UNIVERSITATEA TEHNICĂ „Gheorghe Asachi” din IAȘI
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DOMENIUL: CALCULATOARE ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI
SPECIALIZAREA: CALCULATOARE ÎNCORPORATE

Implementarea actualizării programelor prin comunicație fără fir

LUCRARE DE DISERTAȚIE

Coordonator științific
Ș.l.dr.ing Nicolae-Alexandru Botezatu

Ion Vrabie

Iași, 2020

DECLARAŢIE DE ASUMARE A AUTENTICITĂȚII LUCRĂRII DE LICENȚĂ

Subsemnatul(a) VRABIE ION,
legitimat(ă) cu CI seria VS nr. 816852, CNP 1941016410086
autorul lucrării IMPLEMENTAREA ACTUALIZĂRII PROGRAMELOR PRIN COMUNICAȚIE FĂRĂ FIR

elaborată în vederea susţinerii examenului de finalizare a studiilor de licenţă organizat de către Facultatea de Automatică şi Calculatoare din cadrul Universităţii Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iaşi, sesiunea FEBRUARIE a anului universitar 2019-2020, luând în considerare conţinutul Art. 34 din Codul de etică universitară al Universităţii Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iaşi (Manualul Procedurilor, UTI.POM.02 – Funcţionarea Comisiei de etică universitară), declar pe proprie răspundere, că această lucrare este rezultatul propriei activităţi intelectuale, nu conţine porţiuni plagiate, iar sursele bibliografice au fost folosite cu respectarea legislaţiei române (legea 8/1996) şi a convenţiilor internaţionale privind drepturile de autor.

Data Semnătura

_____

Cuprins

Implementarea actualizării programelor prin comunicaţie fără fir

Ion Vrabie

Rezumat

Domeniul Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) şi domeniul senzorilor sunt 2 domenii care se extind în momentul actual foarte rapid datorită componentelor hardware care au devenit mai ieftine şi a crescut puterea lor de procesare, o parte importantă pentru aceste domenii sunt protocoalele de comunicare care s-au dezvoltat odată cu aceste domenii. Un protocol de comunicare interesant este Bluetooth Low Energy(abr BLE) care este dezvoltat pentru a micşora consumul de curent şi creşterea timpului de viaţa a dispozitivelor(majoritatea dispozitivelor din aceste domenii sunt alimentate de baterii). O altă problemă în domeniile respective este mentenanţa reţelelor care sunt în utilizare, pentru a micşora costurile de mentenanţă şi a creşte flexibilitatea acestor tipuri de reţele s-a propus conceptul de actualizare a programelor prin protocoale de comunica fără fir. Un alt avantaj a acestui concept este că dispozitivele pot fi aduse mai rapid pe piaţă deoarece o parte din funcţionalităţi pot fi livrate mai târziu când dispozitivul este deja în uz. Conceptul de actualizare fără fir presupune actualizarea programelor pe care le rulează reţele de dispozitive fără fir la distanţă fără implicarea factorului uman, lipsa factorului uman în procesul de actualizare creşte complexitatea procesului de actualizare deoarece sistemul devine mai puţin tolerabil la erori şi presupune implementarea de mecanisme de detectare a erorilor şi recuperare a dispozitivului în cazul apariţiei de erori.

Soluţia propusă în această lucrare implementează actualizarea fără pentru o reţea de dispozitive ce folosesc stiva de comunicare BLE. Platformă hardware folosită este ESP32 care are integrate module de WiFi şi BLE care o fac foarte bogată în conectivitate, această platformă vine şi cu partea software pentru stiva BLE şi stiva TCP/IP adaptate pentru ea. Implementarea soluţii de actualizare a fost despărţită în 4 componente. Interfaţa cu utilizatorul care este o aplicaţie web implementată folosind platforma Angular, utilizatorul sau administratorul reţelei de dispozitive va încărca noua imagine de program, imaginea va fi validată după folosind o cerere de tip *HTTP POST* care este trimisă către micro-serviciul de management a fişierelor cu program. Micro-serviciul este un server web care oferă interfeţe *HTTP* care sunt consumate de către nodul gateway şi interfaţa cu utilizatorul, acest server web este implementat folosind micro platforma pentru servere web Flask care este implementată în Python. Nodul gateway este un dispozitiv care se poate conecta la o reţea WiFi care acces la Internet, el va verifica dacă conţine ultima versiune de program prin trimitere unei cereri *HTTP GET* către micro-serviciu, dacă micro-serviciul conţine o nouă versiune de program nodul gateway va trimite o nouă cerere *HTTP GET* în care va cere fişierul cu noua versiune de program pe care o va stoca pe cardul de memorie. Nodul gateway va scana reţeaua BLE după dispozitive, în cazul detectării de dispozitive se va începe procesul de actualizare. Nodurile din reţea sunt punctul final al sistemului şi a căror program se doreşte actualizat, aceste dispozitive vor difuza pachete de publicitate pentru a putea fi detectate de nodul gateway. Procesul de actualizare presupune ca nodurile finale trebuie să stocheze în memoria flash 2 imagini de program în paralel, de pe o partiţie se va rula programul, cealaltă va fi folosită pentru stocarea noii imagini de program. Nodul gateway şi nodurile din reţea vor trebui sa folosească un client şi un server specific protocolului de atribute generice care este folosit de stiva BLE.

Capitolul 1. Introducere

Piaţa dispozitivelor inteligente fără fir a crescut foarte mult în ultimele două decenii datorită dezvoltării a mai multor tehnologii şi domenii precum sisteme încorporate, inteligenţa artificială, tehnologia senzorilor. Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) este un domeniu care a apărut datorită acestor tehnologii şi care permite transferul de date prin reţea de la o gamă largă de dispozitive fără a fi nevoie de factorul uman. Domeniul Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) se împarte în câteva domenii esenţiale: maşini conectate, dispozitive portabile, case şi oraşe conectate(ex.monitorizarea consumului de energie), aplicaţii industriale(ex.monitorizare agricultura şi utilaje), aplicaţii militare.

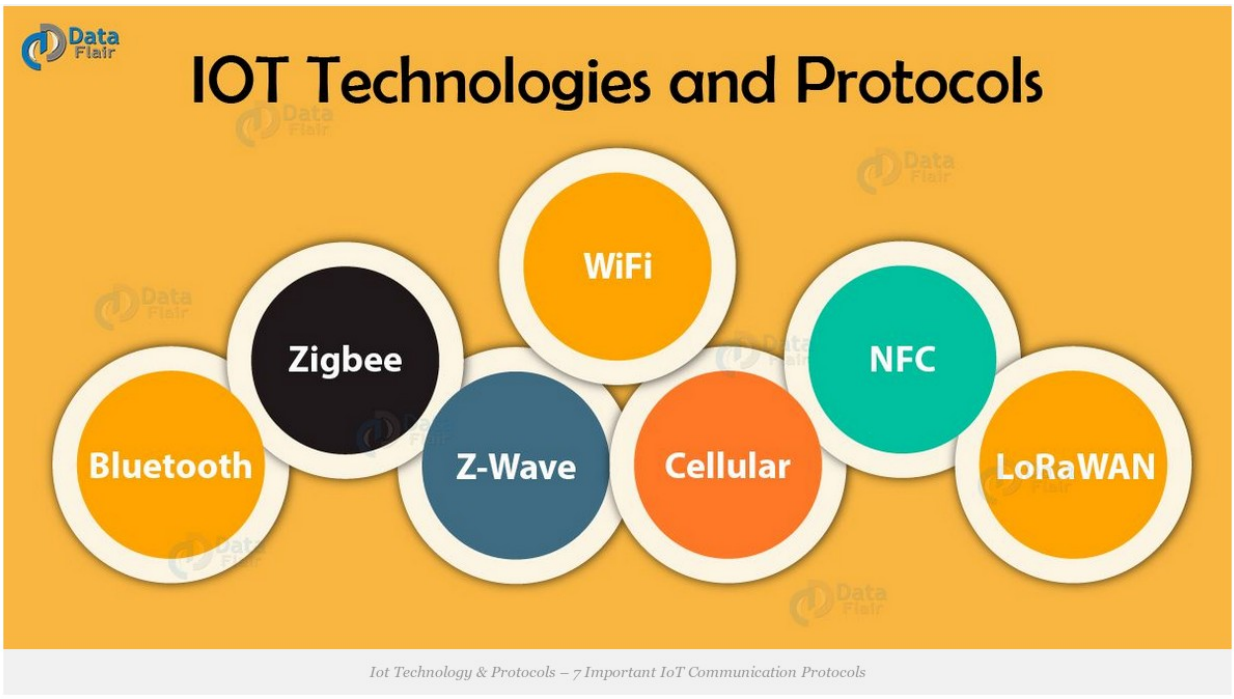


Figura 1.1: Exemplu de protocoale de comunicare specifice IoT

(https://data-flair.training/blogs/iot-technology/)

În toate domeniile descrise mai sus este nevoie de o modalitate uşoară de actualizare a programelor pe care le rulează dispozitivele respective fără implicarea factorului uman sau cu o implicare minimală a sa. O soluţie propusă în acest sens este Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA), această soluţie îşi propune distribuirea de actualizări la nodurile dintr-o reţea prin intermediul a diferite tehnologii de comunicare fără fir. În general dispozitivele folosite în Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) sunt senzori mici care au resurse mici, putere de procesare şi memorie puţină iar domeniul lor de aplicare este foarte divers, din aceste cauze adaptarea unei stivei comune pentru toate aplicaţiile nu a fost posibilă. Stiva TCP/IP nu este aplicabilă pentru aplicaţii în acest domeniu, astfel au fost create şi proiectate mai multe stive de comunicare: Bluetooth Low Energy (abr. BLE), Long Rage (abr. LoRa), Sigfox, ZigBee.

Conceptul de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) nu este nou, el este folosit pe larg pentru telefoanele mobile unde factorul uman ar putea interveni în cazul apariţii unei erori. Soluţia aceasta are ca obiectiv rezolvarea de erori, îmbunătăţirea funcţionării sistemulor şi actualizarea programelor care lucrează pe sistemele respective, conceptul de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) aduce următoarele beneficii:

- Scăderea prețurilor – managementul dispozitivelor fără fir aflate în utilizare devine mult mai ușor
- Actualizări continue – erorile din programe pot fi rezolvate pentru produsele aflate deja în utilizare
- Scalabilitate – dispozitivele pot primi funcționalități noi fără a fi nevoie de o conectare fizică
- lansări rapide pe piață – un produs poate fi lansat cu mai puține funcționalități astfel pe parcurs vieții sale pot fi adăugate noi aplicații

1.1. Exemplu de aplicații.

Un domeniu în care Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) încearcă să fie folosit astăzi este domeniul automotiv, datorită maturizării tehnologiilor fără fir marii producători de vehicule consideră această soluție pentru rezolvarea problemei de actualizare a programelor care rulează pe calculatoarele încorporate din interiorul mașinii, astfel se va micșora prețul de mentenanță.

Compania Tesla a fost prima care a implementat această soluție în 2012, astfel au reușit să rezolve într-un timp foarte rapid multe probleme în vehiculele care sunt deja în utilizare de asemenea datorită acestei soluții compania reușește să aducă noi aplicații pe vehiculele existente. Reușita companiei Tesla cu soluția Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) a creat o noua tendință pe piață automotiv și nu numai (ex.IoT), astfel și ceilalți producători de mașini au început să cerceteze și să proiecteze propriile implementări a acestei soluții.

1.2. Așteptările de la aplicație

Proiectul își propune implementarea conceptului de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) pentru o rețea de noduri care comunică prin Bluetooth Low Energy (abr.BLE), și nu au o conexiune directă la Internet,implementarea v-a fi creată din 4 componente:

- o aplicație web cu care v-a reprezenta interfața prin care v-a interacționa administratorul rețelei de noduri și prin intermediul căreia v-a putea să aducă ultima versiune de program în rețea
- un serviciu REST(engl.Representational State Transfer, abr.REST) care v-a primi un fișier în format binar cu programul de la aplicația web și la cererea v-a trimite fișierul către nodul gateway
- un nod gateway care v-a avea rolul de a cere de la serviciul REST ultima versiune de program și o v-a salva pe un card de memorie, după care v-a distribui noul program prin intermediul stivei BLE nodurilor din rețea, astfel un nod gateway va avea două stive de comunicare: stiva TCP/IP (de asemenea v-a folosi HTTP – HyperText Transfer Protocol) și stiva BLE
- nodurile rețelei care vor primi noul program de la nodul gateway și îl v-a salva pe partiția nefolosită de nod, nodurile din rețea vor avea doar stiva BLE.

Platforma folosită pentru nodul gateway și nodurile rețelei este ESP32 oferită de compania ESPRESSIF, această platforma suportă o interfață BLE și o interfață WiFi (vezi Capitolul 3. pentru mai multe informații despre platforma de dezvoltare) de asemenea compania producătoare oferă un mediu de dezvoltare foarte bine documentat, iar prețul mic face acestă platformă perfectă pentru dezvoltarea de aplicații de demonstrare a conceptelor. Implementarea unui asemenea sistem va face posibilă observarea limitărilor și dificultăților întâlnite în timpul implementării, de asemenea vor fi observate dependințele și punctele unde componentele sistemului vor trebuie să fie sincronizate.

Capitolul 2. Fundamentarea teoretică şi documentarea bibliografică pentru tema propusă

Conceptul de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) este o nouă soluţie de a livra o nouă versiune de program pe un dispozitiv prin intermediul unui protocol de comunicare fără fir (ex. engl.Bluetooth Low Energy abr. BLE, WiFi, engl. Long Range abr LoRa) , astfel actualizare se petrece fără a fi nevoie ca dispozitivul să fie conectat fizic. O realizare completă a conceptului de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA) are nevoie de mai multe componente la nivel de sistem:

1. O infrastructură engl.Cloud care va permite livrare şi managementului proceselor de actualizare.
2. Nodurile din reţea vor avea nevoie de conectivitate la infrastructura Cloud sau în cazurile când nodurile din reţea nu au conectivitate atunci în reţea v-a apărea un nod gateway care v-a avea două stive de comunicare: o stivă TCP/IP care v-a permite comunicare cu infrastructura Cloud şi o stiva specifică reţelei din care face parte.
3. Nodurile din reţea vor avea nevoie de o aplicaţie care v-a permite actualizare programului pe care îl rulează

Implementarea unei aplicaţii de actualizare pentru sistemele încorporate este o sarcină dificilă deoarece sistemele încorporate au constrângeri de resurse şi toleranţă mică la erori, câteva provocări specifice sunt:

- managementul memoriei – sistemul trebuie să asigure integritatea actualizării, astfel încât dacă noua versiune de program are erori trebuie să fie posibil reîntoarcerea la versiunea anterioară de program
- protocolul de comunicare – sistemul trebuie să tolereze erori de comunicare, astfel aceste erori trebuie să fie detectate sau chiar să existe un mecanism de recuperare a comunicaţiei
- securitate – comunicarea este de tipul server client, trebuie să fie asigurată integritatea serverului, pachetele transmise trebuie să fie ofuscate pentru posibilii atacatori, deoarece pachetele pot conţine informaţii sensibil(ex. cheile de criptare)

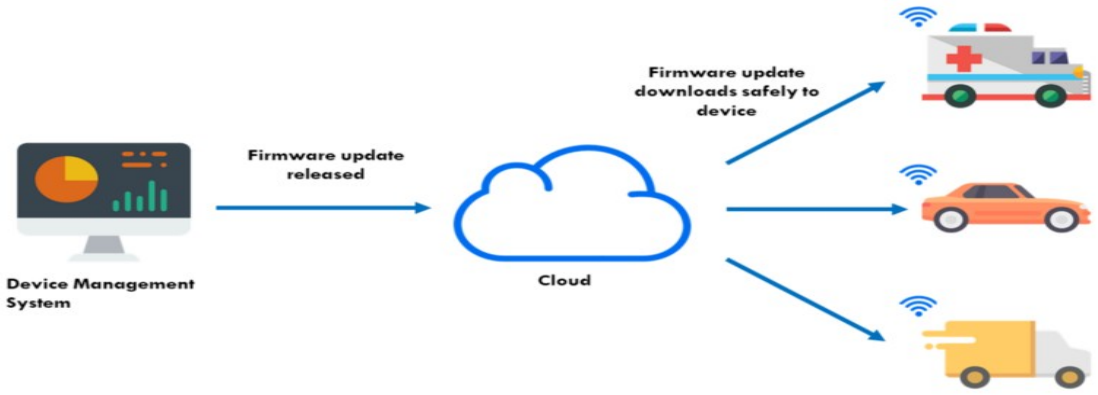


Figura 2.1: Viziune de sistem a conceptului OTA

(https://dzone.com/articles/over-the-air-firmware-the-critical-driver-of-iot-s)

2.1 Descriere generală a conceptului clasic de actualizare

Dispozitivele care folosesc conceptul clasic de actualizare au cel puţin doua programe care există simultan pe acelaşi microcontroler: un program care v-a rula aplicaţiile şi programul de actualizare (engl. Bootloader), de obicei este prezent şi un mic program de start care decide ce v-a rula dispozitivul: programul de actualizare sau programul cu aplicaţii. Programul de actualizare are rolul de a actualiza dispozitivul fără a fi nevoie de un hardware specializat pentru programare(ex programator de tip JTAG). Programul de actualizare poate comunica printr-o varietate de protocoale (ex. USART, CAN, I2C, Ethernet, USB,SPI) de obicei se alege un singur protocol. Efectuare actualizării are loc prin conectarea unui calculator care suportă protocolul de comunicare a dispozitivului pe care doreşte să-l actualizeze, calculatorul trebuie să conţină un program special care poate transmite fişierul cu noul program către dispozitiv.

