

Programarea ESP32 pentru IoT

SEVER SPÂNULESCU

Programarea ESP32 pentru IoT



EDITURA UNIVERSITARĂ
București, 2019

Colecția ȘTIINȚE EXACTE

Redactor: Gheorghe Iovan
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
SPÂNULESCU, SEVER

Programarea ESP32 pentru IoT / Sever Spânulescu. - București :
Editura Universitară, 2019
Conține bibliografie
ISBN 978-606-28-0904-1

004

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062809041

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate autorului

Copyright © 2019
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București
Tel.: 021.315.32.47
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47 / 07217 CARTE / 0745.200.357
comenzi@editurauniversitara.ro
O.P. 15, C.P. 35, București
www.editurauniversitara.ro

Contents

INTRODUCERE.....	9
PARTEA I. Comunicații IOT folosind tehnologii HTML/JavaScript clasice	11
1. PREZENTAREA GENERALĂ A CĂRȚII ȘI A MODULELOR HARDWARE.....	12
1.1. Obiectivele generale ale lucrării.....	13
1.2. Structura și metodică utilizării lucrării.....	18
1.3. Implementarea hardware. Cuplarea intrărilor și ieșirilor modulului ESP32.....	19
1.4. Exemple de plăci cu microcontrolere ESP	20
2. DEZVOLTAREA APLICAȚIILOR IOT CU ESP32 / ESP8266 UTILIZÂND HTML / JAVASCRIPT	26
2.1. Instalarea mediului Arduino pentru microcontrolere ESP.....	26
2.2. Realizarea unui server simplu cu microcontroler ESP32..	27
2.3. Alocarea unei adrese statice pentru accesul din exterior..	29
2.4. Aplicație pentru Android folosind MIT App Inventor	34
3. COMANDA UNUI PORT GPIO PRIN WIFI	37
3.1. Realizarea unei pagini web pentru transmitere de comenzi dintr-un browser.....	37
3.2. Realizarea unei aplicații mobile pentru comanda ESP32 folosind MIT App Inventor	40
3.3. Utilizarea unui port diferit de 80	43
4. TRANSMITEREA COMENZILOR ANALOGICE ȘI DIGITALE CĂTRE UN SERVER ESP32 DINTR-O APLICAȚIE MIT APP INVENTOR.....	47
4.1. Principiile generale ale transmisiilor analogice prin canale digitale.....	47
4.2. Realizarea conversiei digital-analogice prin PWM în Arduino ID	48
4.3. Comanda analogică în aplicația MIT App Inventor	52

5. COMUNICAȚIE BIDIREȚIONALĂ ÎNTRE CLIENT ȘI SERVER UTILIZÂND MIT APP INVENTOR	55
5.1. Cerințe privind comunicațiile bidireționale client-server	55
5.2. Reâmprospătarea periodică a paginii web prin MIT App Inventor	56
5.3. Aplicație completă pentru comunicații bidireționale folosind MIT App Inventor	58
5.4. Programul complet ESP32 pentru comunicarea bidirețională cu un client MIT App Inventor	61
6. TRANSMITERE BIDIREȚIONALĂ PRIN INTERMEDIUL PAGINII WEB. TEHNOLOGIA AJAX.....	64
6.1. Metode și obiecte ale tehnologiei AJAX	64
6.2. Exemplu de program pentru comanda unei ieșiri digitale cu transmisie prin AJAX.....	69
6.3. Exemplu de program pentru controlul a două ieșiri digitale cu transmisie AJAX.....	73
7. REÎMPROSPĂTAREA AUTOMATĂ A PAGINII WEB PRIN AJAX	78
7.1. Principiile reâmprospătării automate	78
7.2. Exemplu de program cu reâmprospătare automată prin AJAX	79
7.3. Controlul stării digitale și citirea valorilor digitale și analogice prin AJAX, cu reâmprospătare.....	82
7.4. Program pentru controlul a două stări logice și citirea a două valori logice și o valoare analogică, folosind AJAX, cu reâmprospătare	87
8. MONITORIZAREA ȘI COMANDA HTML/JS/CSS A VALORILOR ANALOGICE	94
8.1. Elemente de tip Progressbar proiectate prin CSS.....	94
8.2. Exemplu de program pentru monitorizarea a două intrări digitale și a uneia analogice și controlul a două ieșiri digitale	96
9. COMENZI DE LA CLIENT LA SERVER, CU CONFIRMARE DE PRIMIRE	100
9.1. Asigurarea coerenței în rețelele perturbate	100
9.2. Program cu confirmare/retransmitere a comenzilor pentru două ieșiri digitale și monitorizarea a patru intrări digitale și o intrare analogică	102
9.3. Elementele analogice de comandă de tip range	109

