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

Versión: 2025.09

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 un una Raspberry Pi con sistema operativo Raspberry Pi OS 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.
3. Configure la Raspberry Pi como punto de acceso inalámbrico.
4. Levante un servidor de prueba como se detalla en la Subsección 3.3.
5. Realice los experimentos propuestos en la Sección 4.

3.1. Paso 1: Instalación de paquetes

Instale los paquetes `DNSMasq` y `python3-magic` tras actualizar su Pi:

```
# apt-get update
# apt-get upgrade
# apt-get install dnsmasq python3-magic
```

Detenga el servicio `DNSMasq` a fin de poder reconfigurarlo:

```
# systemctl stop dnsmasq
```

3.2. Paso 2: 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.

eth0

En esta práctica se modificará la configuración del adaptador inalámbrico, por lo que no podrá usarlo para conectarse a internet.
Antes de continuar, conecte su Raspberry Pi a una red cableada mediante el adaptador `eth0` tal como se indica en el manual de la Práctica 1 o configurándola con NetworkManager.

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.Y`. Así mismo, se supondrá que el dispositivo inalámbrico utilizado es `wlan0`.

3.2.1. Configuración del servidor DHCP

El primer 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 con `mv /etc/dnsmasq.conf /etc/dnsmasq.conf.bak` 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 es necesario instruir a NetworkManager, el gestor de redes de Debian, para que utilice a dnsmasq cuando así sea necesario. Cree el archivo `/etc/NetworkManager/conf.d/dhcp.conf` con el siguiente texto:

```
1 [main]
2 dhcp=dhcpcd
```

3.2.2. Configuración del punto de acceso

Para configurar el punto de acceso se debe crear una nueva conexión tipo punto de acceso (*hotspot*) con NetworkManager. Posteriormente la conexión debe editarse para asignarle al punto de acceso una IP estática a fin de que pueda servir archivos y asignar direcciones IP. Esto se logra con los siguientes comandos:

```
# nmcli device wifi hotspot con-name AccessPoint ssid RaspberryAP band bg password 12345678
# nmcli connection modify "AccessPoint" ipv4.addresses "192.168.1.254/24" \
  ipv4.gateway "192.168.1.254" ipv4.method manual ipv6.method disabled
```

donde:

- `AccessPoint` es el nombre de la conexión como será conocida por NetworkManager
- `RaspberryAP` es el SSID de la red
- `bg` son los modos de operación
- `12345678` es la contrase;a para la conexión
- `192.168.1.254` es la la dirección IP asignada a la interfaz. Nótese que coincide con el punto de acceso.

La configuración ingresada configura la Raspberry Pi para crear una red inalámbrica tipo 802.11b/g con el nombre *RaspbberryAP* y contraseña `12345678`. La seguridad de forma predeterminada es 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.** Puede hacerlo con `nmtui-edit`, `nmcli connection modify`, o bien editando el archivo `.nmconnection` asociado.

Ahora revise el archivo `/etc/NetworkManager/system-connections/AccessPoint.nmconnection`. Deberá ver algo similar a lo siguiente.

```
[connection]
id=AccessPoint
uuid=ebf75b60-23be-4b65-9227-29b21ebadb00
type=wifi
interface-name=wlan0
timestamp=1757465037

[wifi]
band=bg
channel=1
mode=ap
ssid=RaspberryAP

[wifi-security]
group=ccmp;
key-mgmt=wpa-psk
pairwise=ccmp;
proto=rsn;
psk=12345678

[ipv4]
address1=192.168.1.254/24,192.168.1.254
method=manual

[ipv6]
addr-gen-mode=default
method=disabled

[proxy]
```

3.2.3. Habilitación del punto de acceso

NetworkManager no habilita el punto de acceso de forma predeterminada, por lo que es necesario activarlo manualmente. Además, precisaremos de reiniciar antes el servicio para que recargue las configuraciones ingresadas y habilite `dnsmasq`. Para habilitar el punto de acceso ejecute el siguiente comando:

```
# systemctl restart NetworkManager
$ nmcli connection up AccessPoint
```

Verifique que la configuración de la conexión y que el adaptador está habilitado con la IP configurada.

```
$ nmcli connection show AccessPoint
$ ifconfig
```

Como prueba de fuego, intente conectarse a la Raspberry Pi desde su dispositivo móvil usando el SSID y la contraseña ingresados. La conexión debería ser exitosa aunque notará que no cuenta con conexión a internet.