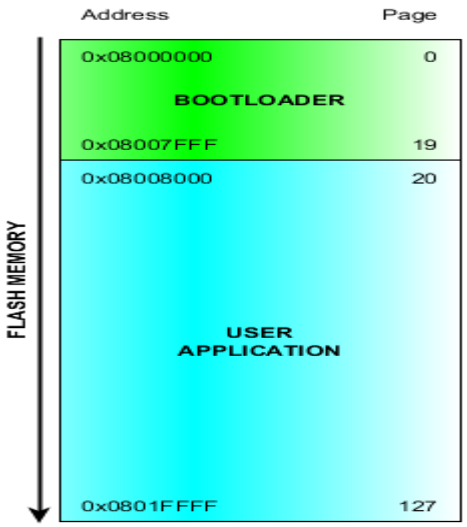


Figura 2.1: Exemplu de maparea memoriei flash

(https://github.com/ferenc-nemeth/stm32-bootloader)

Programul de actualizare nu este foarte diferit de o aplicaţie standard, defapt el este o aplicaţie care are permisiunea să rescrie zona de memorie flash specifică aplicaţiei cu un nou program, programul de actualizare ar trebuie să fie foarte simplu, folosind minimum de resurse ale microcontrolerului pentru a îşi micşora amprenta având o mărime foarte mică. Programul de actualizare poate fi activat de obicei prin două metode:

1) Calculatorul care conţine programul care poate face actualizarea se va conecta la dispozitiv şi va cere printr-o comandă de la programul ce rulează aplicaţii să facă saltul în programul de actualizare. Saltul în programul de iniţializare are 2 paşi:
    1. Programul de aplicaţii v-a primi comanda de salt de la calculator şi apoi v-a seta un un pin al microcontrolerului pe o anumită valoare sau v-a scrie o valoare specifică la o adresă de memorie predefinită(posibil să fie folosită şi alte metode de semnalare a saltului), după care v-a face un reset al microcontrolerului de tip soft
    2. Programul de start v-a detecta noua valoare a pinului sau v-a citi valoarea de

la adresa predefinită şi va luat decizia sa pornească programul de actualizare

2) Metoda această implică ca programul de start să poată detecta dacă zona de memorie flash a aplicaţiei este coruptă şi să pornească în acest caz programul de actualizare.

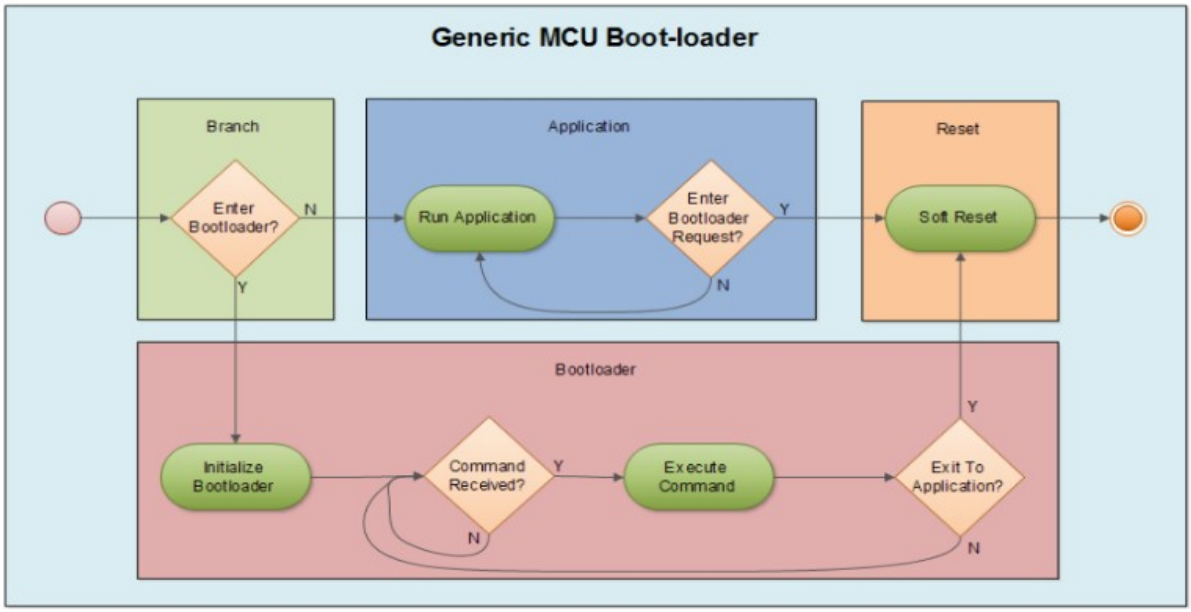


Figure 2.2: Diagram pentru metoda 1 de activare a programului de actualizare

(https://www.beningo.com/wp-content/uploads/images/Papers/bootloader_design_for_microcontrollers_in_embedded_systems%20.pdf)

2.2 Descrierea generală a conceptului de actualizare fără fir

Conceptul de actualizare fără fir este este alcătuit din două părţi importante modelul de comunicare şi proiectarea arhitecturală a programelor de pe dispozitivul care trebuie actualizat.

2.2.1 Descrierea generală a aplicaţiei de actualizare fără fir

În ordine ca conceptul de actualizare fără fir să lucreze este nevoie ca dispozitivele aflate în utilizare să conţină o aplicaţie care v-a permite încărcarea unui nou program fără a fi nevoie de hardware extern, există mai multe abordări de realizarea a procesului de actualizare.

O abordare este folosirea unui program iniţial şi a unui program care conţine aplicaţiile astfel la startarea microcontrolerului programul iniţial primar v-a fi primul care se va executa, el este responsabil pentru startarea programului cu aplicaţii, programul respectiv conţine o aplicaţie care v-a permite startarea procesului de actualizare, la finalizare procesului de actualizare se v-a starta noua imagine. Această abordare se numeşte iniţializare întru-o singură etapă. Avantajul acestei abordări sunt :

1. Toate aplicaţiile dispozitivului vor rula pe perioada procesului de actualizare.
2. Nu este nevoie de o resetare a sistemului pentru startarea procesului de actualizare.

Dezavantajele acestei metode sunt:

1. Programul inițial primar este specific producătorului, unii producători nu permit modificarea sa.
2. În multe sisteme pentru startarea noii imagini este nevoie de o resetare a dispozitivului actualizat.
3. Aplicația de actualizare este prezentă în ambele imagini.
4. Dimensiunea memoriei flash trebuie să permită aflare simultan a două imagini de program.
5. Aplicația de actualizare rulează în paralel cu alte aplicații, astfel ar putea apărea interferențe în procesul de actualizare.

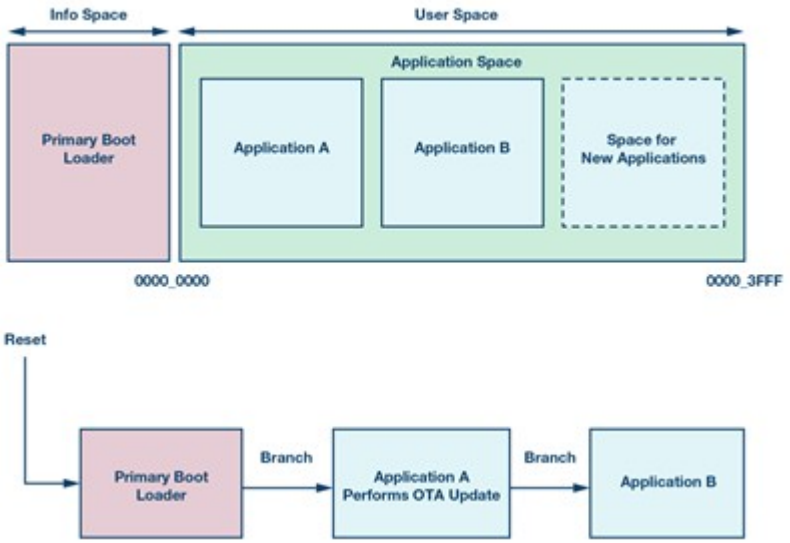


Figura 2.3: Exemplu de mapare de memorie pentru abordare de inițializare într-o singură etapă

(https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/over-the-air-ota-updates-in-embedded-microcontroller-applications.html?fbclid=IwAR2DW9gZnOSdTUvatXbyQ17uAtnVJod5ggv5Y4JkUXDvN2Dgp3oBxJ8ttj8)

O altă abordare este folosirea unui program de inițializare secundar, astfel în acest caz programul de inițializare primar îl va starta pe programul de inițializare secundar acesta conține aplicația de actualizare care va verifica dacă se dorește startarea procesul de actualizare, după care în funcție dacă avut loc actualizare se va starta imaginea de program deja existentă sau noua imagine de program. Această abordare poartă numele de inițializare în etape multiple și oferă următoare avantaje:

1. Programul de inițializare secundar poate fi modificat de către dezvoltatori.
2. Aplicația de actualizare rulează independent, astfel va avea acces la toate resursele microcontrolerului.
3. Aplicația de actualizare nu mai este prezentă în programele cu aplicații.

Dezavantajele metodei sunt:

1. Startarea procesului de actualizare v-a necesita o resetare a dispozitivului dacă dispozitivul se află în starea normală de funcționare.
2. Aplicațiile dispozitivului vor fi inactive pe perioada actualizării

3. Dimensiunea memoriei flash trebuie să permită aflare simultan a două imagini de program şi a unui program de iniţializare secundar.

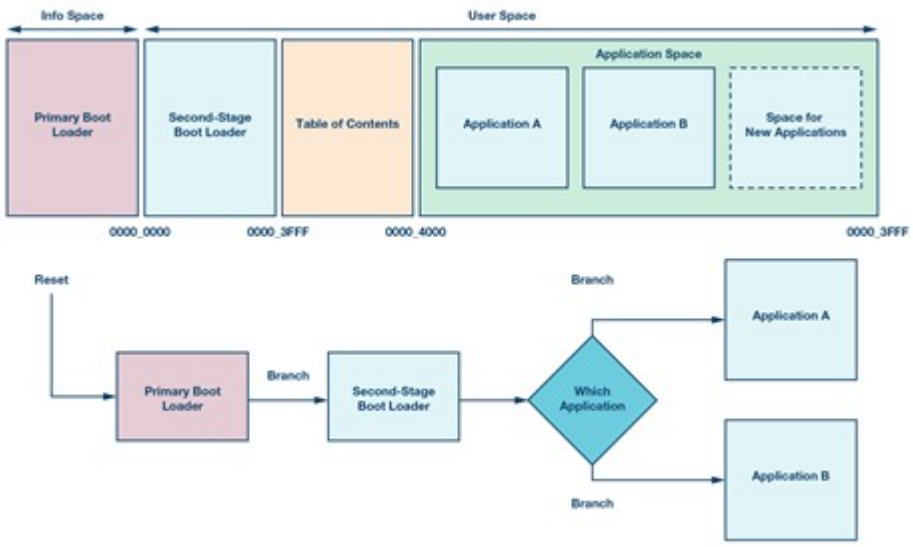


Figura 2.4: Exemplu de mapare a memoriei pentru iniţializare în mai multe etape

(https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/over-the-air-ota-updates-in-embedded-microcontroller-applications.html?fbclid=IwAR2DW9gZnOSdTUvatXbyQ17uAtnVJod5ggv5Y4JkUXDvN2Dgp3oBxJ8ttj8)

Alegerea unei abordări depinde de constrângerile sistemului în care rulează dispozitivul care acceptă actualizare fără fir. în cazul unor sisteme critice este posibil combinarea acestor două abordări, programul cu aplicaţii v-a conţine aplicaţia care v-a efectua actualizarea în caz că aceasta aplicaţie eşuează să realizeze actualizare atunci v-a avea loc resetare sistemului şi pornirea unui nou proces de actualizare de către programul de iniţializare secundar.

Dezvoltarea unei aplicaţii de actualizare vine cu câteva provocări tehnice:

- alegerea unui protocol de comunicare fără fir
- alegerea formatului în care va fi transmisă noua imagine de program
- alegere unei platforme potrivite deoarece se poate observa că actualizare fără fir necesită multă memorie de tip flash
- toleranţa la erori precum: pierderea comunicării, erori de comunicare sau noua imagine a programului nu funcţionează conform aşteptărilor, această toleranţă creşte foarte mult complexitatea algoritmului de actualizare, în cazul actualizării clasice factorul uman poate interveni în cazul unei erori
- integritatea şi securitatea actualizării (vezi Capitolul 2.2.3)

2.2.3 Securitatea actualizării

Securitatea şi integritatea are o mare importanţă pentru actualizarea fără fir, factorul uman nu mai este prezent în procesul de actualizare. astfel trebuie asigurat că procesul de actualizarea este făcută de un server de încredere şi nu este o încercare de corupere a dispozitivului, de asemenea trebuie să fie asigurată posibilitatea de a detecta o corupere a imaginii programului care este actualizat (ex. erori de comunicare, încercarea unei parţi rău

intenţionate de a schimba conţinutul programului). O soluţie pentru problemele descrise sunt operaţiile de criptare: criptarea propriu zisă şi funcţiile de dispersie(funcţiile hash[1]).

Criptarea este folosită pentru a ofusca conţinutul programului, astfel chiar dacă imaginea cu programul va fi interceptată în procesul de actualizare fără cheia de criptare/decriptare nu va fi posibil aplicarea ingineriei inverse asupra programului. Cheia de criptare/decriptare trebuie să fie cunoscută doar de serverul care urmează să realizeze actualizarea şi dispozitivul ce va fi actualizat. Algoritmi de criptare cei mai cunoscuţi sunt AES-128/256[2], operaţiile de criptare/decriptare sunt foarte costisitoare din punct de vedere a timpului, multe platforme oferă accelerare hardware.

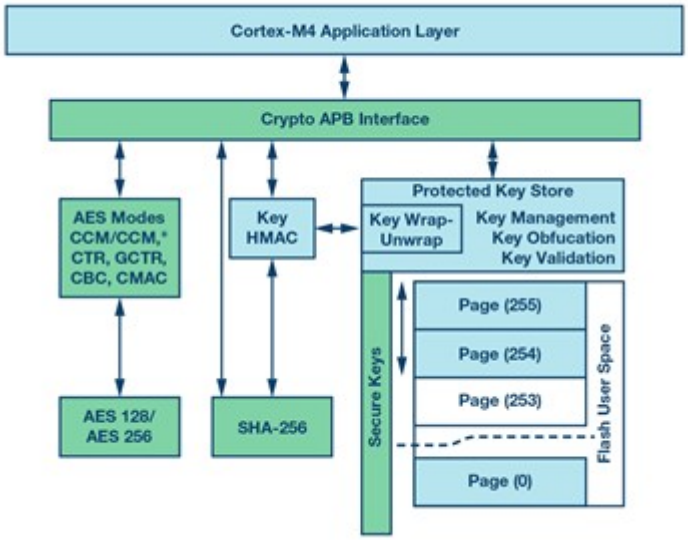


Figura 2.5: Digrama hardware pentru accelerarea criptografică pe platforma ADuCM4050

(https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/over-the-air-ota-updates-in-embedded-microcontroller-applications.html?fbclid=IwAR0A5XB5Q-Btgzlx-wkDPU-MOXlMw3ekcKSJ2_98KOFdFd0saVrtxuG5scs)

Funcţiile de dispersie (funcţiile hash pentru mai multe informaţii[10]) sunt folosite pentru semnarea imaginilor care conţin programul, astfel fişierul binar cu programul este folosit ca date de intrare pentru funcţia de dispersie(ex. Algoritmul de hash securizat Engl. Secure hash algorithm SHA-256/512[3]), aceasta va genera o sumă de control de o lungime fixă, dispozitivul după terminarea procesului de actualizare va calcula suma de control a noii imagine şi o va verifica cu suma de control obţinută de la server astfel se va putea asigura că serverul care a realizat actualizare este de încredere. O soluţie pentru problema autentificării este folosirea unei

1 Funcţie de dispersie - sunt funcţii definite pe o mulţime cu multe elemente (posibil infinită) cu valori într-o mulţime cu un număr fix şi mai redus de elemente. Funcţiile hash nu sunt inversabile.

2 AES-128/256 în limba engleză, **Standard Avansat de Criptare**), cunoscut şi sub numele de **Rijndael**, este un algoritm standardizat pentru criptarea simetrică, pe blocuri, folosit astăzi pe scară largă în aplicaţii şi adoptat ca standard de organizaţia guvernamentală americană NIST

3 SHA2 - este un set de funcţii hash criptografice conceput de Agenţia de Securitate Naţională (NSA) a Statelor Unite ale Americii. Aceasta are la bază structurile Merkle–Damgård, care la rândul ei este o funcţie de compresie unidirecţională făcută cu structuri Davies–Meyer cu un cifru pe blocuri specializat.

funcţii hash şi unui algoritm de criptare asimetric (ex. engl.Rivest–Shamir–Adleman RSA[4]) care foloseşte două chei o cheie publică şi o cheie privată(mai multe informaţii [11]).

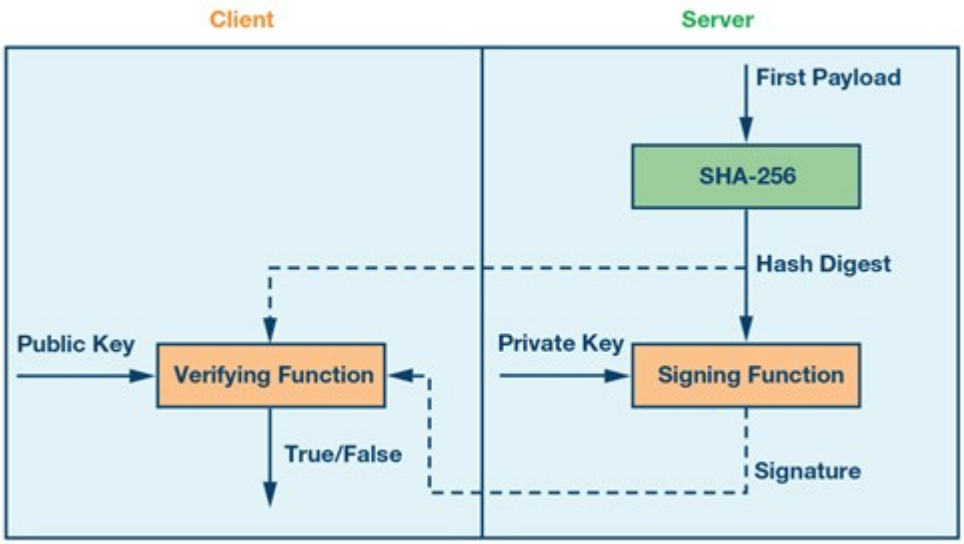
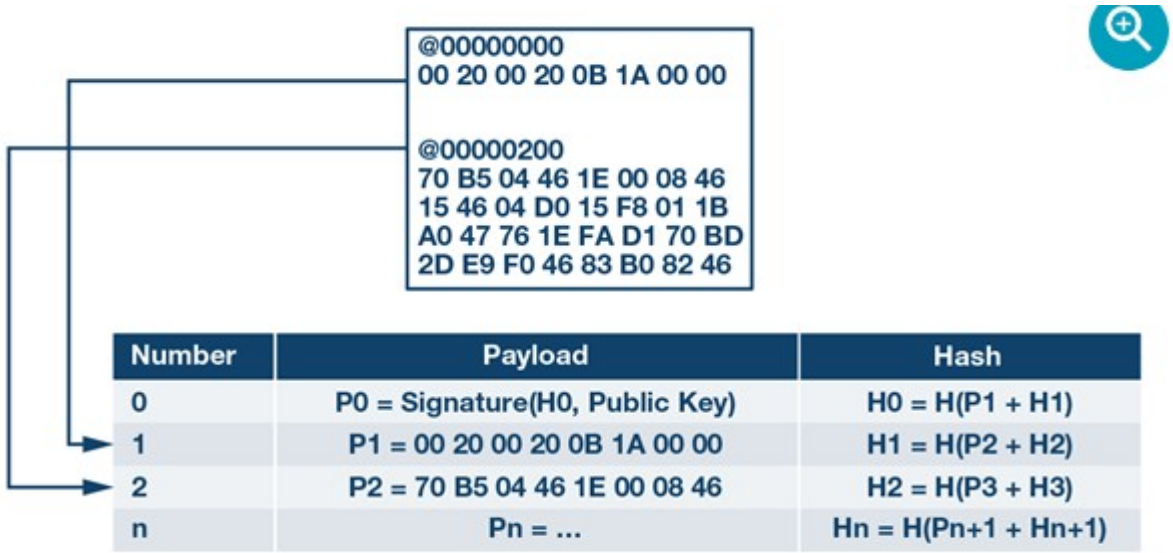


Figura 2.6: Diagrama de autentificare

(https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/over-the-air-ota-updates-in-embedded-microcontroller-applications.html?fbclid=IwAR0A5XB5Q-Btgzlx-wkDPU-MOXlMw3ekcKSJ2_98KOFdFd0saVrtxuG5scs)



Number	Payload	Hash
0	P0 = Signature(H0, Public Key)	H0 = H(P1 + H1)
1	P1 = 00 20 00 20 0B 1A 00 00	H1 = H(P2 + H2)
2	P2 = 70 B5 04 46 1E 00 08 46	H2 = H(P3 + H3)
n	Pn = ...	Hn = H(Pn+1 + Hn+1)

Figura 2.7: Exemplu de aplicarea a sumelor de control înlănţuite (https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/over-the-air-ota-updates-in-embedded-microcontroller-applications.html?fbclid=IwAR0A5XB5Q-Btgzlx-wkDPU-MOXlMw3ekcKSJ2_98KOFdFd0saVrtxuG5scs)

4 RSA face parte din clasa algoritmilor de criptare cu cheie publică ce au drept principală caracteristică existenţa a două chei: o cheie publică ce poate fi cunoscută de orice expeditor şi o cheie privată cunoscută doar de destinatar.