10. PROGRAMAREA ESP8266 / 32 FOLOSIND MEDIUL DE DEZVOLTARE ESP-IDF ȘI ECLIPSE	119
10.1. Instalarea mediului de dezvoltare ESP-IDF și setarea Toolchain	119
10.2. Testarea unui proiect exemplu	121
10.3. Instalarea și configurarea Eclipse	123
PARTEA II. Comunicațiile IoT utilizând tehnologia MQTT	127
11. UTILIZAREA TEHNOLOGIEI MQTT- MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT	128
11.1. Prezentare generală a tehnologiei MQTT	129
11.2. Instalarea și testarea bibliotecii PubSubClient	135
12. EXEMPLE DE APLICAȚII DEDICATE TEHNOLOGIEI MQTT	138
12.1. Instalarea și utilizarea aplicației HelloIoT	138
12.2. Comenzi ale unor ieșiri digitale ale modului ESP32	139
12.3. Comanda analogică prin PWM	143
12.4. Citire intrări digitale și analogice	147
13. PROGRAMAREA COMUNICAȚILOR MQTT UTILIZÂND MEDIUL DE DEZVOLTARE NODE-RED	155
13.1. Instalarea Node-Red în Windows	156
13.2. Instalare mosquitto în windows	157
13.3. Realizarea de comunicații MQTT prin Node-Red	158
13.4. Programare in Node-Red	158
14. COMANDA UNOR IEȘIRI UTILIZÂND NODE-RED ȘI MOSQUITTO PE UN COMPUTER WINDOWS	160
14.1. Comanda ieșirilor digitale	160
14.2. Controlul unei ieșiri analogice folosind Node-Red	170
15. MONITORIZAREA UNOR INTRĂRI FOLOSIND NODE-RED ȘI MOSQUITTO PE UN CALCULATOR WINDOWS	173
15.1. Monitorizarea intrărilor analogice folosind Node-Red	174
15.2. Monitorizarea unor intrări digitale folosind Node-Red	178
16. UTILIZAREA NODE-RED ȘI A BROKERULUI MOSQUITTO PE RASPBERRY PI	188
16.1. Instalare Raspbian pe Raspberry Pi	188
16.2. Instalare broker Mosquitto	189
16.3. Instalarea Node-Red	190
16.4. Accesul brokerului prin Internet	190
16.5. Instalarea Node-Red Dashboard pe Raspberry Pi	193

PARTEA III. Comunicații prin Internet folosind tehnologia WebSockets.....	199
17. UTILIZAREA TEHNOLOGIEI WEBSOCKETS PE ESP32 ..	200
17.1. Caracteristici generale ale tehnologiei WebSockets.....	202
17.2. Transmisia unei comenzi către o ieșire digitală.....	205
17.3. Comenzi pentru trei ieșiri digitale	212
17.4. Comenzi analogice ale ieșirilor, utilizând tehnica PWM..	216
18. MONITORIZAREA UNOR INTRĂRI PRIN TEHNOLOGIA WEBSOCKETS	224
18.1. Monitorizarea unor intrări digitale prin WebSockets	224
18.2. Monitorizarea unei intrări analogice prin Websockets	231
18.3. Afișarea unei valori analogice prin text și progressbar	234
18.4. Afișarea unei valori analogice prin text, progressbar și gauge	237
18.5. Afișarea unei valori analogice prin text, progressbar, Gauge și Line Chart	242

Introducere

În ultimele decenii, din ce în ce mai multe obiecte din industrie, comerț, infrastructură și chiar de larg consum au fost dotate cu diverse aplicații de automatizare, electronică și informatică. Multe dintre hotspoturile acestor sisteme includ deja inteligență artificială locală și numeroase facilități pentru a ajuta inteligența umană.

Treptat, în fabricile moderne, tot mai multe subsisteme au fost interconectate, schimbând informațiile și îmbunătățind considerabil productivitatea prin astfel de comunicații de la mașină la mașină (M2M).

În același timp, rețeaua globală de comunicații - Internetul - a crescut și s-a dezvoltat, conectând dispozitive desktop, laptop, tablete, dispozitive smartphone, în special utilizatori umani.

