

Práctica 4:

Control remoto de la Raspberry Pi via WiFi y servidor web

Fundamentos de Sistemas Embebidos

Autor: José Mauricio Matamoros de Maria y Campos

1. Objetivo

El alumno aprenderá a configurar la Raspberry Pi como punto de acceso inalámbrico que permita acceder a un servidor web simple que controle el puerto GPIO de la misma.

2. Material

Se asume que el alumno cuenta con una Raspberry Pi con sistema operativo Raspberry Pi OS *Legacy* (2023-05-03 o anterior) e interprete de Python instalado. Se aconseja encarecidamente el uso de *git* como programa de control de versiones.

Si se cuenta con una Raspberry Pi sin WiFi integrado (e.j Raspberry Pi2), se precisará de un adaptador WiFi USB compatible para la misma.

Además, el alumno necesitará el alambrado de la [Práctica 3](#).

3. Instrucciones

1. Alambre el circuito tal y como se detalla en la [Práctica 3](#).
2. Realice los ejercicios y experimentos de la [Práctica 3](#).

Importante

Como `network-manager` no permite montar servidores web de forma automatizada se requiere de una versión de Raspberry Pi OS que tenga `dhcpcd` precargado. De otro modo, el estudiante será responsable de instalación y reconfiguración de los paquetes pertinentes.

Para más información consulte la [documentación oficial](#).

3.1. Paso 1: Configuración de la Raspberry Pi como punto de acceso inalámbrico

Para operar como punto de acceso la Raspberry Pi necesita tener instalado el software apropiado, incluyendo un servidor DHCP para proporcionar a los dispositivos que se conecten una dirección IP.

Se comienza por instalar los paquetes `DNSMasq` y `HostAPD`:

```
# apt-get install dnsmasq hostapd
# pip3 install -U python-magic
```

Si están ejecutándose los servicios, deténgalos a fin de poder reconfigurarlos

```
# systemctl stop dnsmasq
# systemctl stop hostapd
```

3.1.1. Configuración del adaptador y el cliente DHCP

Para configurar una red independiente con servidor DHCP la Raspberry Pi debe tener asignada una dirección IP estática en el adaptador inalámbrico que proveerá la conexión. Debido a que la Raspberry Pi tiene un procesador pequeño, se configurará para servir en una red privada clase C, es decir con direcciones IP del tipo 198.168.x.x. Así mismo, se supondrá que el dispositivo inalámbrico utilizado es wlan0.

Para configurar la dirección IP estática edite el archivo de configuración `/etc/dhcpd.conf` como superusuario:

```
interface wlan0
    static ip_address=192.168.1.254/24
    nohook wpa_supplicant
```

A continuación, reinicie el cliente DHCP

```
# service dhcpd restart
```

3.1.2. Configuración del servidor DHCP

El siguiente paso consiste en configurar el servidor DHCP, provisto por el servicio dnsmasq.

De manera predeterminada el archivo de configuración `/etc/dnsmasq.conf` contiene mucha información que no es necesaria, por lo que es más fácil comenzar desde cero. Respáldelo y cree uno nuevo con el siguiente texto:

```
1 # Use the require wireless interface - usually wlan0
2 interface=wlan0
3 # Reserve 20 IP addresses, set the subnet mask, and lease time
4 dhcp-range=192.168.1.200,192.168.1.220,255.255.255.0,24h
```

Esta configuración proporcionará 20 direcciones IP entre 192.168.1.200 y 192.168.1.220, válidas durante 24 horas. Ahora debe iniciarse el servidor DHCP

```
systemctl start dnsmasq
```

3.1.3. Configuración del punto de acceso

Para configurar el punto de acceso se debe editar el archivo de configuración `/etc/hostapd/hostapd.conf` con los parámetros adecuados.