Serverul va calcula cu ajutorul funcţiei hash suma de control după care suma de control v-a fi criptată cu cheia privată şi va fi trimisă la dispozitivul actualizat. La rândul său dispozitivul va folosi cheia publica pentru a decripta suma de control şi o va verifica dacă coincide cu suma de control calculată pe baza noi imagini de program primite astfel dispozitivul poate fi sigur că serverul care a realizat actualizare este de încredere. Abordarea această presupune primirea integrală a noului program, după care are loc verificarea integrităţii acestuia, noul program nu este trimis integral într-un singur pachet de către server astfel verificarea integrităţii va avea loc abia la primirea tuturor pachetelor, se doreşte detectarea intruziunii cât mai rapid posibil.

O soluţie pentru detectarea unui pachet corupt pe parcursul procesului de actualizare este algoritmul sume de control înlănţuite care poate fi observat în figura 2.7.Pachetul cu numărul 0 va conţine suma de control a următorului pachet şi va fi criptat de către server, dispozitivul actualizat va decripta pachetul şi va salva suma de control. Pachetul cu numărul 1 va fi format din două părţi o parte din noul program şi suma de control pentru pachetul cu numărul 2, dispozitivul va calcula suma de control şi o va compara cu suma de control din pachetul cu numărul 0 dacă sumele de control coincid va salva suma de control din pachetul cu numărul 1 şi secvenţa se va repeta pentru următoarele pachete. Un avantaj al acestui algoritm ca o mare parte din procesare este asignata serverului care a startat procesul de actualizare şi procesarea este distribuită de-a lungul actualizării.

2.1.4 Modele de comunicare specifice actualizării fără fir

Modelul de comunicare decide cum va fi implementată soluţia de actualizare fără fir, în domeniul Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) şi a senzorilor fără fir se pot observa trei modele populare: comunicare dispozitiv la dispozitiv, comunicare dispozitiv la Cloud şi comunicare dispozitiv la dispozitiv de tip gateway.

Specificul comunicaţiei dispozitiv la dispozitiv este că dispozitivele din reţea se conectează direct între ele astfel nu mai este nevoie de un nod special de tip gateaway sau de un server, asemenea reţele se numesc reţele de tip mesh[5]. Protocoalele folosite pentru acest tip de reţele sunt: Bluetooth Low Energy(vezi Capitolul 2.2.1), Z-wave[6], Zigbee[7] sau LoRaWAN[8] (un exemplu se poate observa în Figura 2.8), aceste stive de comunicare nu folosesc foarte multe resurse ale dispozitivului aspect foarte important pentru domeniu Internet of Things (Internetul tuturor lucrurilor, abr. IoT) unde nodurile sunt limitate în putere de procesare şi memorie. Tipul de comunicare dispozitiv la dispozitiv este specific aplicaţiile care au nevoie să transmită pachete mici de date, exemple de aplicare sunt: case inteligente, oraşe inteligente, în aceste aplicaţii se poate observa că un nod va fi pe post de senzor şi un nod care va acţiona actuatorul pe baza datelor de la nodul senzor.

Comunicaţia dispozitiv la Cloud implică conectarea dispozitivului la reţeaua Internet şi la un serviciu de tip Cloud, conectarea se realizează prin intermediul unui fir de Ethernet sau prin conexiune WiFi. Tipul acesta de comunicaţie implică ca dispozitivele să suporte stiva TCP/IP care poate fi foarte scumpă pentru dispozitiv. Aplicaţiile specifice acestui tip de comunicaţie sunt aplicaţiile de monitorizare(ex. Monitorizare temperaturii, monitorizarea calităţii aerului) sau aplicaţie în care este nevoie controlul la distanţă(ex. Figura 2.9).

5 O reţea fără fir (radio) de tip mesh (traducerea expresiei engleze *Wireless Mesh Network*) reprezintă o reţea destinată transportării datelor, instrucţiunilor şi vocii (informaţie sonoră) prin nodurile de reţea. Acest tip de reţea oferă conexiuni continue şi dispune de algoritmi de autoreconfigurare în caz de noduri blocate sau neoperaţionale
6 http://www.z-wave.com/
7 http://www.zigbee.org/
8 https://www.lora-alliance.org/

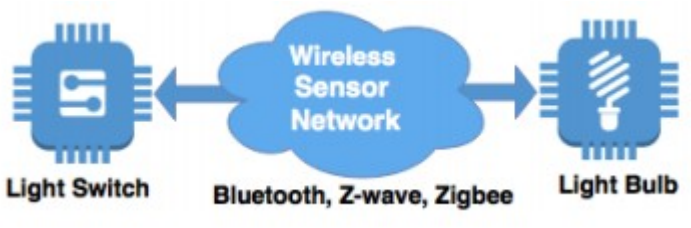


Figure 2.8: Exemplu de comunicare dispoztiv la dispoztiv[3]

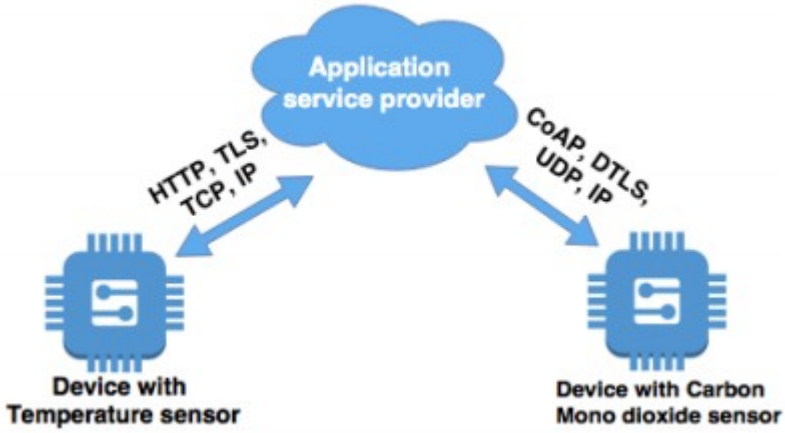


Figura 2.9: Exempulu de comunicare dispoztiv la serviciu Cloud[3]

Comunicarea dispozitiv la gateway caracteristica specială e apariția unui nod în rețea care are rolul de intermediar între un nod şi serviciile Cloud. Abordarea aceasta este specifică când dispozitivele dintr-o rețea au nevoie de o legătură cu o altă rețea ce are o stiva diferită, astfel nodul gateway poate suporta mai multe stive de comunicare şi are rolul de a face legătura între ele(ex. Figura 2.10).

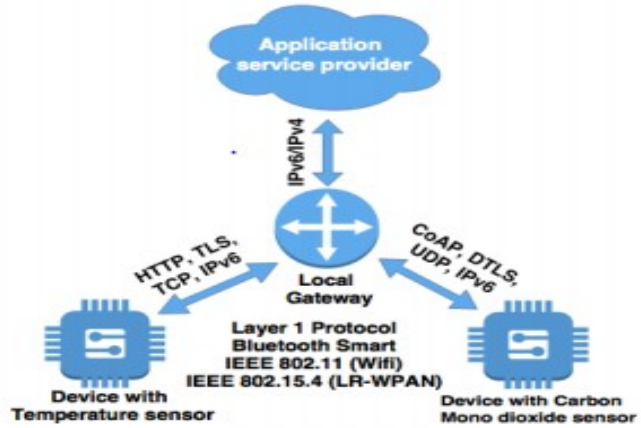


Figura 2.10: Exemplu de comunicare dispoztiv la nod gateway

Actualizarea fără fir are o arhitectură generică realizată dintr-un client şi un server(poate fi observată în figura 2.11), în dependenţă de cerinţele aplicaţiei va fi folosită o stivă de comunicare. În figura 2.11 se poate observa un schimb de mesaje între server şi client, serverul va notifica clientul de o nouă imagine de program, după care clientul şi serverul vor negocia proprietăţile şi parametrii procesului de actualizare când părţile stabilesc aceşti parametri se începe transmisia noului program. La finalul procesului de actualizare clientul va notifica serverul dacă procesul de actualizare a avut loc cu succes, în caz contrar se va activa mecanismul de tratare a erorilor.

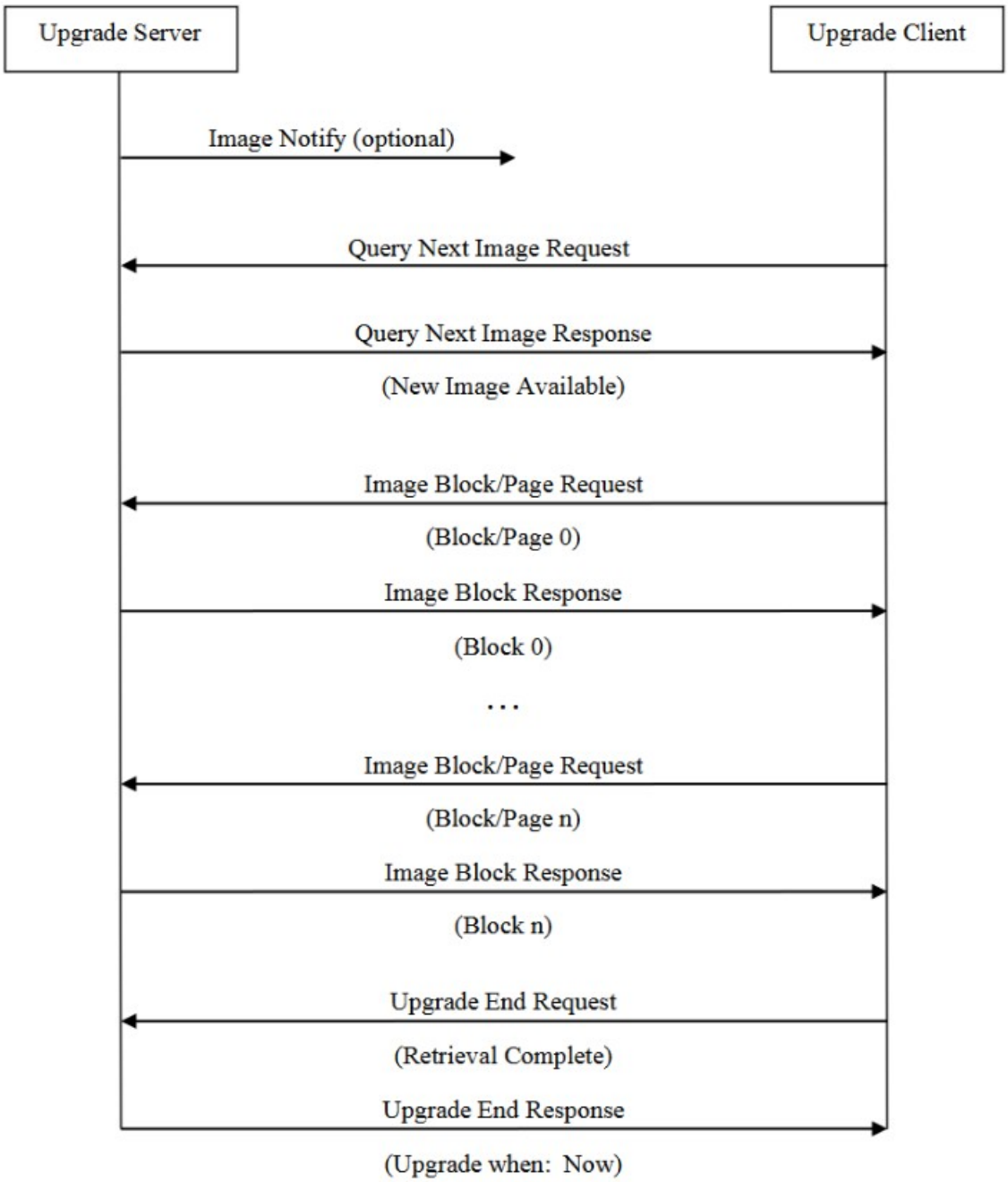


Figura 2.11: Exemplu de diagramă generică de mesaje [2]

2.2 Protocoale de comunicare specifice procesului de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA)

2.2.1 Bluetooth Low Energy(abr. BLE)

Stiva de comunicare BLE este organizată în 3 niveluri: gazda(engl.host) , controller şi interfaţa între nivelul gazdă ş controler(engl. Host-Controller Interface, abr.HCI). La rândul lor fiecare din aceste nivele au la bază câteva subnivele. Nivelul gazdă are următoarele nivele:

- Protocolul de control şi adaptare(engl. Logical link and adaptation protocol abr.L2CAP)
- Managerul de securitate(engl. Security Manager, abr.SM)
- Protocolul de atribute (engl. Attribute Protocol, abr.ATT)
- Profilul generic de atribute (engl. Generic Attribute Profile abr.GATT)
- Profilul de acces generic (engl. Generic Access Profile abr. GAP)

Nivelul controler are următoarele nivele:

- Nivelul de legătură
- Nivelul fizic

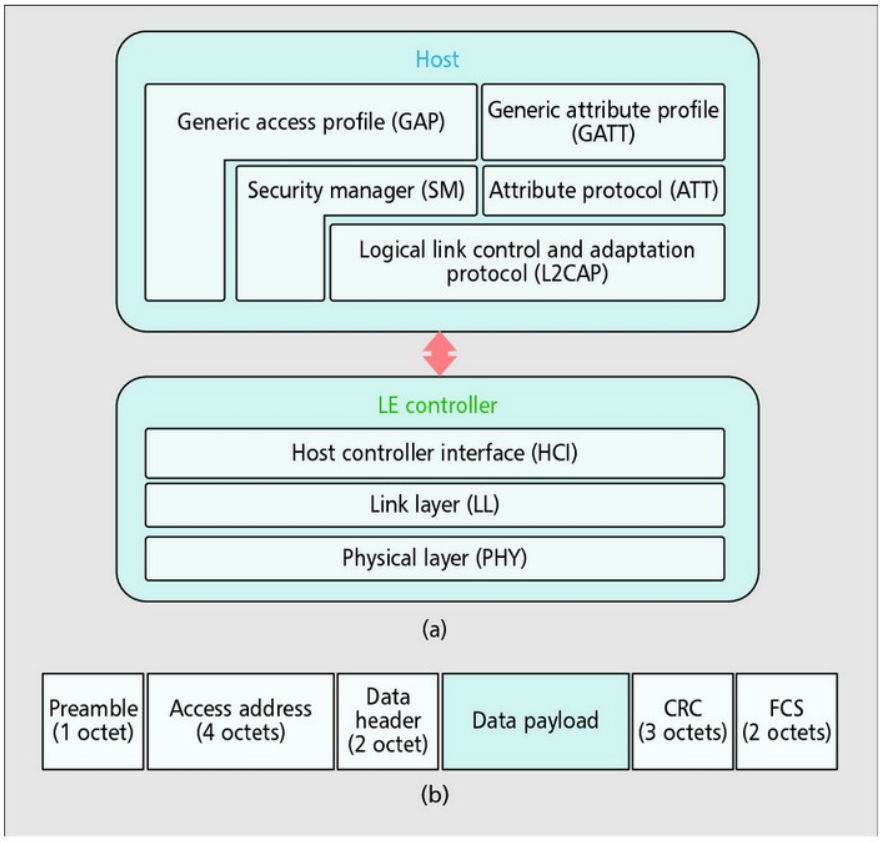


Figura 2.12: Stiva de comunicare BLE

(https://www.researchgate.net/figure/The-protocol-stack-and-frame-format-of-Bluetooth-Low-Energy-a-protocol-stack-b-frame_fig1_271327094)

Nivelul fizic conţine circuitul analogic folosit pentru modulare şi demodularea semnalelor şi transformarea lor în simboluri digitale. Comunicarea BLE foloseşte în jur de 40 de canale pe gama de frecvenţe de la 2.4 GHz la 2.4835GHz. 37 de canale sunt folosite pentru conexiuni şi ultimele 3 canale (37, 38 şi 39) sunt folosite pentru mesajele de tip publicare (engl. Advertising), pentru crearea şi stabilirea de conexiuni şi pentru difuzia de date. BLE foloseşte conceptul de salt între frecvenţe, fiecare conexiune având loc pe o frecvenţă diferită astfel se minimizează efectul de interferenţă.