Deci, pe de o parte, au existat mașini care comunicau la nivel local și, pe de altă parte, oameni care comunicau la nivel global. Următorul pas a fost, desigur, fuziunea tuturor acestor schimburi de informații într-un nou nivel - Internetul Lucrurilor - IoT. Prin aceasta, dispozitivele asistate de calculator au câștigat accesul global prin intermediul internetului, iar utilizatorii umani au avut acces la monitorizarea și comandarea acestora la orice distanță.

Analiza celor două tipuri de capete ale canalelor de transmisie a informațiilor prezintă diferențe de viteză foarte mari: dispozitivele informatice sunt cu multe ordine de viteză mai rapide decât operatorii umani. Cu toate acestea, se pare că numai începând cu anul 2009 raportul numeric a devenit favorabil primei categorii, astfel încât un domeniu foarte larg de conexiune la Internet este încă deschis. Se estimează că numărul componentelor IoT va ajunge la 12 trilioane în 2030, ceea ce va genera probabil o a patra revoluție industrială, numită deja „Industry 4.0”. O sarcină uriașă, care necesită specialiști cu înaltă calificare și soluții simple și cât mai puțin costisitoare.

Un pas important în această direcție a fost apariția unor microcontrolere cu conexiuni WiFi foarte ieftine, produse de Espressif Systems, care permit calificarea rapidă independentă a celor care au deja cunoștințe clasice despre IT și doresc să facă parte din acest proces.

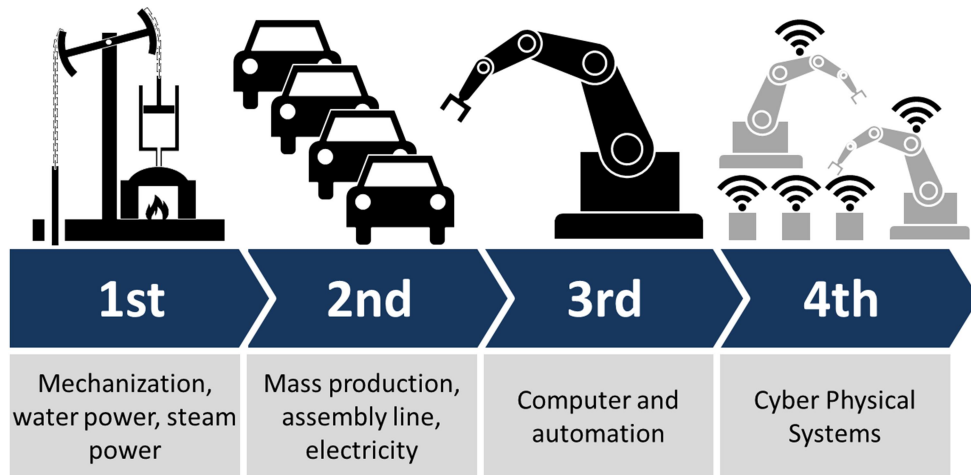


Figura I.1. Ilustrarea conceptului „Industry 4.0”, arătând cele 4 revoluții industriale

Această carte nu are intenția de a trata comprehensiv teoria, ci de a oferi soluții practice și pe deplin funcționale, sub forma unor programe complete. O mare parte din teorie este deja cunoscută de unii dintre cititori, sau poate fi găsită în multe alte manuale. Dar programele prezentate aici includ un mare efort și au multe soluții originale urmărind una dintre paradigmele de bază ale programării: „Keep i(o)t simple”.

Și - cel mai important lucru pentru o astfel de carte - toate programele au fost deja verificate de către terți, în cazul de față studenți de la Univesitatea Hyperion.

Partea I.
Comunicații IoT folosind
tehnologii HTML/JavaScript
clasice

1. Prezentarea generală a cărții și a modulelor hardware

1.1. Obiectivele generale ale lucrării

Această carte prezintă mai multe soluții simple și practice pentru implementarea comunicațiilor automate de date între dispozitivele conectate la Internet. Acestea sunt plasate în categoria Internet of Things (IoT) și Machine to Machine (M2M), a căror sferă de aplicare se extinde continuu și ridică un interes crescând atât pentru bunurile industriale, cât și pentru cele de consum.