3.2.4. Habilitación de activación automática del punto de acceso

De igual manera, las conexiones de NetworkManager no inician automáticamente. Para superar este inconveniente es necesario instruir a NetworkManager para que lance el punto de acceso de forma automática tras cada reinicio. Esto se logra con la siguiente instrucción:

```
$ nmcli connection modify connection.autoconnect yes connection.autoconnect-priority 1
```

Finalmente reinicie su Rasbperry Pi y verifique la activación automática del punto de acceso.

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

Raspbian es una variante d 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.")
20
21 # Punto de anclaje de la función main
22 if __name__ == "__main__":
23   main()
```

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 2014) 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

```
def do_GET(self):
  # Revisamos si se accede a la raiz.
  # En ese caso se responde con la interfaz por defecto
  if self.path == '/':
    # 200 es el código de respuesta satisfactorio (OK)
    # de una solicitud
    self.send_response(200)
    # La cabecera HTTP siempre debe contener el tipo de datos mime
    # del contenido con el que responde el servidor
    self.send_header("Content-type", "text/html")
    # Fin de cabecera
    self.end_headers()
    # Por simplicidad, se devuelve como respuesta el contenido del
    # archivo html con el código de la página de interfaz de usuario
    self._serve_ui_file()
  # En caso contrario, se verifica que el archivo exista y se sirve
  else:
    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

```
def _serve_file(self, rel_path):
  if not os.path.isfile(rel_path):
    self.send_error(404)
    return
  self.send_response(200)
  mime = magic.Magic(mime=True)
  self.send_header("Content-type", mime.from_file(rel_path))
  self.end_headers()
  with open(rel_path, 'rb') as file:
    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 dados 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

```
def do_POST(self):
  # Primero se obtiene la longitud de la cadena de datos recibida
  content_length = int(self.headers.get('Content-Length'))
  if content_length < 1:
    return
  # Después se lee toda la cadena de datos
  post_data = self.rfile.read(content_length)
  # Finalmente, se decodifica el objeto JSON y se procesan los datos.
  # Se descartan cadenas de datos mal formados
  try:
    jobj = json.loads(post_data.decode("utf-8"))
    self._parse_post(jobj)
  except:
    print(sys.exc_info())
    print("Datos POST no recnocidos")
```

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

```
def _parse_post(self, json_obj):
  if not 'action' in json_obj or not 'value' in json_obj:
    return
  switcher = {
    'led'     : leds,
    'marquee' : marquee,
    'numpad'  : bcd
  }
  func = switcher.get(json_obj['action'], None)
  if func:
    print('\tCall{}({})'.format(func, json_obj['value']))
    func(json_obj['value'])
```

Genere los archivos `webserver.py` y `user_interface.html` (véase Apéndices A y B), luego ejecute el scrypt 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://192.168.1.254:8080`. Debería ver una pantalla similar a la siguiente.

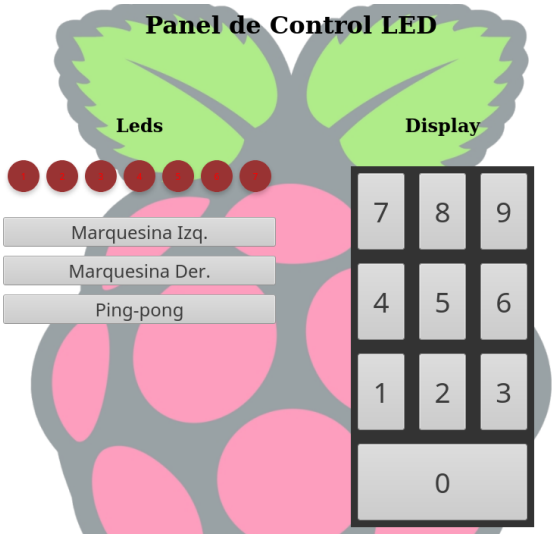

Figura 1: Caption: Intefaz de usuario del controlador de Leds en la Raspberry Pi.

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

Experimentos opcionales:

1. [+2 pts] Modifique la implementación presentada para que la interfaz web refleje el estado de la Pi en todo momento, incluyendo la animación de las marquesinas.
2. [+2 pts] Modifique la implementación presentada para que sea posible definir la velocidad de rotación de la marquesina en la interfaz web.
3. [+2 pts] Genere un único script de *shell* (ej. *bash*) que automatice la configuración del punto de acceso inalámbrico. Dicho script recibirá dos parámetros opcionales: el SSID de la red y la contraseña a utilizar.

A. El archivo **webserver.py**

Código ejemplo 6: Archivo webserver.py