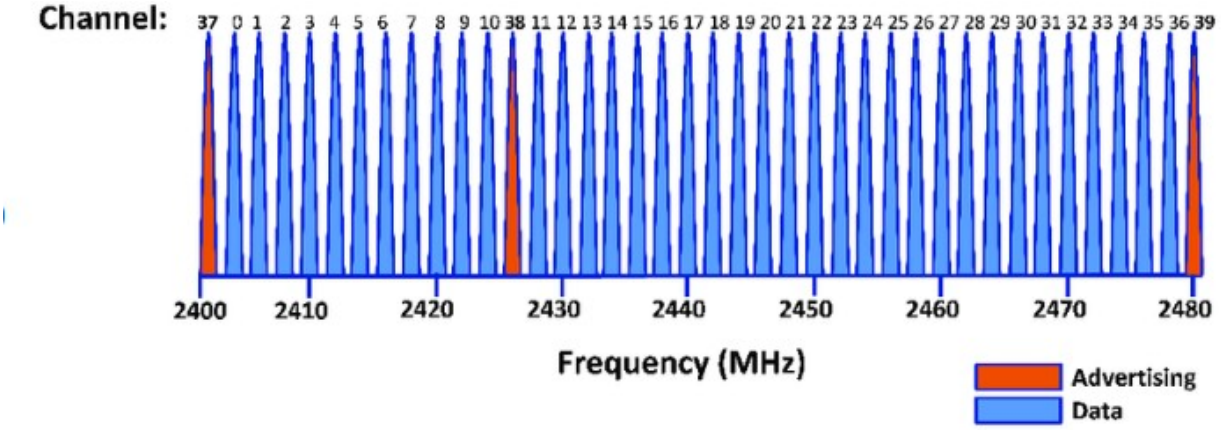


Figura 2.12: Canalele de frecvenţă specifice BLE

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt)

Nivelul de legătură de date se interfaţează direct cu nivelul fizic, acest nivel fiind o combinaţie de componente hardware şi software, el este responsabil pentru respectarea cerinţelor de timp conform specificaţiilor, de asemenea face managementul circuitului radio, pe baza parametrilor radio configuraţi realizează codare şi decodarea pachetelor radio. Acest nivel defineşte rolul unui dispozitiv:

- Advertiser – dispozitiv care face difuzie la mesaje de tip publicitate
- Scanner – dispozitiv care scanează după mesaje de tip publicitate
- Master – un dispozitiv care creează şi face managementul unei conexiuni
- Slave - un dispozitiv care acceptă o conexiune şi respectă parametrii impuşi de master

Nivelul de legătură de date are responsabilitatea de a stabili conexiuni între dispozitive, filtrează pachetele de date pe baza adresei de Bluetooth[9] sau a datelor din pachet, face managementul intervalelor de conexiune[10] şi poate configura şi realiza criptarea pachetelor recomandat în cazurile în care multe dispozitive se află în aceeaşi zonă.

Protocolul de adaptare şi control are 2 sarcini principale:

- Preia datele de la mai multe protocoale superioare şi le încapsulează în formatul specific protocolului BLE şi invers.
- Fragmentare şi recombinare: pachetele de dimensiune mare de la nivele superioare le fragmentează în pachete de 27 de octeţi dimensiunea maximă a unui pachet specific BLE , de asemenea primeşte pachete de la nivele inferioare şi le recombină în pachete de dimensiune mare pentru a le trimite nivelelor superioare

Protocolul de adaptare şi control este folosit pentru rutarea pachetelor către nivelele superioare în special către nivelul de atribute şi nivelul de securitate.

Protocolul de atribute este un protocol de timp server/client care este bazat pe atribute,

9 Adresa Bluetooth – este un număr unic pe 48 de biţi care identifică un dispozitiv într-o reţea Bluetooth
10 Interval de conexiune – timpul între startarea a 2 conexiuni consecutive

clientul cere datele de la un server şi serverul transmite datele către client, o nouă cerere nu poate fi transmisă cât timp nu s-a răspuns la cererea precedentă. Serverul va menţine datele organizare sub formă de atribute, fiecare atribut are asignat un identificator universal unic(abr. UUID) care poate fi pe 16 biţi, 32 biţi sau 128 biţi de asemenea unui atribut i se pot asigna permisiuni(ex. Atributul poate fi doar citit sau atributul poate fi doar scris). Un client poate face cerere de scriere sau citire a unui atribut pe baza identificatorului universal, serverul poate rejecta cu un pachet specific dacă identificatorul universal nu este cunoscut de server sau permisiunea atributului este nu permite răspunsul la cerere, în cazul unei cerere de citire serverul va răspunde cu valoarea atributului, în cazul unei cerere de scriere serverul va actualiza valoarea atributului cu valoarea obţinută de la client şi va răspunde la client un pachet de confirmare doar dacă clientul doreşte confirmare la cererea de scriere. Serverul la rândul său poate anunţa clientul că valoarea unui atribut s-a schimbat, printr-un pachet de tip notificare sau printr-un pachet de tip indicare în urma căruia serverul v-a aştepta un pachet de confirmare de la client(tipurile de transfer de date se pot observa în figura 2.13).

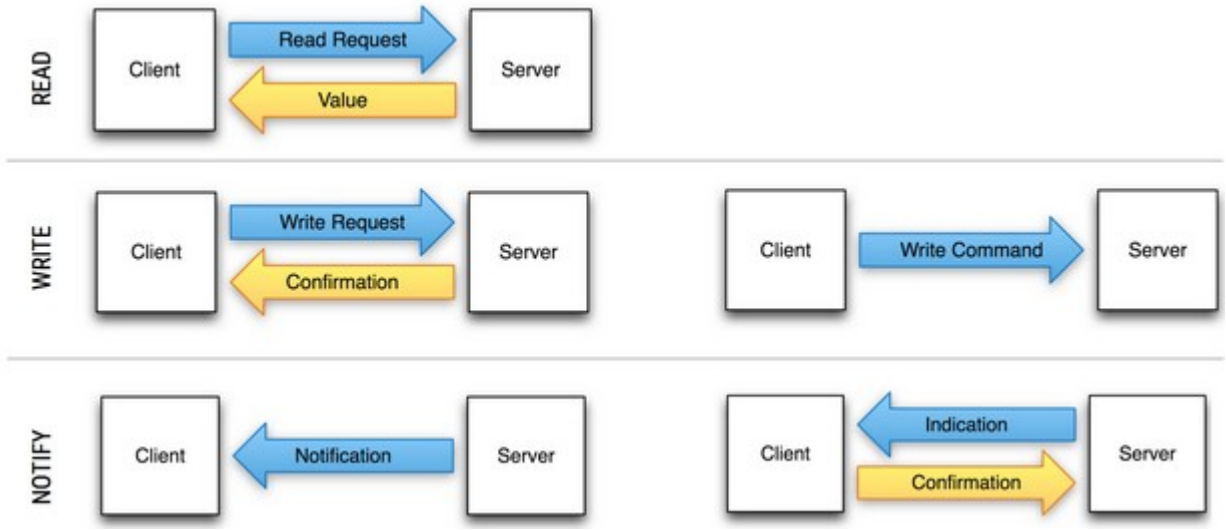


Figura 2.13: Tipurile de transfer de date specifice protocolului de atribute

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt)

Managerul de securitate defineşte metodele şi protocoalele pentru împerecherea dispozitivelor (engl. Pairing) şi distribuirea de chei. Împerecherea are rolul de a stabili cheile de criptare şi cheile pentru semnături. În general procesul de împerechere a dispozitivelor este compus din 3 faze:

- schimbul de parametri şi configurări între dispozitive
- generarea de chei pe termen scurt/lung(valabil din specificaţiile Bluetooth 4.2)
- distribuirea cheilor specifice(vezi mai multe în figura 2.14)

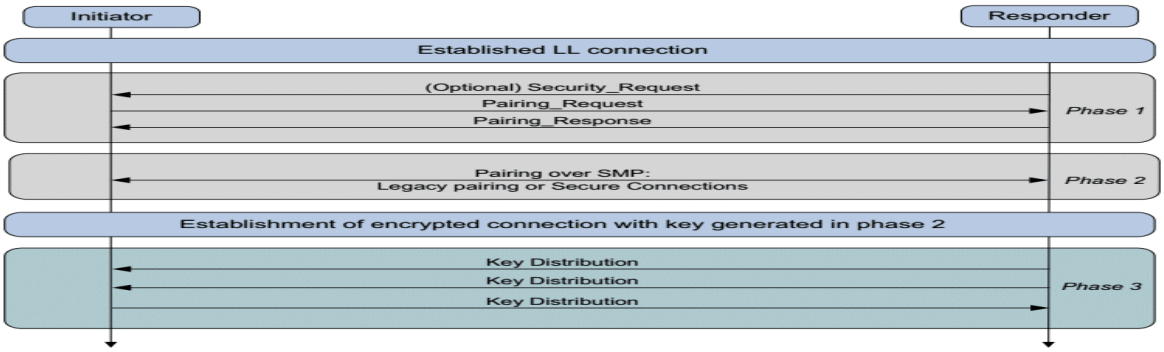


Figura 2.14: Schimb de mesaje pentru împerecherea dispozitivelor

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt)

Profilul de acces generic este nivelul care controlează conexiunile şi transmiterea de pachete de tip publicitate, alte responsabilităţi a acestui nivel este de a face dispozitivul vizibil în reţea şi de a determina cum interacţionează 2 dispozitive între ele. Profilul de acces generic defineşte 2 tipuri de dispozitive:

- dispozitiv periferic – sunt dispozitive mici cu resurse limitate care se pot conecta la dispozitive mai performante, dispozitive periferice tipice sunt senzori de temperatură, de umiditate.
- dispozitiv central - este dispozitivul care de obicei scanează după dispozitive şi doreşte să obţină date de la dispozitivele periferice(ex.o tabletă sau un telefon mobil).

Pachetele specifice acestui nivel sunt mesaje de tip publicitate şi mesaje de tip răspuns la scanare, ambele pachete au aceeaşi dimensiune 31 de octeţi, mesajul de tip publicitate este difuzat de către un dispozitiv periferic pentru a anunţa dispozitivele centrale de prezenţa lor. Pachetul de tipul răspuns la scanare este opţional poate fi cerut de către dispozitivul central şi care va conţine informaţii suplimentare despre dispozitivul periferic(un exemplu de schimb de mesaje se pot observa în figura 2.15).

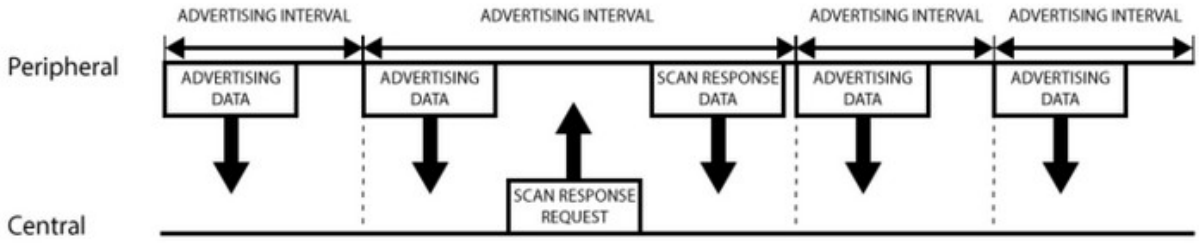


Figura 2.15: Exemplu de mesaje specifice profilului de acces generic

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gap)

Profilul generic de atribute are rolul de a controla transferul de date între 2 dispozitive care deja au creat o conexiune exclusivă, acest nivel foloseşte protocolul de atribute, în acest nivel dispozitivul periferic devine un server şi se se poate conecta la un singur dispozitiv central care la rândul său devine client, un client se poate conecta la mai multe dispozitive periferice reţeaua formând o reţea de tip stea care poate fir observată în figura 2.16. Profilul generic de atribute aduce câteva componente specifice: profile, servicii, caracteristică şi descriere.

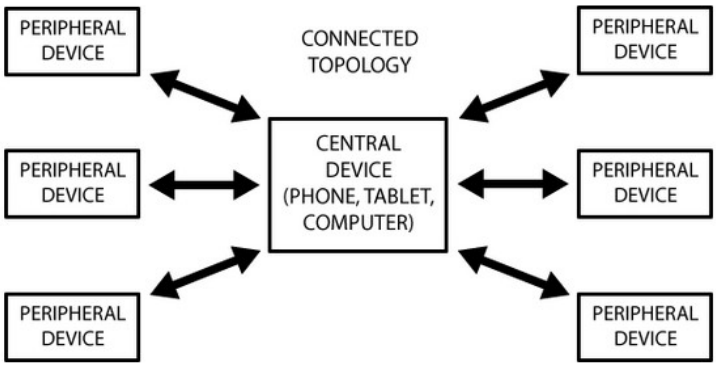


Figura 2.16: Topologie BLE

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt)

Profilul nu există în sine o componentă, profilul reprezintă o colecţie de servicii predefinite care sunt descrise de specificaţiile oficiale pentru stiva BLE(vezi [5]) sau profilul poate fi specificat de către dezvoltatorul dispozitivului periferic. Un exemplu este profilul de monitorizare a inimii care este standardizat şi este compus din serviciul de monitorizare a inimii şi serviciul ce oferă informaţii despre dispozitiv.

Serviciul are rolul de a transforma şi a împarţi datele în entităţi logice, aceste entităţi logice poartă numele de caracteristică. Un serviciu are una sau mai multe caracteristici, serviciile se deosebesc între ele cu ajutorul identificatorului unic(abr.UUID) care poate fi reprezentat pe 16 biţi sau 128 biţi. La fel ca şi în cazul profilelor sunt servicii oficiale descrise de specificaţiile BLE, serviciile oficiale folosesc identificatori unici reprezentat pe 16 biţi iar serviciile neoficiale sau specifice folosesc reprezentarea pe 128 de biţi.

Caracteristica încapsulează o dată specifică(ex coordonatele x/y/z a unui accelerometru), la fel ca şi serviciile caracteristicele sunt identificate printr-un identificator unic universal (abr.UUID). O caracteristică poate avea permisiuni asupra sa: doar citire, doar scriere sau ambele.

Descriptorul este nivelul cel mai jos a unui serviciu, rolul său este de a aduce informaţii despre caracteristică. Un exemplu în cazul unui serviciu care calculează distanţa, este nevoie de un descriptor care să ofere informaţii în ce format este întoarsă distanţa.

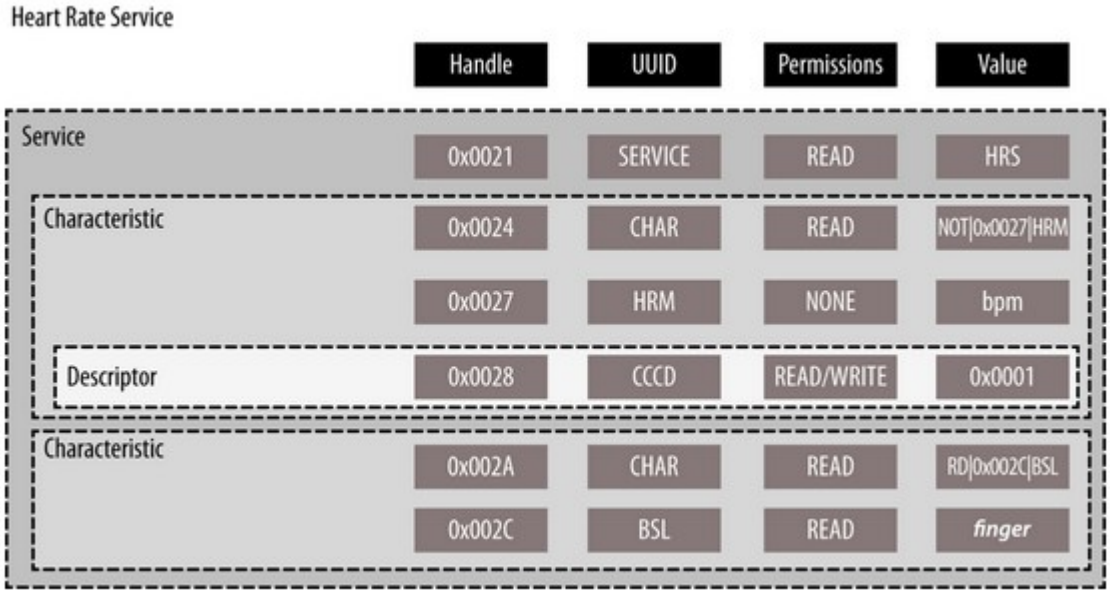


Figura 2.17: Exemplu de serviciu specific BLE

(https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt)

Un nivel special este interfaţa între nivelele de protocol şi nivelul de controler are rolul de a separa aceste 2 nivele. Acest nivel are rolul de abstractiza şi standardiza comunicaţia cu perifericul de BLE astfel încât nivelele superioare să fie independente de partea hardware şi invers. Acest nivel este opţional şi apare în configuraţiile când perifericul de BLE nu face parte din microcontroler dar este o componentă independentă cu propriul procesor. În aceste cazuri acest nivel va trimite comenzi şi va recepţiona datele de la perifericul de BLE prin protocoale precum UART, SPI sau USB.

2.2.2 Descriere generală a stivei TCP/IP

Stiva TCP/IP reprezintă un set de protocoale folosite în internet şi pentru reţele de calculatoare şi este cea mai folosită stivă în lume deoarece suportă o mulţime de platforme hardware şi software, este un standard non-proprietar şi oferă posibilitatea de comunicare între diferite tipuri de reţele. Stiva are 4 nivele: nivelul legături de date, nivelul de reţea, nivelul de transport şi nivelul de aplicaţie.

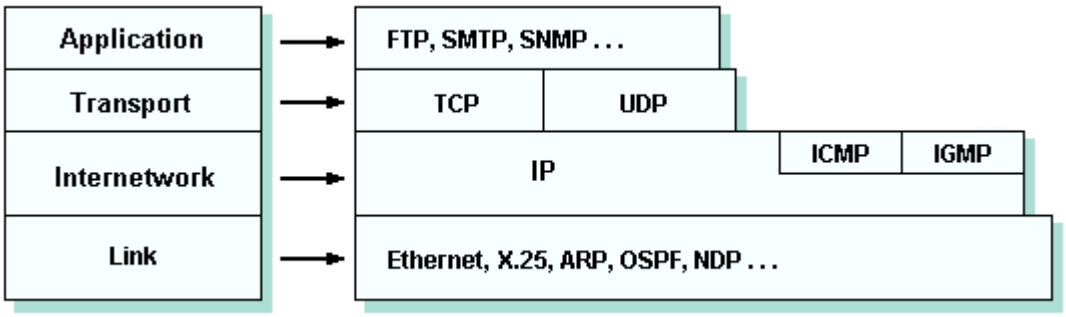


Figura 2.17: Nivele stivei TCP/IP

(http://www.technologyuk.net/computing/computer-networks/internet/tcp-ip-stack.shtml)

Nivelul legături de date este cel mai puţin definit nivel,deoarece el consistă din tehnologii specifice diferitor implementări de hardware dar de asemenea concepte virtuale folosite pentru reţele virtuale private[11] şi pentru tuneluri între reţele[12]. În general stiva TCP/IP a fost proiectată astfel încât să fie independentă de hardware acceptând diferite implementări a nivelului legături de date. Nivelul legături de date este responsabil de traficul de date între dispozitive aflate în aceeaşi reţea locală astfel este responsabil pentru transmiterea şi recepţionarea de date, pregătirea cadrelor de date pentru transmisie prin adăugarea adreselor de control de acces media (engl. Media Acces Control, abr. MAC) şi filtrarea cadrelor pe baza adreselor de control de acces media, de asemenea este responsabil pentru accesarea nivelului fizic.