Lucrarea intenționează să detalieze astfel de aplicații complete, pornind de la cunoștințe de nivel intermediar, cum ar fi programarea C (pe medii precum Arduino IDE și ESP-IDF), HTML / CSS și JavaScript, care sunt completate de tehnologii moderne precum Ajax, MQTT, Node.js, AngularJS și WebSockets, prezentate corespunzător pentru aceste aplicații.

Comunicațiile dintre dispozitivele cuplate la Internet exemplificate mai jos vor fi realizate între un dispozitiv de interfață de proces și un dispozitiv de comandă/monitor.

Dispozitivul de interfață primește date de intrare de la senzori/traductoare și generează date de ieșire către elementele de execuție/actatoare. În acest scop, vor fi utilizate module cu posibilități de conectare WiFi, de tip ESP8266 sau ESP32, care au mai multe avantaje:

- volum redus (Figura 1.1, Figura 1.4, Figura 1.7);
- consum redus, cu posibilități de "sleep" și funcționare pe baterie;
- nu necesită cabluri Ethernet;
- preț scăzut;
- număr suficient de canale digitale și analogice de intrare și ieșire;
- opțiuni simple de programare, care utilizează mediul IDE Arduino.

Evident, pot fi folosite și alte module, care rulează programe cu algoritmi identici cu cei prezentați aici.

În prima parte a lucrării, utilizând tehnologiile web clasice, dispozitivul de interfață acționează în general ca un server, astfel că este cel care generează pagina web și răspunde cererilor de la aplicații client.

În partea a doua a lucrării, folosind tehnologiile MQTT, un server dedicat rulează un program de recepție și distribuire a mesajelor cu diverse subiecte și conținut („payload”), astfel încât să poată crea o rețea mult mai

complexă, cu clienți echivalenți, fiecare cu funcții flexibile, cu sau fără intervenție umană.

În ultima parte a lucrării sunt prezentate exemple de implementare a tehnologiei WebSockets care oferă legături bidirecționale de mare viteză client-server.

Dispozitivul de comandă/monitor poate fi un PC, o tabletă sau chiar un smartphone, care rulează o aplicație dedicată sau pagina web creată de server.

Exemple de interfețe grafice realizate în timpul lucrării sunt prezentate în imaginile următoare, cu diverse complexități și tehnologii (Figurile 1.1-1.6).

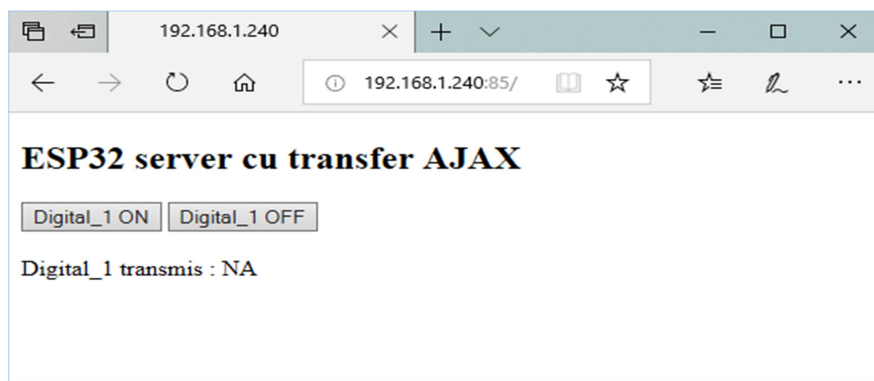


Figura 1.1. Pagina web de comandă a unei ieșiri digitale (HTML)

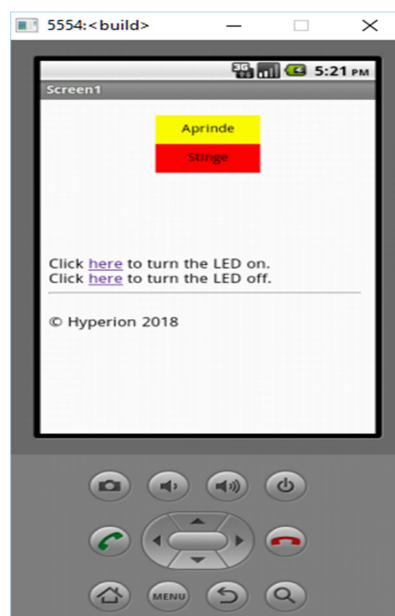


Figura 1.2. Aplicația MIT Inventor comandând o ieșire digitală (HTML)