Respáldelo y cree uno nuevo con el siguiente texto:

```
1 # Wireless interface
2 interface=wlan0
3 # Specification: IEEE802.11
4 driver=nl80211
5 # The SSID or name of the network
6 ssid=Raspbberri
7 # Password of the network
8 wpa_passphrase=12345678
9 wpa=2
10 wpa_key_mgmt=WPA-PSK
11 wpa_pairwise=TKIP
12 # Mode and frequency of operation
13 hw_mode=g
14 # Broadcast channel
15 channel=5
16 wmm_enabled=0
17 macaddr_acl=0
18 auth_algs=1
19 ignore_broadcast_ssid=0
20 rsn_pairwise=CCMP
```

La configuración ingresada configura la Raspberry Pi para crear una red inalámbrica tipo 802.11g en el canal 5 de nombre *Raspbberri* y contraseña 12345678 con seguridad WPA2.

Los modos de operación posibles son:

- a = IEEE 802.11a (5 GHz)
- b = IEEE 802.11b (2.4 GHz)
- g = IEEE 802.11g (2.4 GHz)

Importante: Tanto el nombre de la red o SSID y la contraseña no deben entrecomillarse. La contraseña debe tener entre 8 y 64 caracteres. **Cambie el SSID a Raspberry_Apellido para evitar conflictos.**

Ahora edite el archivo `/etc/default/hostapd` y reemplace la línea que comienza con `#DAEMON_CONF` con:

```
DAEMON_CONF="/etc/hostapd/hostapd.conf"
```

3.1.4. Configuración e inicio del punto de acceso

Finalmente, habilite los servicios para iniciar el punto de acceso:

```
# systemctl unmask hostapd
# systemctl enable hostapd
# systemctl start hostapd
```

Verifique que los servicios se están ejecutando

```
# systemctl status hostapd
# systemctl status dnsmasq
```

Nota: El servicio `hostapd` requiere acceso exclusivo a la tarjeta de red inalámbrica que podría estar ocupada por el proceso `wpa_supplicant`. Si `hostapd` se reusara a iniciar indicando un error tal como *Could not configure driver mode nl80211 driver initialization failed*, termine los procesos que puedan estar utilizando la tarjeta de red inalámbrica, por ejemplo ejecutando `killall wpa_supplicant`.

3.2. Paso 2: Configuración de la Raspberry Pi como servidor Web

Raspbian es una variante de Debian, por lo que se le dará bien servir páginas web de forma segura, especialmente cuando se utiliza Apache. Sin embargo, configurar Apache para enlazarse con Python y operar la GPIO no es una tarea trivial, por lo que en esta práctica se utilizará un servidor web simple basado en el `BaseHTTPRequestHandler` que incorpora el paquete `http.server` de Python.

Para habilitar un servidor web en Python, basta con heredar de la clase `BaseHTTPRequestHandler` e implementar el método `do_GET` para que imprima el código HTML al socket vía el método `self.wfile.write` tal como se muestra en el [Código de Ejemplo 1](#).

Código ejemplo 1: Archivo `simple-webserver.py`

```
1 from http.server import BaseHTTPRequestHandler, HTTPServer
2
3 class WebServer(BaseHTTPRequestHandler):
4     def do_GET(self):
5         self.send_response(200)
6         self.send_header("Content-type", "text/html")
7         self.end_headers()
8         self.wfile.write(bytes("<html><body>Hola Mundo!!!</body></html>", "utf-8"))
9
10 def main():
11     webServer = HTTPServer(("192.168.1.254", 80), WebServer)
12     print("Servidor iniciado")
13     print("\tAtendiendo solicitudes entrantes")
14     try:
15         webServer.serve_forever()
16     except KeyboardInterrupt:
17         pass
18     webServer.server_close()
19     print("Server stopped.")
```

Script de Python presentado inicia un servidor web que atiende todas las peticiones entrantes vía la interfaz con la IP 192.168.1.254 (el punto de acceso) en el puerto 80 (HTTP predeterminado). A cada petición se le devolverá una señal de estado HTTP200 u *OK*, seguido por código HTML. Es importante aclarar que para cada archivo servido se debe especificar el tipo de archivo en la cabecera.

Importante: El puerto 80 (y en general todos los puertos por debajo del 1024) están reservados para servicios de sistema, por lo que Python fallará al intentar levantar el servidor web en este puerto. Existen dos opciones: puede ejecutar el proceso como superusuario con `sudo` o bien usar otro puerto como el 8080.