```
import os
import sys
import json
import magic
from led_manager import leds, bcd, marquee
from http.server import BaseHTTPRequestHandler, HTTPServer
# import time
# import time

# Nombre o dirección IP del sistema anfitrión del servidor web
# address = "localhost"
address = "192.168.1.254"
# Puerto en el cual el servidor estará atendiendo solicitudes HTTP
# El default de un servidor web en produción debe ser 80
port = 8080


class WebServer(BaseHTTPRequestHandler):
  """Sirve cualquier archivo encontrado en el servidor """
  def _serve_file(self, rel_path):
    if not os.path.isfile(rel_path):
      self.send_error(404)
      return
    self.send_response(200)
    mime = magic.Magic(mime=True)
    self.send_header("Content-type", mime.from_file(rel_path))
    self.end_headers()
    with open(rel_path, 'rb') as file:
      self.wfile.write(file.read())


  """Sirve el archivo de interfaz de usuario"""
  def _serve_ui_file(self):
    if not os.path.isfile("user_interface.html"):
      err = "user_interface.html not found."
      self.wfile.write(bytes(err, "utf-8"))
      print(err)
      return
    try:
      with open("user_interface.html", "r") as f:
        content = "\n".join(f.readlines())
    except:
      content = "Error reading user_interface.html"
    self.wfile.write(bytes(content, "utf-8"))

  def _parse_post(self, json_obj):
    if not 'action' in json_obj or not 'value' in json_obj:
      return
    switcher = {
      'led'     : leds,
      'marquee' : marquee,
      'numpad'  : bcd
    }
    func = switcher.get(json_obj['action'], None)
    if func:
      print('\tCall{}({})'.format(func, json_obj['value']))
      func(json_obj['value'])


  """do_GET controla todas las solicitudes recibidas vía GET, es
  decir, páginas. Por seguridad, no se analizan variables que lleguen
  por esta vía"""
  def do_GET(self):
    # Revisamos si se accede a la raiz.
    # En ese caso se responde con la interfaz por defecto
    if self.path == '/':
      # 200 es el código de respuesta satisfactorio (OK)
      # de una solicitud
      self.send_response(200)
      # La cabecera HTTP siempre debe contener el tipo de datos mime
      # del contenido con el que responde el servidor
      self.send_header("Content-type", "text/html")
      # Fin de cabecera
      self.end_headers()
      # Por simplicidad, se devuelve como respuesta el contenido del
      # archivo html con el código de la página de interfaz de usuario
      self._serve_ui_file()
    # En caso contrario, se verifica que el archivo exista y se sirve
    else:
      self._serve_file(self.path[1:])



  """do_POST controla todas las solicitudes recibidas vía POST, es
  decir, envíos de formulario. Aquí se gestionan los comandos para
  la Raspberry Pi"""
  def do_POST(self):
    # Primero se obtiene la longitud de la cadena de datos recibida
    content_length = int(self.headers.get('Content-Length'))
    if content_length < 1:
      return
    # Después se lee toda la cadena de datos
    post_data = self.rfile.read(content_length)
    # Finalmente, se decodifica el objeto JSON y se procesan los datos.
    # Se descartan cadenas de datos mal formados
    try:
      jobj = json.loads(post_data.decode("utf-8"))
      self._parse_post(jobj)
    except:
      print(sys.exc_info())
      print("Datos POST no recnocidos")

def main():
  # Inicializa una nueva instancia de HTTPServer con el
  # HTTPRequestHandler definido en este archivo
  webServer = HTTPServer((address, port), WebServer)
  print("Servidor iniciado")
  print ("\tAtendiendo solicitudes en http://{}:{}".format(
    address, port))

  try:
    # Mantiene al servidor web ejecutándose en segundo plano
    webServer.serve_forever()
  except KeyboardInterrupt:
    # Maneja la interrupción de cierre CTRL+C
    pass
  except:
    print(sys.exc_info())
  # Detiene el servidor web cerrando todas las conexiones
  webServer.server_close()
  # Reporta parada del servidor web en consola
  print("Server stopped.")


