds1820/iocBoot/iocds1820
iocInit
Starting iocInit
############################################################################
## EPICS R3.14.12.4 $Date: Mon 2013-12-16 15:51:45 -0600$
## EPICS Base built Aug 29 2014
############################################################################
iocRun: All initialization complete
## Start any sequence programs
#seq sncxxx,"user=piHost"
epics>
```

온도와 습도값이 제대로 읽어지면 끝!

```
epics> dbpr ds1820
ASG:               DESC:              DISA: 0            DISP: 0
DISV: 1            NAME: tem          RVAL: 0            SEVR: NO_ALARM
STAT: NO_ALARM     SVAL: 0            TPRO: 0            VAL: 26
```

Bibliography

[1] FAI - Fully Automatic Installation, 2013.
http://fai-project.org/ (accessed June 18, 2014).