Genere el archivo `simple-webserver.py` y ejecútelo. A continuación, conéctese a la Raspberry Pi con cualquier dispositivo móvil e ingrese a la dirección IP del punto de acceso, es decir: <http://192.168.1.254>.

Con ligeras modificaciones es posible servir cualquier tipo de archivo. Todas las peticiones ingresadas en la barra de direcciones del navegador llegarán por método *GET*, por lo que deberán ser procesadas en el método `do_GET`, accediendo al atributo de clase `self.path`, relativo al directorio de trabajo. En caso de que no se proporcione un archivo, `do_GET` tendrá que proporcionar la página por defecto, típicamente nombrada `index.html`, pero que en este caso por motivos didácticos se ha nombrado `user_interface.html` (véase [Código de Ejemplo 2](#)).

Código ejemplo 2: Método `do_GET` del archivo `webserver.py`

```
1 def do_GET(self):
2     # Revisamos si se accede a la raíz.
3     # En ese caso se responde con la interfaz por defecto
4     if self.path == '/':
5         # 200 es el código de respuesta satisfactorio (OK)
6         # de una solicitud
7         self.send_response(200)
8         # La cabecera HTTP siempre debe contener el tipo de datos mime
9         # del contenido con el que responde el servidor
10        self.send_header("Content-type", "text/html")
11        # Fin de cabecera
12        self.end_headers()
13        # Por simplicidad, se devuelve como respuesta el contenido del
14        # archivo html con el código de la página de interfaz de usuario
15        self._serve_ui_file()
16        # En caso contrario, se verifica que el archivo exista y se sirve
17    else:
18        self._serve_file(self.path[1:])
```

Para servir un archivo se tiene que verificar que el éste exista, proporcionar su tipo mime en la cabecera y devolver los datos como una cadena binaria. Esto se realiza en el método interno `_serve_file`. Si el archivo no se encontrare, se devuelve un error *HTTP404* como se muestra en el [Código de Ejemplo 3](#):

Código ejemplo 3: Método `_serve_file` del archivo `webserver.py`

```
1 def _serve_file(self, rel_path):
2     if not os.path.isfile(rel_path):
3         self.send_error(404)
4         return
5     self.send_response(200)
6     mime = magic.Magic(mime=True)
7     self.send_header("Content-type", mime.from_file(rel_path))
8     self.end_headers()
9     with open(rel_path, 'rb') as file:
10        self.wfile.write(file.read())
```

La interacción cliente servidor se lleva a cabo de manera similar. Dependerá de si los datos se envían por método *GET* o *POST*, de los cuales se prefiere el segundo pues hace más difícil inyectar datos. De manera análoga se utiliza el método `do_POST` que recibe y procesa los datos. En esta práctica, se utilizan datos codificados mediante JSON para hacer llamadas asíncronas del cliente y sin respuesta por parte del servidor (véase [Código de Ejemplo 4](#)).

Código ejemplo 4: Método `do_POST` del archivo `webserver.py`

```
1 def do_POST(self):
2     # Primero se obtiene la longitud de la cadena de datos recibida
3     content_length = int(self.headers.get('Content-Length'))
4     if content_length < 1:
5         return
6     # Después se lee toda la cadena de datos
7     post_data = self.rfile.read(content_length)
8     # Finalmente, se decodifica el objeto JSON y se procesan los datos.
9     # Se descartan cadenas de datos mal formados
```

```

10     try:
11         jobj = json.loads(post_data.decode("utf-8"))
12         self._parse_post(jobj)
13     except:
14         print(sys.exc_info())
15         print("Datos POST no reconocidos")

```

El método `do_POST` preentado en el [Código de Ejemplo 4](#) interpreta los datos recibidos como cadenas de texto unicode de 8 bits (*utf-8*) que contienen objetos en JSON que son decodificados a un diccionario de Python. El diccionario es después enviado al método interno `_parse_post` mostrado en el [Código de Ejemplo 5](#) que analiza los datos y realiza las acciones pertinentes.