# Punto de anclaje de la función main
if __name__ == "__main__":
  main()
```

B. El archivo `user_interface.html`

Código ejemplo 7: Archivo user_interface.html

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Panel de Control LED - Raspberry Pi</title>
<meta charset="ISO-8859-1">
<style type="text/css">
  html{
    width:                  100vw;
    height:                 100vh;
    min-width:              100vw;
    min-height:             100vh;
    margin:                 0;
    padding:                0;
    box-sizing:             border-box;
    overflow:               hidden;
  }

  body{
    width:                  800px;
    height:                 100vh;
    max-width:              800px;
    min-height:             100vh;
    padding:                0;
    margin:                 0 auto;
    box-sizing:             border-box;
  }

  body::after{
    content:                "";
    position:               absolute;
    top:                    0;
    left:                   0;
    bottom:                 0;
    right:                  0;
    z-index:                -1;
    opacity:                0.5;
    background-image:       url('img/raspberry.png');
    background-repeat:      no-repeat;
    background-attachment:  fixed;
    background-position:    center;
    background-size:        contain;
  }

  header{
    width:                  100%;
    padding:                0;
    margin:                 0;
    box-sizing:             border-box;
    text-align:             center;
  }

  h1{
    height:                 2em;
    padding:                1em 0;
  }

  .container{
    width:                  100%;
    padding:                0;
    margin:                 0;
    box-sizing:             border-box;
    display:                flex;
    flex-direction:         row;
  }

  .column{
    flex:                   1 0 0;
    display:                flex;
    flex-direction:         column;
  }

  .numpad{
    width:                  6.5em;
    height:                 12.75em;
    background-color:       #333333;
    border-radius:          5px;
    margin:                 0.5em auto;
    padding:                0.2em;
    font-size:              28pt;
    display:                grid;
    grid-template-columns:  auto auto auto;
  }

  .numbutton{
    font-size:              inherit;
    flex:                   1 0 0;
    margin:                 0.125em;
  }

  .ledstrip{
    justify-content:        space-evenly;
    width:                  90%;
    height:                 4em;
    padding:                0;
    margin:                 0.5em auto;
    /*background-color:       #333333;*/

  }

  .ledbutton{
    width:                  3.5em;
    height:                 3.5em;
    color:                  #F00;
    background-color:       #933;
    border-radius:          50%;
    margin:                 0.25em;
    padding:                0;
    border:                 none;
    box-shadow:             0px 4px 5px rgba(0, 0, 0,
     0.2);
  }

  .ledbutton:hover{
    background-color:       #F33;
  }

  .widebutton{
    font-size:              18pt;
    width:                  90%;
    margin:                 0.25em auto;
  }

  .on{
    color:                  #0F0;
    background-color:       #3F3;
  }
</style>
</head>
<body>
  <header><h1>Panel de Control LED</h1></header>
  <section class="container">
    <article class="column">
      <header><h2>Leds</h2></header>
      <section class="container ledstrip">
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 1)">1</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 2)">2</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 3)">3</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 4)">4</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 5)">5</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 6)">6</button>
        <button class="ledbutton" onclick="handle(this,
     'led', 7)">7</button>
      </section>
      <button class="widebutton" onclick="handle(this, '
    marquee', 'left')">Marquesina Izq.</button>
```

```
      <button class="widebutton" onclick="handle(this, 'marquee', 'right')">Marquesina Der.</button>
      <button class="widebutton" onclick="handle(this, 'marquee', 'pingpong')">Ping-pong</button>
    </article>
    <article class="column">
      <header><h2>Display</h2></header>
      <section class="container numpad">
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 7)">7</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 8)">8</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 9)">9</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 4)">4</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 5)">5</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 6)">6</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 1)">1</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 2)">2</button>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 3)">3</button>
        <div class="numbutton" ></div>
        <button class="numbutton" onclick="handle(this, 'numpad', 0)">0</button>
        <div class="numbutton" ></div>
      </section>
    </article>
  </section>
</body>
</html>
<script language="javascript">
<!--
function deactivateAll(){
  var buttons = document.getElementsByTagName('button');
  for(button in buttons)
    button.classList.remove("on")
}

function activate(sender){
  if(sender == null)
    return;
  sender.classList.add("on");
}

function handle(sender, action, value){
  // deactivateAll();
  // activate(sender);
  submit(action, value);
}

function submit(action, value){
  var xhr = new XMLHttpRequest();
  xhr.open("POST", window.location.href, true);
  xhr.setRequestHeader('Content-Type', 'application/json');
  xhr.send(JSON.stringify({
    'action' : action,
    'value' :  value,
  }));
}
//-->
</script>
```