Nivelul de reţea este responsabil pentru transmiterea de pachete între diferite reţele, astfel datele sunt trimise de la o reţea sursă către o reţea destinaţie, acest proces este numit rutare. Nivelul de reţea are 2 funcţii de bază:

- Adresarea şi identificarea gazdelor: acest proces este realizat prin sistemul de adrese ierarhice.
- Rutarea pachetelor: are rolul de a transmite pachetul de la sursă către destinaţie folosind cel mai apropiat ruter de destinaţie.

Nivelul de reţea este agnostic în ceea ce priveşte datele transferate, astfel el transferă date către

11 Reţea privată virtuală extinde o reţea privată peste o reţea publică, precum internetul. Permite unui calculator sau unui dispozitiv ce poate fi conectat la reţea să trimită şi să primească date peste reţele publice sau comune ca şi cum ar fi conectat la reţeaua privată, beneficiind în acelaşi timp de funcţionalitatea, securitatea şi politicile reţelei publice.

12 Un tunel între reţele este un protocol de comunicare care permite transmiterea datelor între 2 reţele, astfel o reţea privată poate sa transmită date folosind o reţea publică, acest proces include o fază de reîmpachetare a datelor cu aplicare unui standard de criptare astfel datele fiind ofuscate.

diferite protocoale superioare. Două protocoale superioare care extind funcţionalitatea nivelului de reţea sunt:

- Internet Control Message Protocol (abr. ICMP) care este folosit pentru a diagnostica şi semnala problemele din reţea.
- Internet Group Management Protocol (abr.IGMP) este un protocol de comunicare folosit de gazde şi routere adiacente pe reţelele pentru a stabili apartenenţe la grupuri multicast.

Protocolul Internet este principala componentă a nivelului de reţea foloseşte adrese pe 32 biţi pentru a identifica şi localiza membrii unei reţele, aceste adrese permit identificarea a 4 miliarde de dispozitive, acest tip de adresare este specific pentru versiunea 4, în versiunea 6 a protocolului dimensiunea adresei a crescut la 128 de biţi.

Nivelul de transport stabileşte conexiunile între diferite aplicaţii, acest nivel este responsabil de livrarea pachetelor de la dispozitiv la dispozitiv fiind independent de reţeaua în care se află şi de asemenea este agnostic de datele pe care le trimit aplicaţiile. Acest nivel oferă funcţionalităţi precum: detectarea erorilor, segmentarea pachetelor, managementul ratelor de transmisie,managementul congestiei şi adresarea de aplicaţii(numere de port). Transferul de date şi conexiunile de la punct la punct pot fi categorizate în 2 categorii: orientate pe conexiune implementat în protocolul de control al transmisiei (engl. Transmission Control Protocol, abr. TCP) sau fără conexiune implementat în protocolul datagramelor utilizator (engl.User Datagram Protocol, abr. UDP). Protocolul de control al transmisiei are rolul de a crea conexiuni între aplicaţii pe baza numerelor de port. Numărul de port este un număr pe 16 biţi reprezintă o construcţie logică care identifică un canal de comunicaţie care poate fi:un proces specific, un serviciu de reţea sau o aplicaţie. Protocolul de control a transmisiei oferă încredere în comunicare deoarece este responsabil ca pachetele să ajungă în ordinea corectă , detectarea şi corectarea pachetelor corupte, eliminarea pachetelor duplicate, pachetele pierdute sunt retransmis şi controlul congestiei. Protocolul datagramelor utilizator nu este la fel de sigur ca protocolul de control al transmisiei, singura verificare pe care o face acest protocol este o sumă de control, însă acest protocol vizează aplicaţiile care au nevoie de transmisie de date în timp real, pierderea sau coruperea unui pachet nu este o problemă în aplicaţii precum: transmisie în timp real de sunet sau video.

TCP Segment Header Format

Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Sequence Number			
64	Acknowledgment Number			
96	Data Offset	Res	Flags	Window Size
128	Header and Data Checksum		Urgent Pointer	
160...	Options			

UDP Datagram Header Format

Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Length		Header and Data Checksum	

Figura 2.18: Datele adăugate la pachete de către protocolul de control a transmisiei şi de protocolul datagramelor utilizator

(https://microchipdeveloper.com/tcpip:tcp-ip-transport-layer-layer-4)

Nivelul de aplicaţie oferă protocoale şi servicii care permit aplicaţiilor transferul de date, acest nivel tratează nivelul de transport ca o cutie neagră care oferă o conexiune stabilă cu punctul final dar cunoaşte informaţii precum numărul de port şi adresa folosită de nivelul de reţea. Nivelul de aplicaţie este caracterizat de protocoale pe care le include, cele mai populare din ele sunt:

- Hypertext Transfer Protocol (abr.HTTP) – este metoda cea mai des utilizată pentru accesarea informaţiilor în Internet care sunt păstrate pe servere World Wide Web(WWW). Protocolul HTTP este un protocol de tip text, fiind protocolul "implicit" al WWW. Adică, dacă un URL nu conţine partea de protocol, aceasta se consideră ca fiind http. HTTP presupune că pe calculatorul destinaţie rulează un program care înţelege protocolul. Fişierul trimis la destinaţie poate fi un document HTML (abreviaţie de la HyperText Markup Language), un fişier grafic, de sunet, animaţie sau video, de asemenea un program executabil pe server-ul respectiv sau şi un editor de text. După clasificarea după modelul de referinţă OSI, protocolul HTTP este un protocol de nivel aplicaţie. Realizarea şi evoluţia sa este coordonată de către World Wide Web Consortium (W3C)[6]
- Protocolul pentru transfer de fişiere(sau FTP, din engl. *File Transfer Protocol*) este un protocol (set de reguli) utilizat pentru accesul la fişiere aflate pe servere din reţele de calculatoare particulare sau din Internet. FTP este utilizat începând de prin anul 1985 şi actualmente este foarte răspândit. Numeroase servere de FTP din toată lumea permit să se facă o conectare la ele de oriunde din Internet, şi ca fişierele plasate pe ele să fie apoi transferate (încărcate sau descărcate). Webul nu aduce aici mari schimbări, ajută doar ca obţinerea fişierelor să se realizeze mai uşor, având o interfaţă mai prietenoasă decât aplicaţiile (prgramele) de FTP. Este posibil să se acceseze un fişier local prin adresa sa URL, ca şi la o pagină de Web, fie utilizând protocolul "*file*" (fişier), fie pur şi simplu utilizând calea şi numele fişierului. Această abordare este similară utilizării protocolului FTP, dar nu necesită existenţa unui server. Desigur funcţionează numai pentru fişiere locale.[7]
- Protocolul simplu de transfer al corespondenţei - Simple Mail Transfer Protocol (prescurtat, SMTP; în traducere aproximativă *Protocolul simplu de transfer al corespondenţei*) este un protocol simplu din suita de protocoale Internet, care este folosit la transmiterea mesajelor în format electronic în reţea de calculatoare. SMTP foloseşte număru de port 25 TCP („smtp”) şi determină adresa unui server SMTP pe baza înregistrării MX (*Mail eXchange*, „schimb de corespodenţă”) din configuraţia serverului DNS. Protocolul SMTP specifică modul în care mesajele de poştă electronică sunt transferate între procese SMTP aflate pe sisteme diferite. Procesul SMTP care are de transmis un mesaj este numit client SMTP iar procesul SMTP care primeşte mesajul este serverul SMTP. Protocolul nu se referă la modul în care mesajul ce trebuie transmis este trecut de la utilizator către clientul SMTP, sau cum mesajul recepţionat de serverul SMTP este livrat utilizatorului destinatar şi nici cum este memorat mesajul sau de câte ori clientul SMTP încearcă să transmită mesajul.[8](https://ro.wikipedia.org/wiki/SMTP)
- Secure Shell (SSH) este un protocol de reţea criptografic ce permite ca datele să fie transferate folosind un canal de securizat între dispozitive de reţea. Cele două mari versiuni ale protocolului sunt SSH1 sau SSH-1 şi SSH2 sau SSH-2. Folosit cu precădere în sistemele de operare multiutilizator linux şi unix, SSH a fost dezvoltat ca un înlocuitor al Telnet-ului şi al altor protocoale nesigure de acces de la distanţă, care trimit informaţia, în special parola, în clar, făcând posibilă descoperirea ei prin analiza traficului. Criptarea folosită de SSH intenţionează să asigure confidenţialitatea şi integritatea datelor

transmise printr-o reţea nesigură cum este Internetul.[8]

2.3 Cercetări privind procesul de Update Over The Air(Actualizare fără fir abr. OTA)

Tema de actualizare fără fir a fost abordată în lucrarea *IoT Firmware Management:Over the Air Firmware Management for Constrained Devices using IPv6 over BLE* [1] care îşi propune implementarea unui sistem care nu foloseşte stiva de BLE nativă dar o înlocuieşte parţial cu stiva de IPv6 adaptată pentru protocolul de BLE.(vezi figura 2.19)

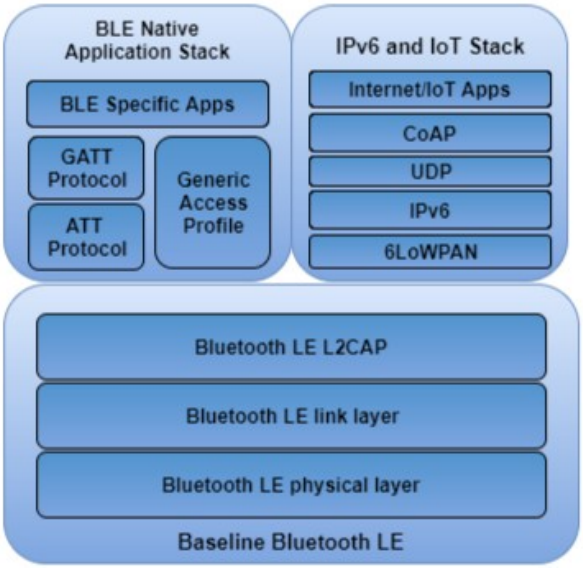


Figura 2.19: Comparere stiva BLE nativă cu stiva IPv6 adaptată pentru BLE

În figura 2.19 se poate observa ca nivelul fizic, nivelul de legături de date şi protocolul de adaptare şi control rămân aceleaşi ca şi în stiva nativă de BLE, însă nivelele superioare sunt înlocuite cu următoarele protocoale:

- 6LoWPAN este un acronim pentru protocolul internet versiunea 6 pentru reţele personale cu putere şi resurse limitate(engl.IPV6 *over* Low -Power Wireless Personal Area Network) defineşte mecanisme pentru încapsularea şi compresia antetului care permit transferul de pachete IPV6 prin reţele bazate pe standardul IEE802.15.4[13].
- Protocolul de Internet versiunea 6(abr. IPv6)
- Protocolul datagramelor utilizator(abr. UDP) vezi capitolul 2.2.2
- Protocolul pentru aplicaţii cu constrângeri (engl.Constrained Application Protocol abr.CoAP) [14]este un protocol specializat pentru dispozitive cu putere de procesare mică, astfel le permite să comunice cu alte aplicaţii din Internet care suportă acest protocol.

În lucrarea această se propune implementarea unui sistem de actualizare fără compus din 4 componente:

- Server LwM2M[15] - este responsabil pentru managementul şi controlul de dispozitive din reţea, de asemenea managementul programelor care rulează pe nodurile din reţea

13 IEE802.15.4 – este standard tehnic care defineşte operaţiile pentru reţelele de tip personal cu rate mici de transfer (engl. low-rate wireless personal area network abr,LR-PWAN)/

14 https://tools.ietf.org/html/rfc7252

- Repozitoriu de programe – acest server are rolul de a servi fişierele cu programele noi către clienţi care suportă protocolul LwM2M.
- Gateway – este un dispozitiv intermediar care va transfera comunicare de la nod către servere şi invers.
- Dispozitiv nod – este un dispozitiv cu putere de procesare şi resurse reduse, dispozitivul va suporta un client LwM2M care va comunica cu serverul, de asemenea trebuie să fie capabil să suporte scrierea în memorie un nou program.

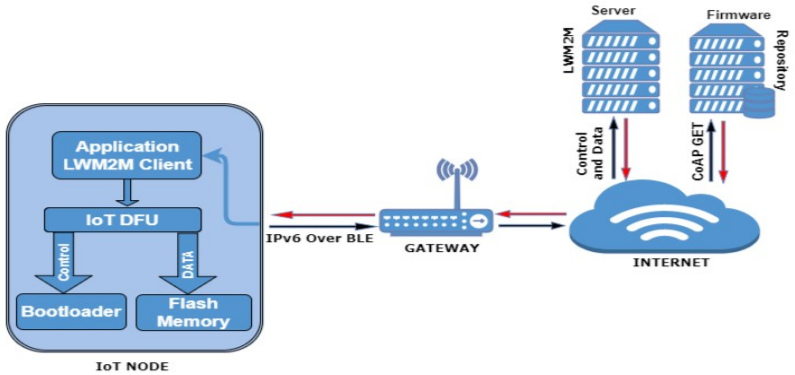


Figura 2.20: Arhitectura sistemului din lucrarea IoT Firmware Management:Over the Air Firmware Management for Constrained Devices using IPv6 over BLE [1]

O altă soluţie interesantă care încearcă să rezolve problema de securitate în actualizarea fără fir este prezentată în lucrarea *UpdaThing: A secure and open firmware update system for Internet of Things devices* [2]. În această lucrare se propune un sistem compus din 4 componente:

- Server de actualizare – este responsabil de monitorizarea clienţilor pentru a detecta dispozitivele care au nevoie de actualizare, notificarea clienţilor de prezenţa unui noi imagini de program, servirea noi imagini clienţilor. Server-ul foloseşte protocolul HTTPS care implementează protocoale de nivel de transport securizat (engl. Transport Layer Security abr.TLS)[16]
- Server de semnare – este responsabil de includerea în imaginea de program a cheii publice a serverului de actualizare şi certificatul, semnează imaginea de program care este oferită de dezvoltator după care va încărca imaginea semnată în serverul de actualizare. Serverul de semnare şi actualizare sunt separate deoarece se doreşte o implementare bazată pe servicii.
- Clientul actualizat – este dispozitivul care urmează să fie actualizat, este responsabil pentru cererea noi imagini de program de la server şi scrirea acestei imagini în memorie. Clientul la fel ca serverul de actualizare implementează protocolul HTTPS, la prima startarea dispozitivului cu noua imagine de program va genera un certificat propriu pe baza cheii şi certificatului inclus în imagine de către server-ul de semnare, cu acest noi certificat dispozitivul se va putea autentifica la server-ul de actualizare.
- Programele de dezvoltare – este un set de scripturi care automatizează crearea sistemului de fişiere Linux cu noile funcţionalităţi şi configuraţii pentru noua imagine de program, după care noua imagine de program este trimisă către server-ul de semnare.

15 LwM2M – este un protocol pentru comunicare de tip maşină la maşină şi managementul dispozitivelor dintr-o reţea de dispozitive fără fir, este un protocol la nivelul de aplicaţie şi este de tipul server client(vezi [9])

16 Nivelul de transport securizat sunt protocoale criptografice care permit comunicaţii sigure pe Internet.

Capitolul 3. Proiectarea aplicaţiei

3.1. Descrierea platformei şi componentelor hardware

Pentru implementarea conceptului de actualizare fără fir a fost folosită platforma hardware ESP32 care este un sistem pe chip, are integrat modulul de Wi-Fi şi modul de Bluetooth care poate funcţiona în modul clasic dar şi în modul de Bluetooth Low Energy(abr. BLE, Bluetooth 4.2), astfel această platformă este foarte bine dotată în ceea ce priveşte conectivitatea. ESP32 are următoarele componente:

- Procesorul folosit este Tensilica Xtensa cu 2 nuclee sau 1 nucleu pe 32 de biţi versiunea LX6 şi poate opera la frecvenţă de 160 Mhz sau 240 Mhz, de asemenea este dotat cu un co-procesor care funcţionează în mod de consum redus, poate accesa convertorul analogic digital când toată platforma se află în modul de funcţionare somn adânc.
- Suportă conectivitate fără fir:
  - ESP32 implementează stiva TCP/IP şi protocolul 802.11 b/g/n/e/i şi specificaţiile pentru Wi-Fi direct
  - EPS32 suportă comunicare Bluetooth clasic cât şi comunicarea Bluetooth Low Energy astfel poate comunica cu toată gama de dispozitive care suportă acesta stivă
- EPS32 conţine următoarea memorie internă:448KBytes de memorie ROM care este folosită pentru startare şi funcţiile de bază,520 KBytes de SRAM, 8 KBytes de RTC rapid SRAM folosit pentru stocare de date şi de nucleele de bază când se face tranziţia din modul somn adânc în modul normal,8 Kbytes de RTC încet SRAM care este folosit de co-procesor în timpul funcţionării în modul somn adânc,1KBit de memorie de tipul eFuse[17] dintr care 256 de biţi sunt folosiţi de către sistem pentru adresele de acces media(abr.MAC) şi configurări ale chip-ului restul 768biţi pot fi folosiţi de către dezvoltator, în funcţie de versiunea de platformă memoria flash poate avea dimensiunile:0MBytes (ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD, şi ESP32-S0WD), 2MBytes (ESP32-D2WD) şi 4MBytes (ESP32-PICO-D4 SiP). ESP32 suportă memorie flash şi SRAM externă: până la 16MBytes de memorie flash mapată în zona memoriei de cod a CPU-ului, poate fi accesată pe 8biţi, 16biţi şi 32biţi, se poate executa cod din această memorie şi până la 8MBytes de memorie flash/SRAM poate fi mapată în zona memoriei de date a CPU-ului, suportă accesare pe 8 biţi 16biţi sau 32 de biţi, citirea este suportată de memoria flash şi de memoria SRAM, citirea este suportată doar de memoria SRAM.
- ESP32 este foarte bogat în periferice precum: un convertor analog digital prin aproximări succesive care suportă pană la 18 canale, 2 convertoare digital analogice, 10 senzori capacitivi de atingere, 4 interfeţe SPI, 2 interfeţe I2S, 2 interfeţe I2C, 3 interfeţe UART, 1 controler master pentru SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC, 1 controler sclav pentru SDIO/ SPI, 1 interfaţă de Ethernet cu controler de DMA dedicat şi suport pentru protocolul de precizie de timp IEEE1588, 1 interfaţă de CAN versiunea 2.0, 1 controler de infraroşu până la 8 canale, PWM pentru motor, PWM pentru led-uri, 1 senzor Hall.
- ESP32 suportă funcţionalităţi de securitate precum:implementarea completă a standardului de securitate IEEE802.11 incluzând WFA,WPA/WPA2 şi WAPI, startare securizată(engl. Secure boot), criptarea memorie flash şi accelerare hardware pentru pentru operaţiile criptografice: AES, SHA-2, RSA, curbe eliptice criptografice(abr.ECC),generatoare aleatoare de numere.