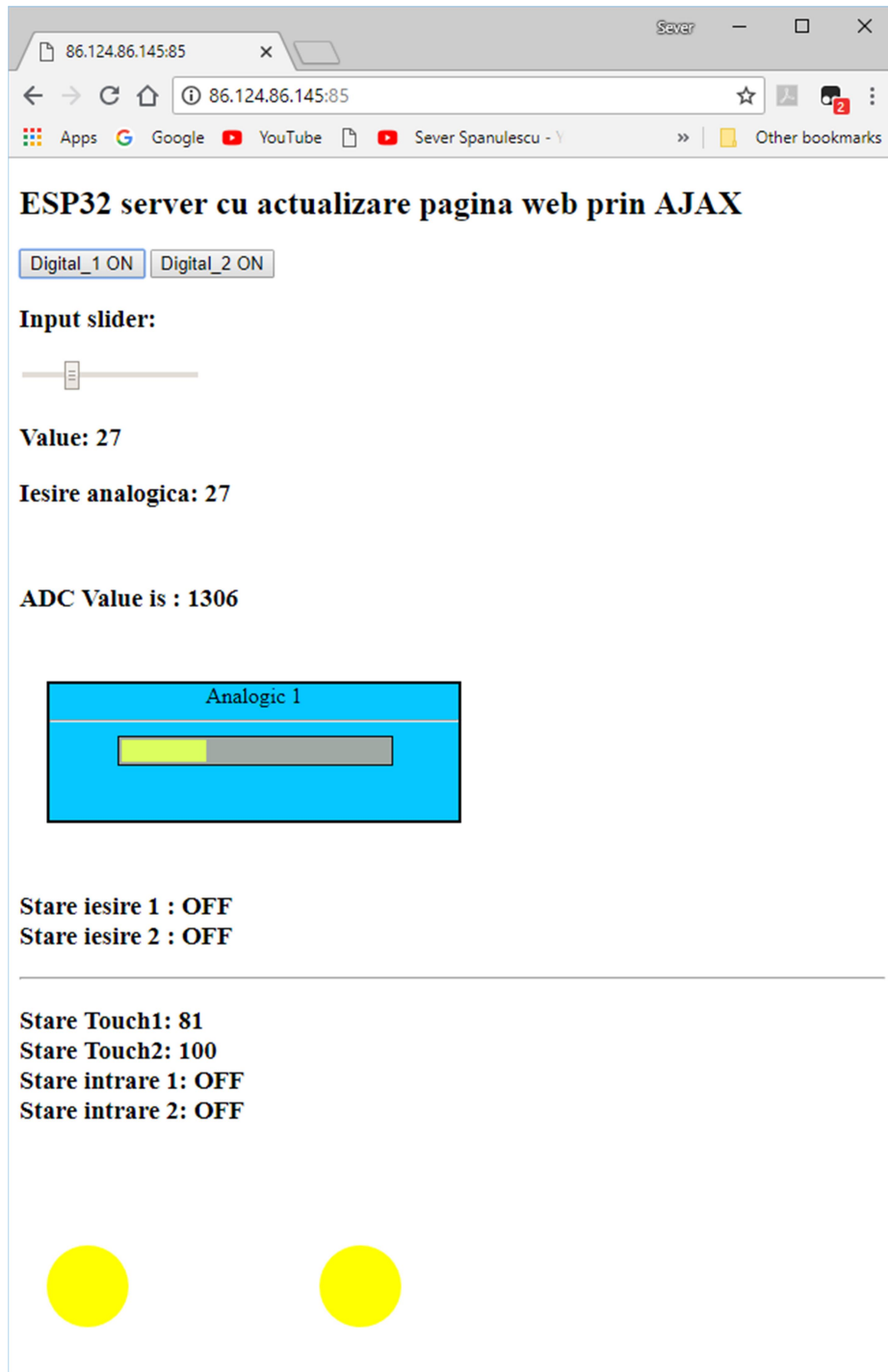


Figura 1.3. Pagină web pentru controlul și monitorizarea ieșirilor/intrărilor (HTML / JS / AJAX)