Código ejemplo 5: Método `_parse_post` del archivo `webserver.py`

```

1  def _parse_post(self, json_obj):
2      if not 'action' in json_obj or not 'value' in json_obj:
3          return
4      switcher = {
5          'led' : leds,
6          'marquee' : marquee,
7          'numpad' : bcd
8      }
9      func = switcher.get(json_obj['action'], None)
10     if func:
11         print('\tCall{{{}}}'.format(func, json_obj['value']))
12         func(json_obj['value'])

```

Genere los archivos `webserver.py` y `user_interface.html` (véase [Apéndices A y B](#)), luego ejecute el script de Python. A continuación, conéctese a la Raspberry Pi con cualquier dispositivo móvil e ingrese a la dirección IP del punto de acceso, es decir: <http://192.168.1.254>. Debería ver una pantalla similar a la siguiente.

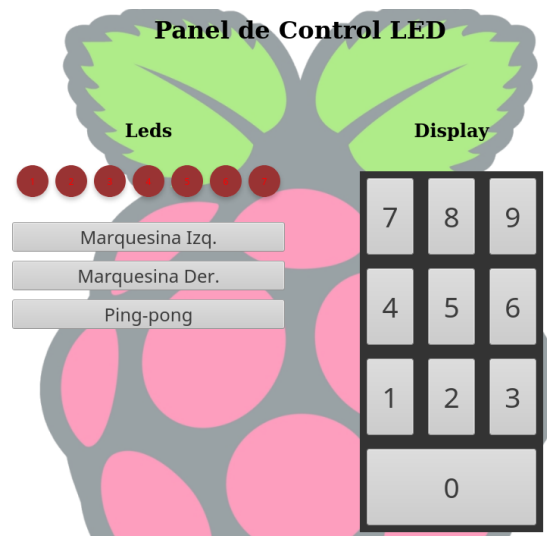


Figura 1: Caption: Intefaz de usuario del controlador de Leds en la Raspberry Pi.

4. Experimentos

Integre el código de la [Práctica 3](#) en un archivo python llamado `led_manager.py` y que ofrezca las siguientes funciones:

1. [2 pts] Encendido del del 1–7 al presionar el boton adecuado
2. [2 pts] Desplegado de la marquesina izquierda al presionar el boton adecuado
3. [2 pts] Desplegado de la marquesina derecha al presionar el boton adecuado

4. [2 pts] Desplegado de la marquesina tipo ping-pong al presionar el boton adecuado
5. [2 pts] Desplegado del dígito correcto en el display de 7 segmentos al presionar el boton correspondiente