17 eFuse – este o tehnologie inventată de către IBM care permite în timp real şi în mod dinamic reprogramarea chip-urilor de calculator.

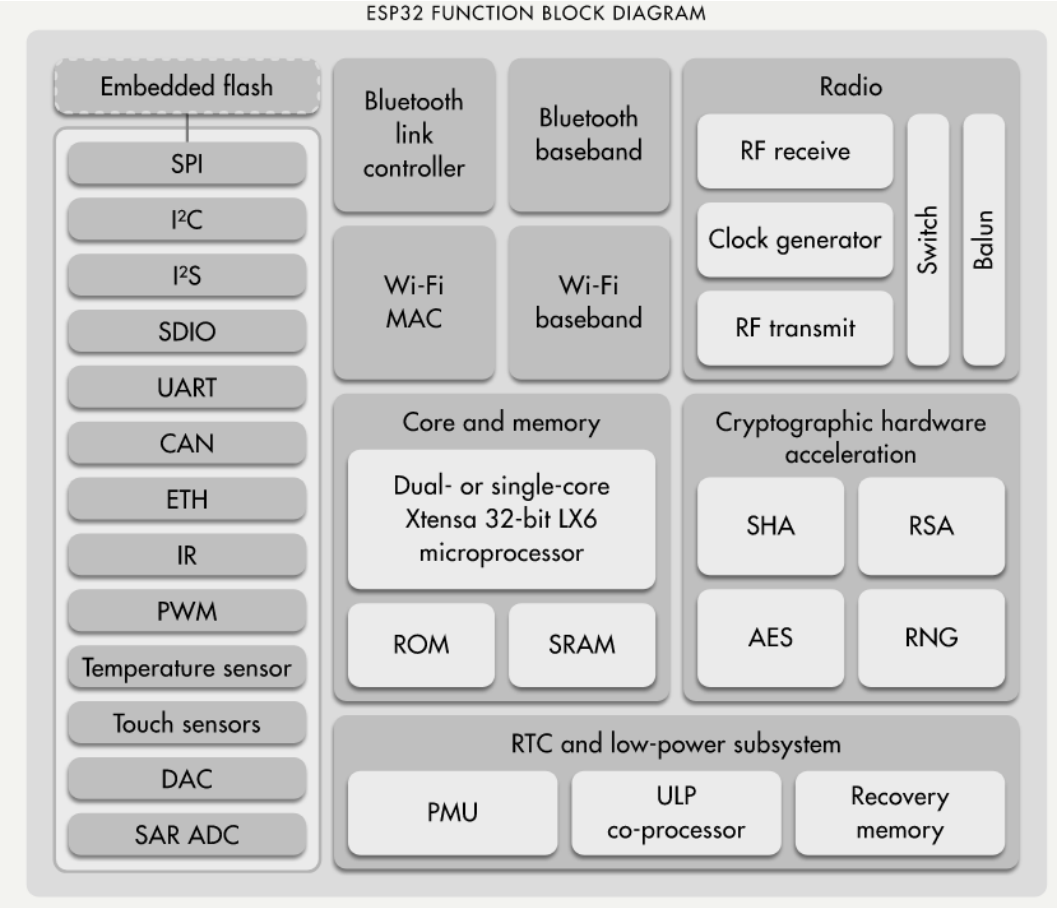


Figura 3.1: Diagrama bloc a de funcţii ESP32

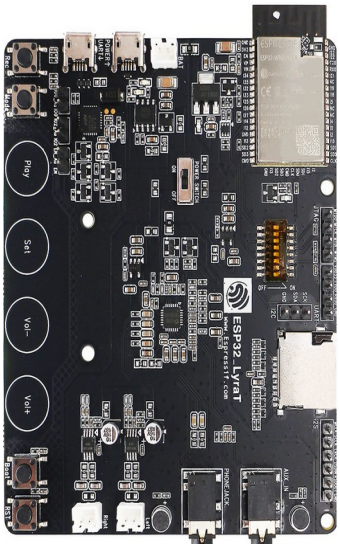


Figura 3.2: ESP32-LyraT

(https://www.espressif.com/en/products/hardware/development-boards)

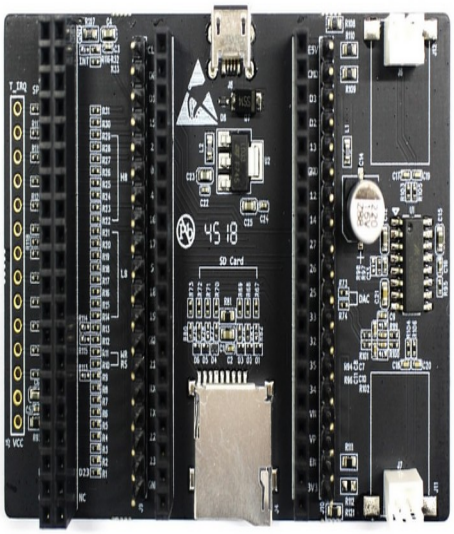


Figura 3.2: ESP32-LCDKit

(https://www.espressif.com/en/products/hardware/development-boards)

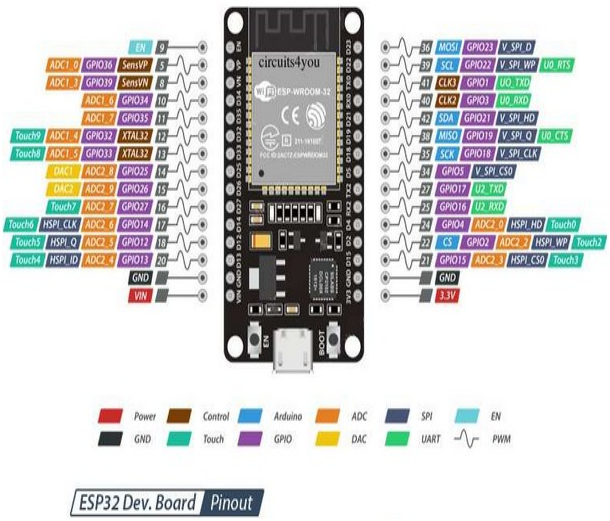


Figura 3.3: ESP32-Devkit maparea pinilor

(https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/)

Pentru stocarea imaginilor de program sa folosit un cititor de carduri de tip SD care are o interfață SPI iar cu ajutorul unui driver pentru sisteme de fișiere se poate scrie și citi date de pe un SD card. Acest modul are un regulator de 3.3V și un comutator automat de nivele de tensiune astfel se poate interfața cu microcontrolere care folosesc 3.3V și 5 V.

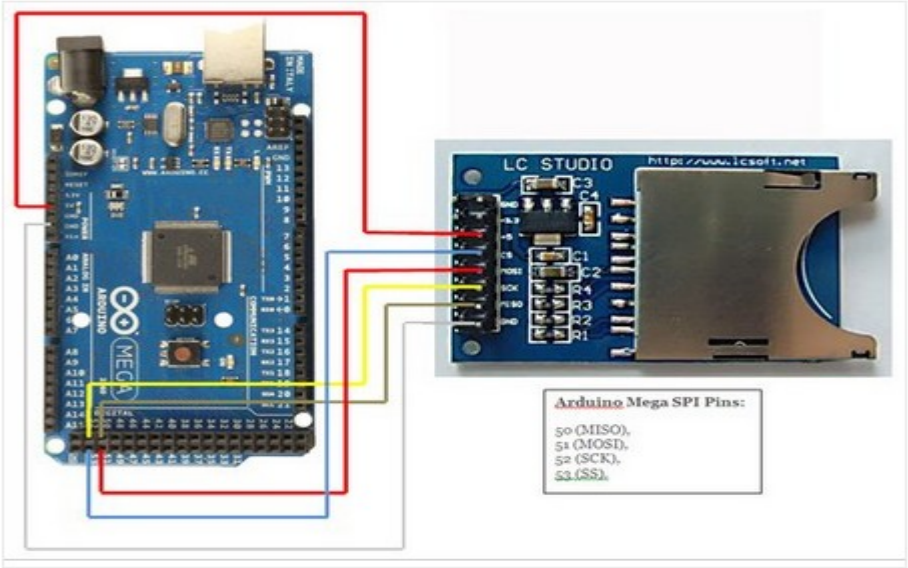


Figura 3.5: Conectarea modulului cititor card SD la un Arduino Mega

(https://www.indiamart.com/proddetail/sd-card-module-for-arduino-21138316730.html)

Ecranul Oled SSD1306 cu rezoluția de pixeli 128x64 a fost folosit pentru afișarea de informații despre dispozitivul la care este conectat. Oled SSD1306 are chip CMOS OLED/PLED pe post de driver care controlează un ecran cu o matrice de diode în formă de puncte care emit o lumină organic/polimerică. Acest ecran folosește interfața de comunicare I2C și suportă o gamă tensiuni între 3.3V și 6V astfel se poate folosi cu o gamă largă de microcontrolere, consumă mai puțin de 10mA de curent.

Figura 3.4: Exemplu de afisaj a ecranuui Oled SSD1306

(https://www.electronics-lab.com/project/using-i2c-oled-display-with-arduino/)

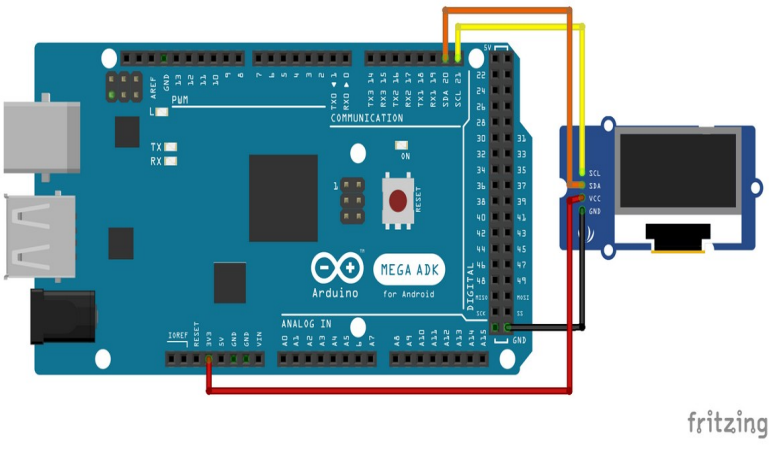


Figure 3.5: Exemplu de conecatare a ecranului Oled SSD1306 la Arduino Mega

(https://www.electronics-lab.com/project/using-i2c-oled-display-with-arduino/)

3.2. Descrierea generală a arhitecturii de sistem

Sistemul de actualizarea fără fir propus în această lucrare va fi construit din 4 componente independente:

- o aplicație Angular(vezi mai multe capitolul 3.2.1) care va fi interfața cu utilizatorul, unde utilizatorul va putea încărca imaginea programului care urmează sa fi distribuite către nodurile dintr-o rețea BLE, aplicație va transmite noua imagine către un micro-serviciu
- un micro-serviciu care va fi responsabil de recepționarea de noi imagini de la interfața cu utilizatorul, de asemenea este responsabil pentru transmiterea imaginii de program dacă nodul gateway va face o cerere pentru o nouă versiune, micro-serviciu realizează managementul versiunii imaginilor pe care le menține. Acest micro-serviciu folosește un server Flask(vezi mai multe capitolul 3.2.1) care este implementate în limbajul de programare Python.
- un nod gateway care va fi responsabil să ceară de la micro-serviciu noul program după care să-l stocheze local pe SD card, după care este responsabil să distribuie nodurilor rețelei noul program.
- nodurile rețelei se vor difuza un mesaj că sunt prezente, nodul gateway le va detecta, se va conecta și va starta procesul de actualizare.

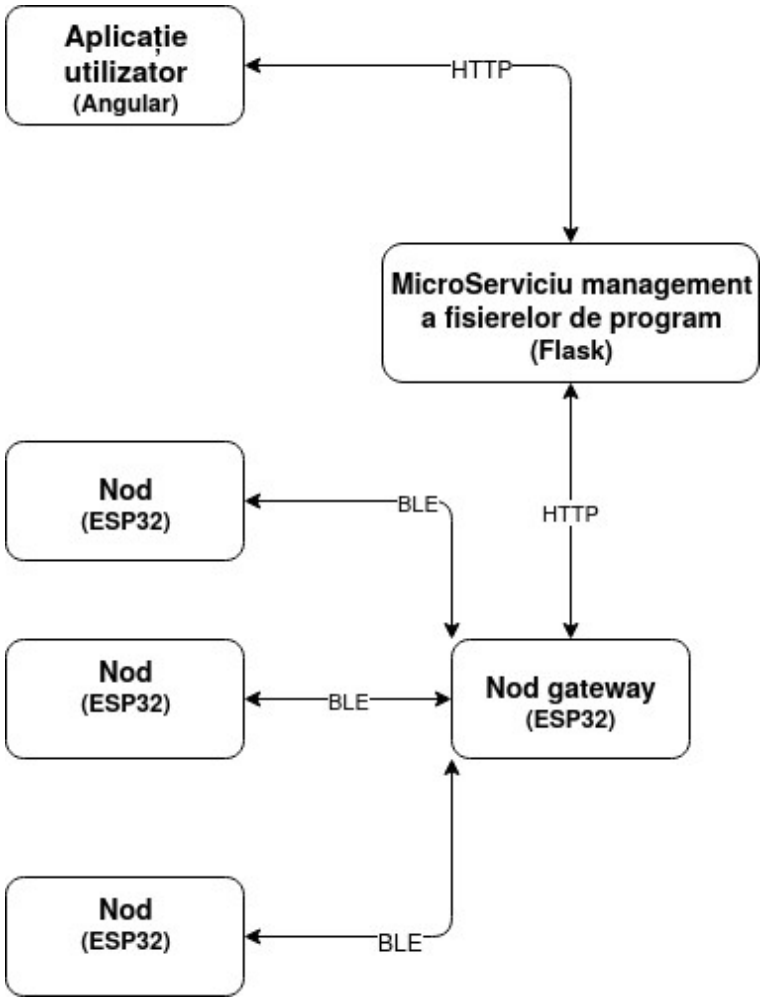


Figura 3.6: Digrama bloc a sistemului

3.2.1. Tehnologii folosite

Flask este o micro platformă web care este scrisă în Python. Este clasificat ca o micro-platformă deoarece nu foloseşte instrumente şi biblioteci specifice unei platforme web, nu are un nivel abstractizare a bazei de date, validare de formulare, sau oricare altă componente preexistentă în alte platforme web. Flask suporta extensii care pot adăuga funcţionalităţi ca şi cum ele ar fi implementate în Flask în mod nativ. Există extensii precum: mapare relaţionale de obiecte, validare de formulare, biblioteci de autentificare şi alte instrumente existente în alte platforme.

Angular este o platformă web care este dezvoltată de compania Google care foloseşte limbajul de programare Typescript, este folosit pentru dezvoltarea de interfeţe web fiind dotat cu multe componente grafice predefinite care permit dezvoltarea rapidă.