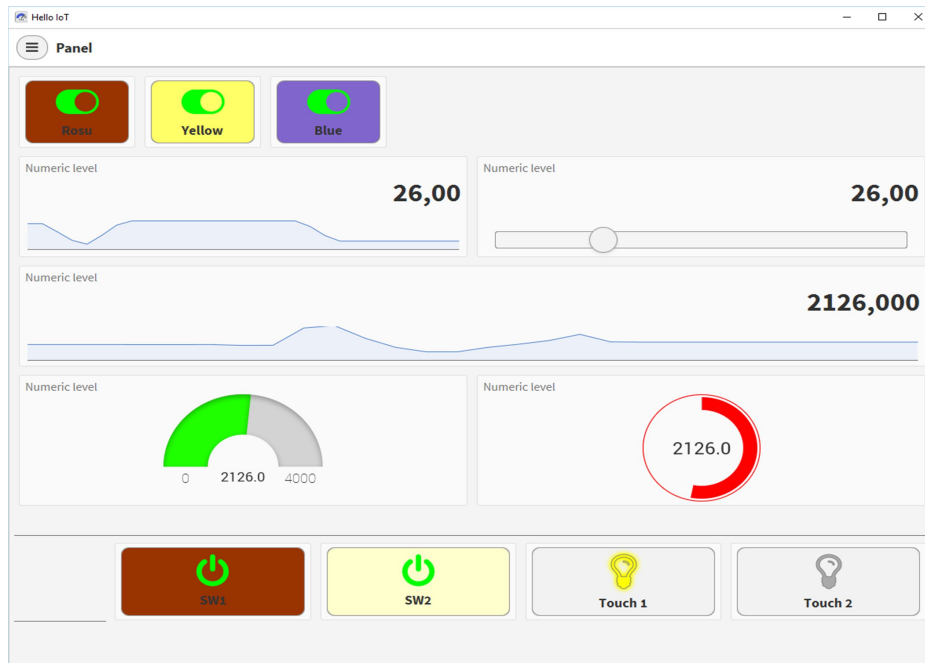


Figura 1.4. Aplicație HelloIoT pentru controlul și monitorizarea ieșirilor / intrărilor

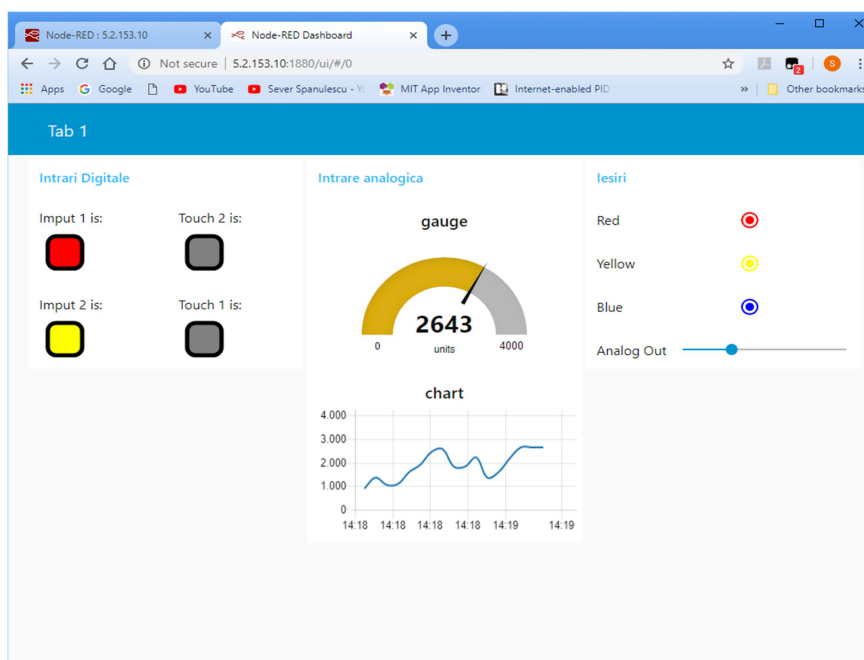


Figura 1.5. Pagină web pentru controlul și monitorizarea ieșirilor/intrărilor (MQTT / AngularJS)

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "86.124.86.145:85". The page content is as follows:

- Digital Pin 2:** A checked checkbox.
- Digital Pin 5:** An unchecked checkbox.
- Digital Pin 4:** A yellow box containing the text "D1".
- LED R Control:** A slider control.
- LED Y Control:** A slider control.
- LED B Control:** A slider control.
- ADC Value is : 2100**
- A progress bar with a green segment on the left.
- A circular gauge labeled "ADC[0]_000" with a needle pointing to the value "2,100".
- Samples:** A waveform graph showing a signal over time.
- Chanel 0 ADC**
- Digital In 1:** A yellow box containing the text "SW 1".
- Digital In 2:** A yellow box containing the text "SW 2".