A. El archivo `webserver.py`

Código ejemplo 6: Archivo `webserver.py`

```
1 import os
2 import sys
3 import json
4 import magic
5 from led_manager import leds, bcd, marquee
6 from http.server import BaseHTTPRequestHandler,
  HTTPServer
7 # import time
8 # import time
9
10 # Nombre o dirección IP del sistema anfitrión del
  servidor web
11 # address = "localhost"
12 address = "192.168.1.254"
13 # Puerto en el cual el servidor estará atendiendo
  solicitudes HTTP
14 # El default de un servidor web en producción debe ser 80
15 port = 8080
16
17
18 class WebServer(BaseHTTPRequestHandler):
19     """Sirve cualquier archivo encontrado en el servidor
       """
20     def _serve_file(self, rel_path):
21         if not os.path.isfile(rel_path):
22             self.send_error(404)
23             return
24         self.send_response(200)
25         mime = magic.Magic(mime=True)
26         self.send_header("Content-type", mime.from_file(
            rel_path))
27         self.end_headers()
28         with open(rel_path, 'rb') as file:
29             self.wfile.write(file.read())
30
31     """Sirve el archivo de interfaz de usuario"""
32     def _serve_ui_file(self):
33         if not os.path.isfile("user_interface.html"):
34             err = "user_interface.html not found."
35             self.wfile.write(bytes(err, "utf-8"))
36             print(err)
37             return
38         try:
39             with open("user_interface.html", "r") as f:
40                 content = "\n".join(f.readlines())
41         except:
42             content = "Error reading user_interface.html"
43             self.wfile.write(bytes(content, "utf-8"))
44
45     def _parse_post(self, json_obj):
46         if not 'action' in json_obj or not 'value' in
47             json_obj:
48             return
49         switcher = {
50             'led': leds,
51             'marquee': marquee,
52             'numpad': bcd
53         }
54         func = switcher.get(json_obj['action'], None)
55         if func:
56             print('\tCall{ }({})'.format(func, json_obj['value']
57             ))
58             func(json_obj['value'])
59
60     """do_GET controla todas las solicitudes recibidas vía
       GET, es
61 decir, páginas. Por seguridad, no se analizan
       variables que lleguen
62 por esta vía"""
63     def do_GET(self):
64         # Revisamos si se accede a la raíz.
65         # En ese caso se responde con la interfaz por
        defecto
66
67     if self.path == '/':
68         # 200 es el código de respuesta satisfactorio (OK)
69         # de una solicitud
70         self.send_response(200)
71         # La cabecera HTTP siempre debe contener el tipo
       de datos mime
72         # del contenido con el que responde el servidor
73         self.send_header("Content-type", "text/html")
74         # Fin de cabecera
75         self.end_headers()
76         # Por simplicidad, se devuelve como respuesta el
       contenido del
77         # archivo html con el código de la página de
       interfaz de usuario
78         self._serve_ui_file()
79         # En caso contrario, se verifica que el archivo
       exista y se sirve
80     else:
81         self._serve_file(self.path[1:])
82
83     """do_POST controla todas las solicitudes recibidas vía
       a POST, es
84 decir, envíos de formulario. Aquí se gestionan los
       comandos para
85 la Raspberry Pi"""
86     def do_POST(self):
87         # Primero se obtiene la longitud de la cadena de
       datos recibida
88         content_length = int(self.headers.get('Content-
89             Length'))
90         if content_length < 1:
91             return
92         # Después se lee toda la cadena de datos
93         post_data = self.rfile.read(content_length)
94         # Finalmente, se decodifica el objeto JSON y se
       procesan los datos.
95         # Se descartan cadenas de datos mal formados
96         try:
97             jobj = json.loads(post_data.decode("utf-8"))
98             self._parse_post(jobj)
99         except:
100             print(sys.exc_info())
101             print("Datos POST no reconocidos")
102
103     def main():
104         # Inicializa una nueva instancia de HTTPServer con el
105         # BaseHTTPRequestHandler definido en este archivo
106         webServer = HTTPServer((address, port), WebServer)
107         print("Servidor iniciado")
108         print("\tAtendiendo solicitudes en http://{ }:{ }".
109             format(
110                 address, port))
111
112     try:
113         # Mantiene al servidor web ejecutándose en segundo
       plano
114         webServer.serve_forever()
115     except KeyboardInterrupt:
116         # Maneja la interrupción de cierre CTRL+C
117         pass
118     except:
119         print(sys.exc_info())
120         # Detiene el servidor web cerrando todas las
       conexiones
121         webServer.server_close()
122         # Reporta parada del servidor web en consola
123         print("Server stopped.")
124
125 # Punto de anclaje de la función main
126 if __name__ == "__main__":
127     main()
```