3.2.2. Descrierea comunicării interfaţă utilizator - micro-serviciu – nod gateway

Comunicarea interfaţă utilizator - micro-serviciu – nod gateway este compusă din două părţi independente comunicarea interfaţa utilizator – micro-serviciu şi micro-serviciu – nod gateway. În ambele cazuri micro-serviciul se va comporta ca server care va răspunde cererilor realizate de către celelalte componente, astfel utilizatori va introduce fişierul cu noul program în interfaţa cu utilizatorul după care interfaţa va crea o cerere de tip *HTTP POST {/upload, new_program}* care va trimite fişierul către micro-serviciu, micro-serviciu va verifica integritatea fişierului. Fişierul trebuie să conţină un antet creat dintr-un număr specific pe 32 de biţi cunoscut doar de porducători şi un număr pe 32 biţi care va reprezenta versiunea de program. Micro-serviciul va verifica dacă antetul e cunoscut şi versiunea primită trebuie să fie mai mare în comparare cu versiune conţinută de server, astfel dacă aceste 2 condiţii sunt îndeplinite, micro-serviciul va răspunde cu un răspuns *HTTP POST {/upload, {file_status=”Version accepted”}* care va conţine un JSON[18], interfaţa cu utilizatorul va recepţiona acest răspuns şi va verifica dacă micro-serviciul a acceptat fişierul caz în care va afişa un mesaj de succes, dacă fişierul nu îndeplineşte una din condiţiile de integritate micro-serviciul va răspunde cu un răspuns *HTTP POST {/upload, {file_status=”Failed layout/Version old”}* în acest caz interfaţa cu utilizator va afişa un mesaj de eroare. O alta parte din secvenţa de comunicare este comunicarea micro-serviciu – nod gateway, astfel nodul gateway trimite o cerere *HTTP GET {/version}* către micro-serviciu la fiecare 30 de secunde, aceasta va răspunde *HTTP GET {/version, latestVersion}* cu cea mai nouă versiune de program pe care o conţine, nodul gateway va verifica dacă versiunea de program pe care a recepţionat-o de la micro-serviciu este mai mare ca cea pe care o are o are stocată pe SD card, dacă condiţia este îndeplinită atunci nodul gateway va trimite o nouă cerere *HTTP GET {/download}* , la recepţionarea acestei cereri micro-serviciu va răspunde cu *HTTP GET {/download, program_file}* care va conţine noua versiune de program, nodul gateway va stoca noua versiune de program pe SD card. În cazul în care condiţia de versiune nu va fi îndeplinită nodul gateway va aştepta următorul ciclu de 30 secunde.(vezi Figura 3.8)

3.2.3. Descriere serviciului BLE de actualizare fără fir

Serviciul BLE folosit în această lucrare nu este un serviciu standardizat, este un serviciu specific acestui concept de actualizare fără fir, care are identificatori unici universali pe 16 biţi. Identificatorul unic universal folosit pentru serviciul de actualizare fără fir este 0xF000 şi are

18 JSON este un acronim în limba engleză pentru *JavaScript Object Notation*, şi este un format de reprezentare şi interschimb de date între aplicaţii informatice. Este un format text, inteligibil pentru oameni, utilizat pentru reprezentarea obiectelor şi a altor structuri de date şi este folosit în special pentru a transmite date structurate prin reţea, procesul purtând numele de serializare.

următoarele atribute:

- versiunea curentă de program, identificator universal unic:0xF100, permisiuni: citire - acestă caracteristică conţine versiune de program pe care o rulează dispozitivul la momentul actual
- blocul de date, identificator universal unic:0xF200, permisiuni: scriere – această caracteristică este folosită pentru a stoca blocurile de date recepţionate de la nodul gateway în timpul actualizării fără fir, urmând să fie scrise în memoria flash a dispozitivului. Acestă caracteristică are un descriptor:
  - starea blocului de date, identificator universal unic:0xF201, permisiuni: citire şi scriere – în acest descriptor se salvează starea blocului de date recepţionat şi poate avea următoarele valori: 0x00 - *BLOCK_STATUS_NOT_INIT* – blocul de date nu este folosit, 0x01 – *BLOCK_STATUS_INPROGRESS* – procesul de actualizare este în progres, 0x02 – *BLOCK_STATUS_ALLFLASHED* – o imagine de program nouă a fost complet recepţionată, 0x03 – *BLOCK_STATUS_FLASHED_APROVED* – această valoare este scrisă de nodul gateway dacă imaginea a fost transferată cu succes, 0x04 - *BLOCK_STATUS_FLASHED_NOTAPROVED* – imaginea transferată de nodul gateway nu este completă
- dispozitiv pregătit, identificator universal unic:0xF300, permisiuni: citire – această caracteristică menţine informaţia dacă dispozitivul este pregătit pentru startarea procesului de actualizare
- dimensiunea de fişiere aşteptată, identificator universal unic:0xF400, permisiuni: scriere – caracteristică care conţine dimensiunea noului program pe care dispozitivul urmează sa îl recepţioneze.

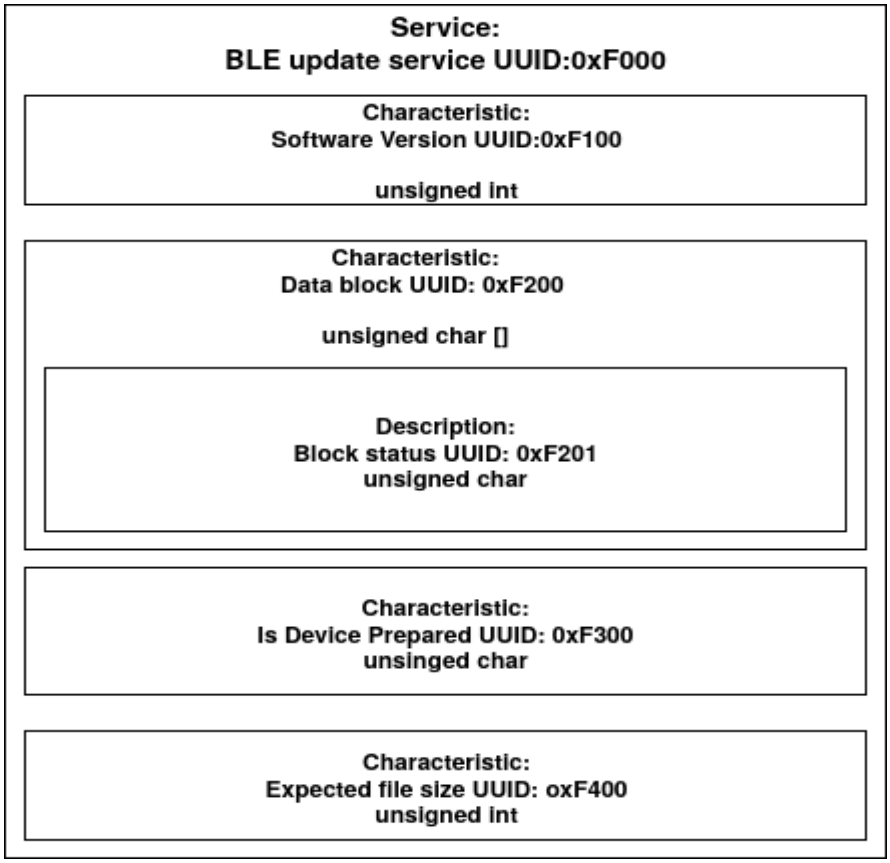


Figura 3.7: Serviciul de actualizare fără fir

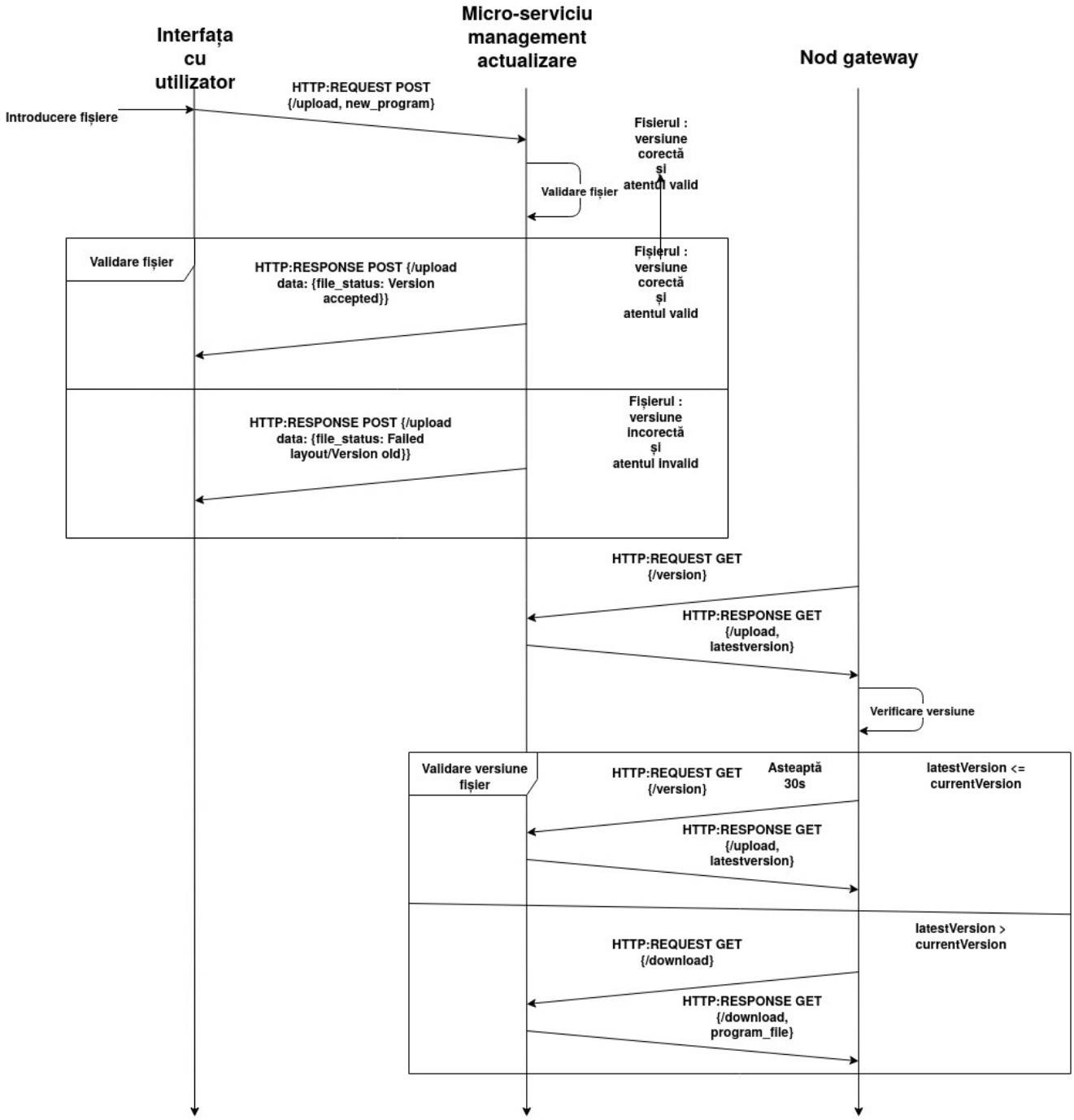


Figura 3.8: Lanțul de comunicare Interfață utilizator - micro-serviciu - nod gateway

3.2.4. Descrierea comunicării nod gateway – nod rețea

Comunicarea nod gateway – noduri rețea se realizează prin stiva de BLE, și folosește serviciul de actualizare descris în capitolul 3.2.4, pentru această comunicarea aplicația de actualizarea se va interfața cu 2 componente din stiva BLE: protocolul de atribute generic și protocolul de acces generic. Astfel conform protocolului de atribute generic (abr GATT), nodul gateway va devine nod client și nodurile din rețea vor deveni servere, iar conform protocolului de acces generic(abr.GAP) nodul gateway va deveni nod central și nodurile din rețea vor deveni

noduri periferice (vezi mai multe 2.2.1).Comunicaţia între nodul gateway – nodurile periferice este compusă din 2 secvenţe: secvenţa de descoperire şi secvenţa de actualizare. Secvenţa de descoperire foloseşte protocolul de acces generic şi este compusă din următorii paşi(vezi Figura 3.9):

1. La startare, nodurile periferice vor începe difuzia la pachete de publicitate, iar nodul central va starta scanarea pentru a recepţiona pachetele de publicitate pentru 5 secunde.
2. Nodul central va verifica pachetele de publicitate dacă au formatul aşteptat caz în care va înregistra dispozitivul în lista dispozitivelor de încredere.
3. La finalul scanării dacă lista de dispozitive de încredere nu este goală atunci nodul central va starta procesul de actualizare. În cazul în care lista de dispozitive este goala nodul central va restarta procesul de scanare.

Secvenţa de actualizare foloseşte protocolul de atribute generice şi conţine următorii paşi(vezi Figura 3.9):

1. Nodul gateway care este client, creează o conexiune cu primul nod din lista dispozitivelor de încredere creată în secvenţa de descoperire care se va comporta ca un server.
2. Nodul gateway va trimite o cerere de citire pentru caracteristica cu identificatorul unic universal 0xF100, serverul va răspunde cu versiunea de program care rulează pe nod, nodul central va verifica dacă versiunea este mai veche ca versiunea de program pe care o are stocat pe SD card. În cazul în care versiunea este mai veche se va continua cu pasul 3, în caz contrar nodul central va şterge dispozitivul din lista dispozitivelor de încredere şi va continua cu pasul 1.
3. Nodul gateway va trimite o cerere de citire pentru caracteristica cu identificatorul unic universal 0xF300, serverul va răspunde dacă este pregătit pentru acceptarea unei noi imagini de program, dacă serverul răspunde ca nu este pregătit se va aştepta 5 secunde după care se va repeta cererea, dacă după 3 încercări serverul nu este pregătit, clientul va trece forţat la pasul 4.
4. Nodul gateway va trimite o cerere de scriere pentru caracteristica cu identificatorul unic universal 0xF400 cu dimensiunea imaginii care urmează să fie transferată către server.
5. Nodul gateway va trimite o cerere de scriere pentru caracteristica cu identificatorul unic universal 0xF200 care va conţine următorul bloc 500 de octeţi din noua imagine.
6. Nodul gateway va trimite o cerere de citire pentru descriptor cu identificatorul unic universal 0xF201, serverul poate răspunde cu următoare valori:
   1. 0x01 – *BLOCK_STATUS_INPROGRESS* se va merge la pasul 5
   2. 0x02 – *BLOCK_STATUS_ALLFLASHED* se va merge la pasul 7
7. Nodul gateway va verifica dacă a transferat imaginea de program în întregime, dacă imaginea a fost transferată complet va face o cerere de scriere pentru descriptorul 0xF201 cu valoarea 0x03 – *BLOCK_STATUS_FLASHED_APROVED* caz în care serverul va schimba partiţia pe care o va starta programul de iniţializare, se va deconecta de la client şi va restarta dispozitivul, în caz că imaginea nu a fost transferată în întregime clientul va face o cerere de scriere pentru descriptorul 0xF201 cu valoarea 0x04 – *BLOCK_STATUS_FLASHED_NOTAPROVED* serverul se va deconecta de la client. În ambele cazuri nodul gateway va şterge dispozitivul din lista dispozitivelor de încredere şi va continua cu cu pasul 1.

3.2.5. Descriere organizare memorie flash pentru nodurile din reţea

O condiţie importantă pentru actualizarea fără fir este ca dispozitivul trebuie să fie capabil să menţină în memoria flash 2 imagini de program, astfel la startarea programul iniţial va decide care din aceste 2 programe va fi rulat de către dispozitiv. Acest lucru este valabil şi

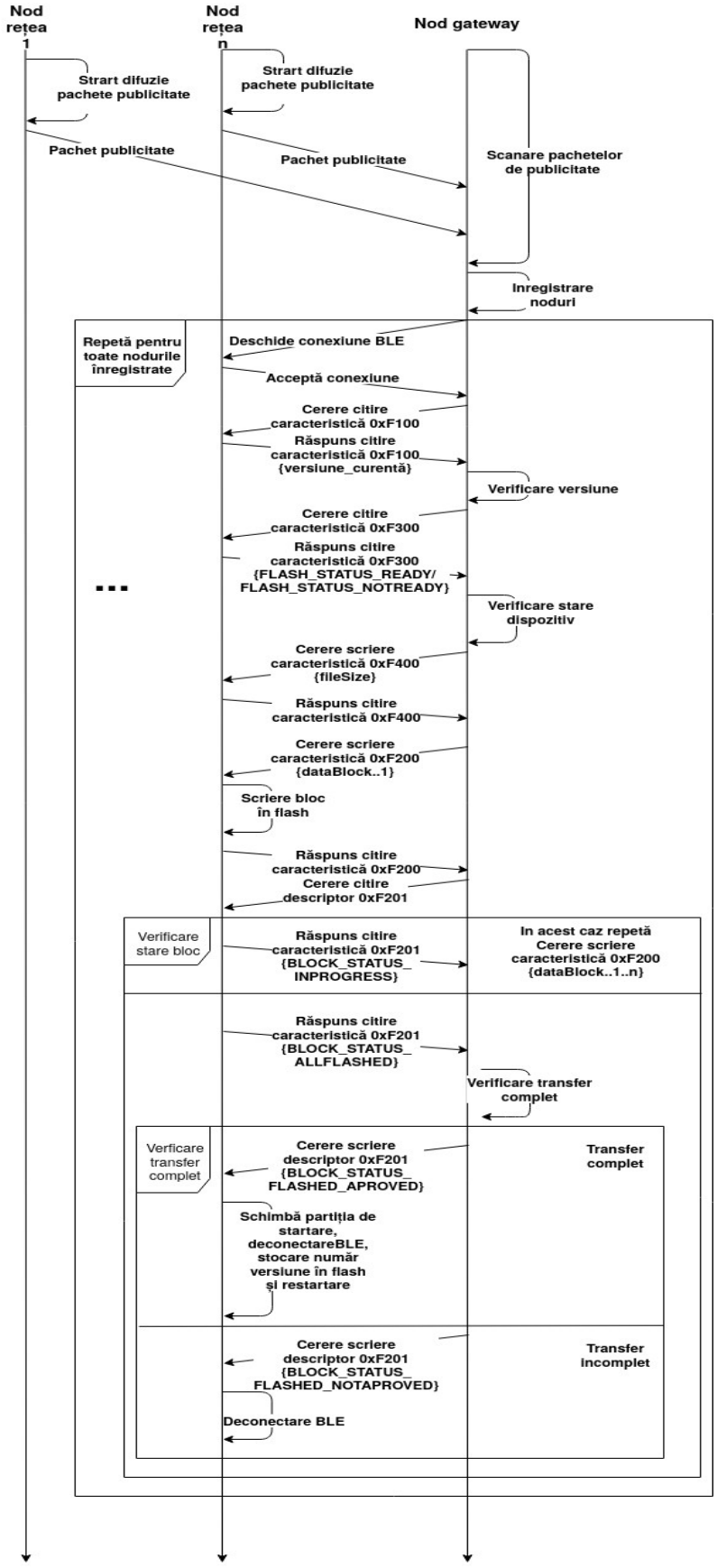


Figura 3.9: Comunicarea proces de actualizare nod gateway - nod rețea

pentru soluția propusă în această lucrare, în această lucrare se folosește startarea într-un singur nivel (vezi mai multe detalii capitolul 2.2.1). Memoria flash pentru nodurile din rețea are următoarea organizare:

- memoria flash non-volatilă - vor fi salvate datele pentru care trebuie asigurată persistență de către aplicațiile care rulează pe dispozitiv,blocul de memorie are adresa de start 0x9000 și dimensiunea 0x6000
- memoria flash de init – sunt stocate datele care le folosește programul de inițializare pentru a configura platforma hardware, blocul de memorie are adresa de start 0xf000 și dimensiunea 0x1000
- memoria flash folosită pentru a stoca informațiile despre partițiile de program și care din partiții trebuie încărcată de către programul de inițializare, blocul de memorie are adresa de start 0x210000 și dimensiunea 0x2000
- memoria flash pentru partiția 1 – menține codul programului, blocul de memorie are adresa de start 0x10000 și dimensiunea 0x100000
- memoria flash pentru partiția 2 – menține codul programului, blocul de memorie are adresa de start 0x110000 și dimensiunea 0x100000

Formatul fișierul care configurează memoria flash:

```
# Name,   Type, SubType, Offset,  Size
# Note: if you change the phy_init or app partition offset, make sure to change the offset in
Kconfig.projbuild
nvs,      data, nvs,     0x9000,   0x6000
phy_init, data, phy,     0xf000,   0x1000
ota_0,    app,  ota_0,   0x10000,  0x100000
ota_1,    app,  ota_1,   0x110000, 0x100000
otadata,  data, ota,     0x210000, 0x2000
```

3.3. Proiectarea aplicațiilor software pentru nodul gateway și nodurile din rețea

Soluția de actualizare fără fir a fost implementată în limbajul de programare C++, astfel a fost nevoie de crearea unor clase de adaptare pentru interfețele propuse de ESP SDK care folosește limbajul de programare C. Nodul gateway și nodurile din rețea împart o parte comună a arhitecturii software deoarece folosesc câteva componente comune(vezi mai multe Figura 3.10):

- ESP SDK este partea ce mai importantă din arhitectură, este un pachet de utilități și API-uri la nivel de dispozitiv pentru seriile noastre de chipset-uri fără fir ESP32. Bibliotecile precompilate optimizate și bibliotecile de drivere gata de compilat reduc timpul de introducere pe piață, asigurând în același timp libertatea de personalizare. SDK-urile se compun cu instrumentul Xtensa GCC gratuit de utilizat. Acest SDK folosește sistemu de operare FreeRTOS[19] care este configurat pentru platforma ESP32.
- Clasa de adaptare pentru BLE(*BleAdater*) abstractizează controlul perifericului modului radio astfel oferă interfețe pentru inițializarea și configurarea modulului de BLE.
- Clasa de adaptare pentru protocolul de adaptare de acces generic(*GAPAdapter*) oferă interfețe pentru startarea difuziei a pachetelor de publicitate în cazul nodurilor periferice și startarea scanării în cazul nodurilor centrale.
- Modulul de adaptare pentru protocolul de atribute generice(*GATTAdapter*) este construit dintr-un set de clase care implementează un serviciu specific BLE, un client BLE și un

19 FreeRTOS este un sistem de operare pentru dispozitive încorporate care a fost portat pentru 35 de microcontrolere, este distribuit sub licența de MIT

server BLE și oferă posibilitatea de recepție și transmitere a de cereri și răspunsuri conform specificațiilor standardului BLE. Această modul de adaptare folosește un set de clase cele mai de interes clase sunt:

- Clasa de serviciu generic BLE (*GattService*) care este generică și permite configurarea logică de caracteristici și descriptori.
- Clasa server pentru protocolul de atribute generice(*GattServer*) care permite configurare stivei BLE în modul nod server și oferă interfețe pentru realizarea operațiilor specifice unui nod server(vezi capitolul 2.2.1)
- Clasa client pentru protocolul de atribute generice(*GattClient*) care permite configurare stivei BLE în modul nod client și oferă interfețe pentru realizarea operațiilor specifice unui nod client(vezi capitolul 2.2.1)
- Clasa de serviciu client (*GattServiceClient*) care extinde clasa de serviciu generic și folosește o instanță de clasă client, astfel îmbină conceptul de client și serviciu generic BLE.
- Clasa de serviciu server (*GattServiceServer*) care extinde clasa de serviciu generic și folosește o instanță de clasă server, astfel îmbină conceptul de server și serviciu generic BLE.