Figura 1.6. Pagină web pentru comanda și monitorizarea ieșirilor/intrărilor WebSockets

1.2. Structura și metoda utilizării lucrării

Din punct de vedere didactic, lucrarea este structurată urmând o curbă de învățare cu persistența pe termen lung a cunoașterii. Dacă acesta este scopul cititorului, este recomandabil să treceți prin toate experimentele prezentate, chiar dacă unele au doar rolul de a pregăti anumite abilități și o disciplină generală în domeniu.

Pe de altă parte, lucrarea are un caracter practic pronunțat, încercând să ofere soluții concrete, exemple și soluții funcționale pentru clasa problemelor conținute în obiectivele descrise mai sus. În cazul în care cititorul consideră că are o cunoștințe suficiente și că unele dintre noțiunile prezentate pentru cursivitate sunt deja familiare, se poate alege să se implementeze unele dintre soluțiile finale.

În acest caz, trebuie luate unele alegeri de implementare; cu toate acestea, soluțiile au unele dependențe și o anumită organizare, etapele prezentate în lucrare fiind conform schemei din Figura 1.7. Evident, există și alte modalități posibile de implementare, însă aici au fost alese unele care prezintă un compromis rezonabil între partea didactică și cea practică.

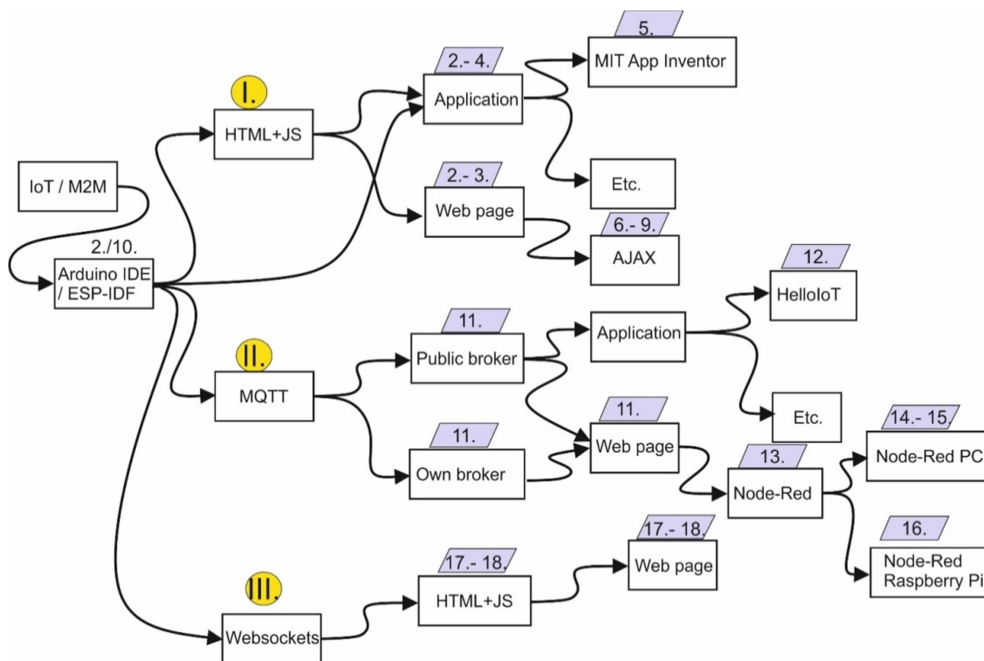


Figura 1.7. Schema de utilizare prescurtată a cărții

1.3. Implementarea hardware. Cuplarea intrărilor și ieșirilor modului ESP32

În general, intrările modului ESP sunt conectate la senzori sau traductoare analogice sau digitale sau la surse digitale binare. Cu toate acestea, este posibil să se utilizeze senzori complecși care transmit informații digitale într-un alt format, cum ar fi I2C, SPI, One-Wire etc.

În cele ce urmează, doi senzori binari digitali vor fi simulați cu două comutatoare cuplate la modulul ESP32 pe pinii GPIO12 și GPIO13 (Figura 1.8). Acestea pot fi trase de rezistențe externe (câțiva kilohmi), sau pot fi utilizate rezistențele interne de pull-up ale pinilor GPIO. Dacă contactul este în mod normal deschis, trebuie să fie apăsat pentru a introduce 0 și eliberat pentru a introduce 1.