B. El archivo user_interface.html

Código ejemplo 7: Archivo user_interface.html

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <head>
4 <title>Panel de Control LED - Raspberry Pi</title>
5 <meta charset="ISO-8859-1">
6 <style type="text/css">
7   html{
8     width: 100vw;
9     height: 100vh;
10    min-width: 100vw;
11    min-height: 100vh;
12    margin: 0;
13    padding: 0;
14    box-sizing: border-box;
15    overflow: hidden;
16  }
17
18  body{
19    width: 800px;
20    height: 100vh;
21    max-width: 800px;
22    min-height: 100vh;
23    padding: 0;
24    margin: 0 auto;
25    box-sizing: border-box;
26  }
27
28  body::after{
29    content: "";
30    position: absolute;
31    top: 0;
32    left: 0;
33    bottom: 0;
34    right: 0;
35    z-index: -1;
36    opacity: 0.5;
37    background-image: url('img/raspberry.png');
38    background-repeat: no-repeat;
39    background-attachment: fixed;
40    background-position: center;
41    background-size: contain;
42  }
43
44  header{
45    width: 100%;
46    padding: 0;
47    margin: 0;
48    box-sizing: border-box;
49    text-align: center;
50  }
51
52  h1{
53    height: 2em;
54    padding: 1em 0;
55  }
56
57  .container{
58    width: 100%;
59    padding: 0;
60    margin: 0;
61    box-sizing: border-box;
62    display: flex;
63    flex-direction: row;
64  }
65
66  .column{
67    flex: 1 0 0;
68    display: flex;
69    flex-direction: column;
70  }
71
72  .numpad{
73    width: 6.5em;
74    height: 12.75em;
75    background-color: #333333;
76
77    margin: 0.5em auto;
78    padding: 0;
79    font-size: 28pt;
80    flex-wrap: wrap;
81  }
82
83  .numbutton{
84    font-size: inherit;
85    flex: 1 0 0;
86    margin: 0.25em;
87  }
88
89  .ledstrip{
90    justify-content: space-evenly;
91    width: 90%;
92    height: 4em;
93    padding: 0;
94    margin: 0.5em auto;
95    /*background-color: #333333;*/
96  }
97
98  .ledbutton{
99    width: 3.5em;
100   height: 3.5em;
101   color: #F00;
102   background-color: #933;
103   border-radius: 50%;
104   margin: 0.25em;
105   padding: 0;
106   border: none;
107   box-shadow: 0px 4px 5px rgba(0, 0, 0, 0.2);
108 }
109
110 .ledbutton:hover{
111   background-color: #F33;
112 }
113
114 .widebutton{
115   font-size: 18pt;
116   width: 90%;
117   margin: 0.25em auto;
118 }
119
120 .on{
121   color: #0F0;
122   background-color: #3F3;
123 }
124 </style>
125 </head>
126 <body>
127   <header><h1>Panel de Control LED</h1></header>
128   <section class="container">
129     <article class="column">
130       <header><h2>Leds</h2></header>
131       <section class="container ledstrip">
132         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
133           'led', 1)">1</button>
134         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
135           'led', 2)">2</button>
136         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
137           'led', 3)">3</button>
138         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
139           'led', 4)">4</button>
140         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
141           'led', 5)">5</button>
142         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
143           'led', 6)">6</button>
144         <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
145           'led', 7)">7</button>
146       </section>
147       <button class="widebutton" onclick="handle(this, '
148         marquee', 'left')">Marquesina Izq.</button>
149       <button class="widebutton" onclick="handle(this, '
150         marquee', 'right')">Marquesina Der.</button>
151     </article>
152   </section>
153 </body>
```



```

142     <button class="widebutton" onclick="handle(this, '
marquee', 'pingpong')">Ping-pong</button>
143 </article>
144 <article class="column">
145     <header><h2>Display</h2></header>
146     <section class="container numpad">
147         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 7)">7</button>
148         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 8)">8</button>
149         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 9)">9</button>
150         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 4)">4</button>
151         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 5)">5</button>
152         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 6)">6</button>
153         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 1)">1</button>
154         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 2)">2</button>
155         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 3)">3</button>
156         <button class="numbutton" onclick="handle(this,
'numpad', 0)">0</button>
157     </section>
158 </article>
159 </section>
160 </body>
161 </html>
162 <script language="javascript">

```

```

163 <!--
164 function deactivateAll(){
165     var buttons = document.getElementsByTagName('button');
166     for(button in buttons)
167         button.classList.remove("on")
168 }
169
170 function activate(sender){
171     if(sender == null)
172         return;
173     sender.classList.add("on");
174 }
175
176 function handle(sender, action, value){
177     // deactivateAll();
178     // activate(sender);
179     submit(action, value);
180 }
181
182 function submit(action, value){
183     var xhr = new XMLHttpRequest();
184     xhr.open("POST", window.location.href, true);
185     xhr.setRequestHeader('Content-Type', 'application/json
');
186     xhr.send(JSON.stringify({
187         'action' : action,
188         'value' : value,
189     }));
190 }
191 //-->
192 </script>

```