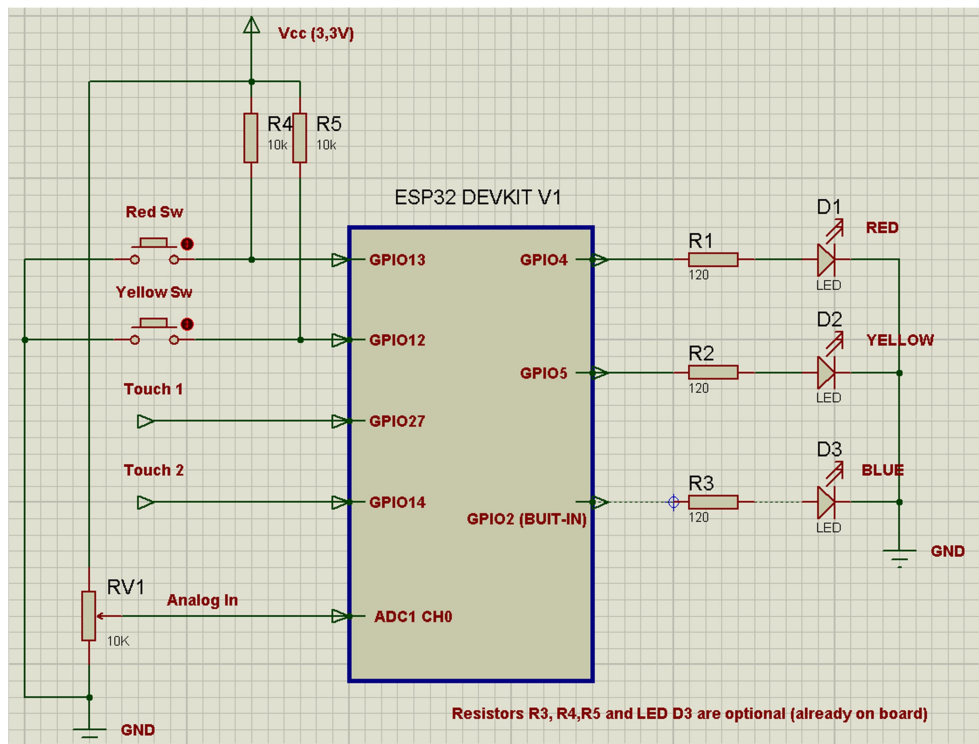


Figura 1.8. Schema elementelor de simulare de intrare și ieșire

ESP32 are, de asemenea, intrări de tip „Touch”, care generează în mod normal o valoare numerică cuprinsă între 70 și 90, iar la atingere dau o valoare numerică între 10 și 40. Aici, două terminale metalice sunt cuplate

la pinii GPIO14 și GPIO27, conversia în binar fiind realizată de software care compară valoarea citită pe aceștia cu un prag, de exemplu 50.

Semnalul analogic este simulat de un potențiomtru, cu cursorul cuplat la intrarea ADC1 CH0 și celelalte terminale cuplate la 3v3 (Vcc) și GND pe placa ESP32 DevKit V1 cu 36 de pini.

Două LED-uri au fost cuplate pe ieșiri prin rezistențe de ordinul a câteva sute de ohmi, al treilea fiind cel albastru de pe placă.

În diferite aplicații concrete, ieșirile sunt în mod tipic cuplate la unele elemente de execuție prin relee electromagnetice sau electronice, amplificatoare de comutare și alte sisteme caracteristice electronicii de putere și electronicii industriale.

1.4. Exemple de plăci cu microcontrolere ESP

ESP8266-01 (Figura 1.9) este cea mai simplă versiune a implementării sistemului cu microcontrolerul ESP8266.

Principalele caracteristici ale microcontrolerului ESP8266 sunt următoarele

- Protocolul 802.11 b / g / n;
- Wi-Fi de 2,4 GHz cu suport WPA / WPA2;
- Dimensiuni reduse (11,5 mm x 11,5 mm);
- 16 pini GPIO;
- ADC integrat pe 10 biți;
- Putere de ieșire de 20dBm în modul 802.11b;
- Microcontroler pe 32 de biți;
- SDIO 2.0, SPI, UART, I2C.



Figura 1.9. Modulul ESP8266-01