- Clasa de adaptare pentru acces la memoria non-volatilă(*NvsAdapter)* – oferă interfețe pentru accesul la memoria non-volatilă.
- Clasa de control al ecranului OLED care permite actualizarea datelor afișate pe ecran, această clasă folosește o clasă de adaptare pentru protocolul de comunicare I2C.

Module specifice nodului gateway:

- Clasa de SD card (*SdcardAdapter*) oferă posibilitatea de creare, citire,ștergere, modificare a fișierele de pe modulul SdCard.
- Clasa de acces la WiFi(*WifiAdapter*) permite conectarea dispozitivului la o rețea fără fir de tip Wifi.
- Clasa de protocolului HTTP(*HttpAdater*) reprezintă un client HTTP care permite creare și transmiterea de cereri de tip *HTTP_POST, HTTP_GET, HTTP_DELETE, HTTP_UPDATE* și recepția răspunsurilor pentru aceste cereri.
- Clasa de aplicație(*SWL_Gateway*) reprezintă partea de logică a aplicației și folosește clasele descrise mai sus pentru configurarea platformei hardware și realizarea procesului de actualizare, această clasă folosește 2 clase ajutătoare:
  - Clasa de actualizare fișier(*UpdateFileApp*) care este responsabilă pentru verificarea dacă micro-serviciul conține o nouă versiune de imagine de program, recepționarea și salvarea noii imagini de program pe SD card dacă este cazul.
  - Clasa de manager de dispozitive (*FlashDeviceManager*) este responsabilă pentru înregistrarea de dispozitive în lista dispozitivelor de încredere, crearea de conexiune și realizarea procesului de actualizare pentru dispozitivele respectivele. La rândul său acesta folosește o clasă dispozitiv(*FlashDevice*) care conține informații despre dispozitivele care urmează să fie actualizare și automatul cu stări pentru procesul de actualizare.

Module specifice noduri rețea:

Clasa de actualizare(*OtaAdapter*) conține informații despre partițiile care conțin codul de program, care partiție este partiția de pe care se rulează codul și pe care partiție urmează să fie scris noua imagine de program, de asemenea oferă interfețele pentru a scrie noua imagine în partiția inactivă.

Clasa de aplicație (*SWLoad*) folosește clasele de descrise mai sus pentru a configura serverul pentru protocolul de atribute generice, și conține o clasă care conține starea

dispozitivului şi logica cum va avea loc actualizarea fără fir.

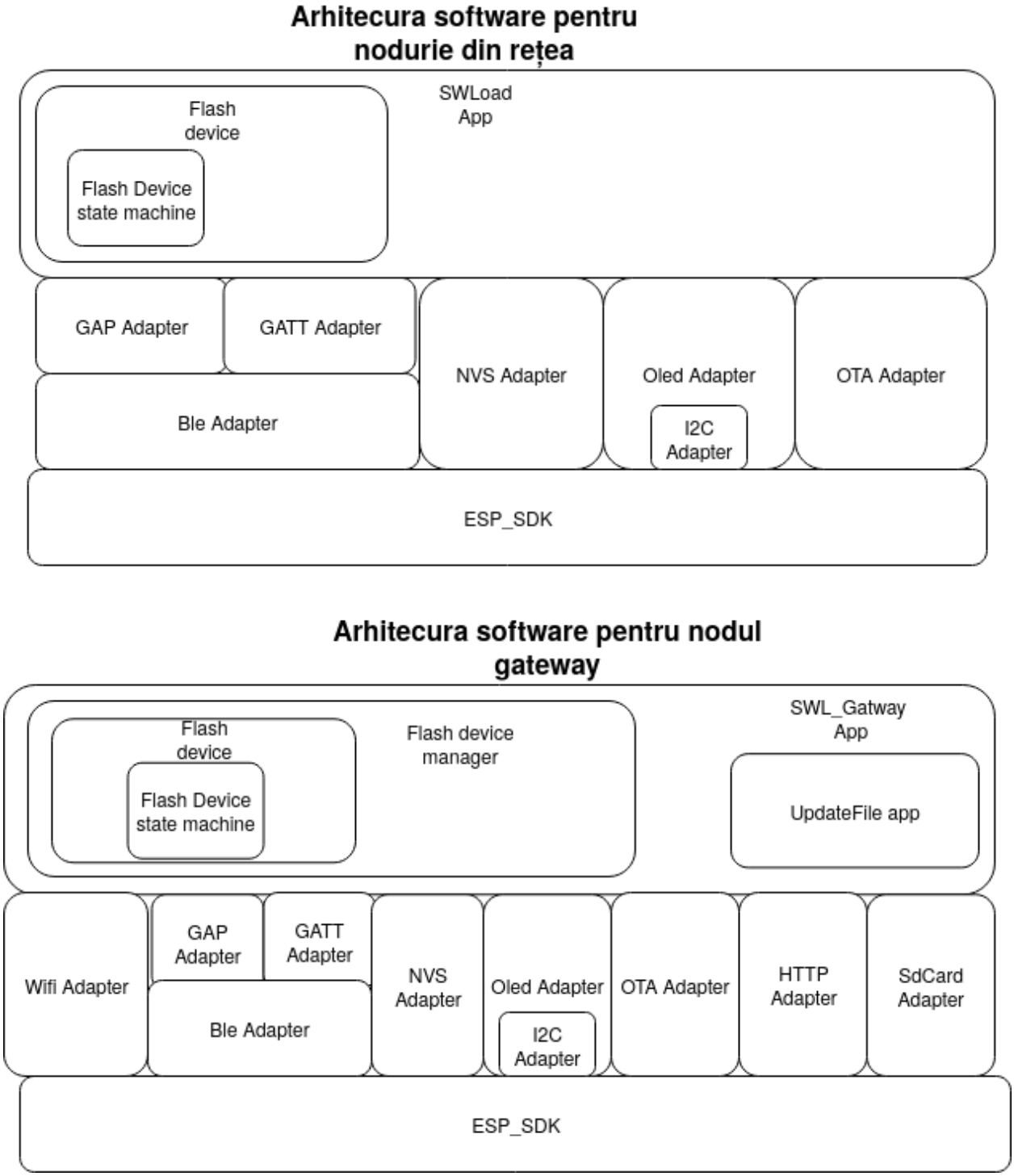


Figura 3.10: Digramele bloc cu componentele software

Capitolul 4. Implementare

4.1. Implementarea interfeţei utilizator

Implementarea aplicaţie de interfaţă cu utilizatorul este realizată în platforma Angular, astfel sa creat o componentă Angular care conţine un câmp în care se poate introduce fişierul de program, 2 câmpuri care vor afişa dimensiunea fişierului şi versiunea de program, un buton care va trimite imaginea la micro-serviciu şi un câmp care va indica dacă micro-serviciul a acceptat fişierul.

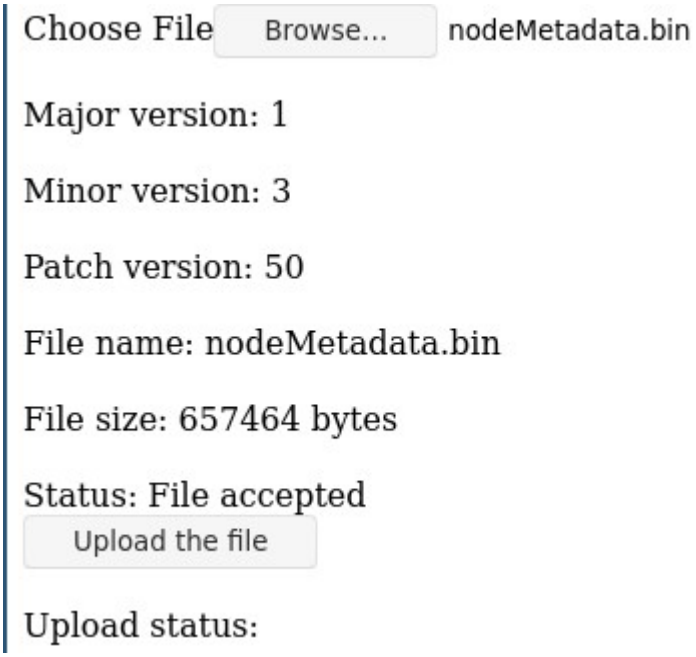


Figura 4.1: Interfaţa cu utilizatorul

Interfaţa a fost creată în HTML şi funcţionalitatea a fost realizată în Typescript.

```
<form>
  <div><div><div class="form-group">
          <label for="file">Choose File</label>
          <input type="file"
            id="file"
            (change)="handleFileInput($event.target.files)">
        </div><br>
        <label>Major version: </label><label>{{majorVersion}}</label><br><br>
        <label>Minor version: </label><label>{{minorVersion}}</label><br><br>
        <label>Patch version: </label><label>{{patchVersion}}</label><br><br>
        <label>File name: </label><label>{{fileName}}</label><br><br>
        <label>File size: </label><label>{{fileSize}}</label><br><br>
        <label>Status: </label><label>{{status}}</label></div>
    <button type="button" (click)="UploadFile()"
[disabled]="fileToUpload==null">Upload the file</button><br><br>
    <label>Upload status: </label> <label>{{uploadStatus}}</label>
  </div>
</form>
```

Codul pentru introducere noului fişier

```
handleFileInput(fileBin:File)
{
 let fr = new FileReader()
 console.log(fileBin)
 if(fileBin.size != 1)
 {
  this.fileName = fileBin[0].name
  this.fileSize = fileBin[0].size + ' bytes'
  this.status = 'File accepted'
  fr.onload = () =>
  {
   var metadata = new Uint8Array(<ArrayBuffer>fr.result, 0, 8);
   console.log(metadata)
   if(metadata[0] == this.layoutFormat &&
    metadata[1] == this.layoutFormat &&
    metadata[2] == this.layoutFormat &&
    metadata[3] == this.layoutFormat)
    {
     this.majorVersion = String(metadata[4])
     this.minorVersion = String(metadata[5]<<8 | metadata[6])
     this.patchVersion = String(metadata[7])
     this.fileToUpload = fileBin[0]
    }
    else
    {
     this.status = 'Incorrect layout of the image'
    }
  }
  fr.readAsArrayBuffer(fileBin[0])
 }
 else
 {
  this.status = 'Only one file should be selected'
 }
}
```

Codul pentru transferarea fişierului cu imaginea de program către micro-serviciu:

```
 UploadFile()
 { const endPoint = 'http://192.168.100.2:8000/upload/'
  const formData: FormData = new FormData()
  formData.append('NewFile', this.fileToUpload, this.fileToUpload.name);
  return this.http.post(endPoint,this.fileToUpload).subscribe(data =>{
   this.uploadStatus = data["file_status"]
   this.fileToUpload = null;},
  error=>{
   this.uploadStatus = "Request failed"
   this.fileToUpload = null;})}
```

4.2. Implementarea micro-serviciului de management a fişierelor de program

Micro-serviciul oferă 3 interfeţe de comunicare:

- */upload* – este folosit de interfaţa cu utilizatorul pentru a încărca un nouă imagine de program

```
@app.route("/upload/", methods=['POST'])
def uploadFile ():
    data = request.stream.read()
    file_status = ""
    if (data[0] == layoutFormat) and (data[1] == layoutFormat) and (data[2] == layoutFormat)
and (data[3] == layoutFormat):
        print ("Layout accepted")
        version = (data[4] << 24) | (data[5] << 16) | (data[6] << 8)  | data[7]
        with open("severState.json", 'r') as file:
            serverState = json.load(file)
        if(serverState["latestVersion"] < version):
            print("Version accepted")
            with(open(str(version) + ".bin", 'wb')) as latest:
                latest.write(data[8:])
            file_status = "Version accepted"
            serverState["latestVersion"] = version
            with open("severState.json", 'w') as file:
                json.dump(serverState, file)
        else:
            file_status = "Version old"
            print("Version is too old")
    else:
        print ("Layout failed")
        file_status = "Failed layout"
    return jsonify(file_status = file_status)
```

- */version* – returnează versiunea de program la care sistemul trebuie să fie actualizat

```
@app.route("/version/")
def getLatestVersion ():
    with open("severState.json", 'r') as file:
            serverState = json.load(file)
    resp = Response(str(serverState["latestVersion"]))
    resp.headers['type'] = 'version'
    return resp
```

- */download* – returnează fişierul cu imagine de program

```
@app.route("/download/")
def downloadFile ():
    with open("severState.json", 'r') as file:
        serverState = json.load(file)
    path = str(serverState["latestVersion"]) + ".bin"
    return send_file(path, as_attachment=True)
```

4.3. Implementarea aplicaţiilor pentru nodul gateway şi pentru nodurile din reţea.

4.3.1. Şabloane de programare folosite

Implementarea aplicaţiilor foloseşte 3 şabloane de programare:

- Şablonul creaţional *Singleton* – acest şablon de programare restricţionează creare de instanţe de clase şi asigură ca o singură instanţă de clasă a fost creata, acest şablon a fost folosit pentru clasele care abstractizează resursele unice ale platformei hardware, astfel se poate face managementul de acces la resursă(ex. Clase: NvsAdapter, BleAdapter, WifiAdapter, HttpClient).
- Şablonul structural *Adaptor* – acest şablon de programarea realizează conversia unei interfeţe într-o altă interfaţă, acest lucru are loc când interfeţele pe care le foloseşte o aplicaţiei sunt diferite de interfeţele oferite de sistem.
- Şablonul comportamental *Observator* – acest şablon este folosit când o abstracţie are 2 aspecte, încapsulând aceste aspecte în obiecte diferite permite reutilizarea lor în mod independent, când un obiect necesită schimbarea altor obiecte şi nu ştie cât de multe trebuie schimbate,când un obiect ar trebui sa notifice pe altele, fără să ştie cine sunt acestea.

Un exemplu unde au fost aplicate toate 3 şabloane de programare este clasa *„GattServer”* care implementează serverul protocolului de atribute generice:

- Şablonul *Singleton* este folosit deoarece un server pentru protocolul de atribute generice este unic pe dispozitiv, această instanţă de server poate fi folosită de mai multe aplicaţii care au nevoie de un server, în acest obiect are loc sincronizarea accesului concurent la server. Implementarea foloseşte o instanţă statică a clasei server, este folosită această abordare deoarece nu se doreşte alocarea dinamică a obiectului, şi o metodă statică care va returna o referinţă la obiectul static.

```
static GattServer gattServer;
GattServer& GattServer::getInstance(void)
{
        if(gattsEventHandler == NULL)
        {
                gattsEventHandler = &gatts_callback;
        }
        return GattServer::gattServer;
}
```

- Şablonul *Adaptor* este folosit pentru încapsularea interfeţelor oferite de mediul de dezvoltare a platformei ESP în clase specifice, astfel se pot proiecta aplicaţiile în paradigma orientată pe obiect. Un exemplu este funcţia care startează un serviciu în serverul protocolului de atribute generice:

```
esp_err_t GattServer::StartService(uint16_t service_handle){
        esp_err_t ret = esp_ble_gatts_start_service(service_handle);
        if(ret != ESP_OK){
                ESP_LOGI(GATT_SERVICE_NAME,"Service can't be started. Failed with
error: %d", ret);
        }
        return ret;
}
```

- Şablonul *Observator* este folosit deoarece serverul protocolului de atribute generice este independent de logica de aplicaţie, astfel dacă o aplicaţie doreşte să folosească datele pe care serverul le obţine din reţea trebuie să se înregistreze ca un observator la server şi serverul va notifica aplicaţia la recepţionarea datelor.

Codul clasei „GattServer”:

```
extern etl::ifunction<GattsEventInfo>* gattsEventHandler;
namespace BLE
{

typedef etl::observer<GattsEventInfo> Gatts_Observer;
 class GattServer:public etl::observable<Gatts_Observer, GATTS_MAX_OBSERVERS>
 {
        public:
         BleAdapter& bleAdapter = BleAdapter::getInstance();
         static GattServer gattServer;
         GattServer();
         esp_err_t Init(void);
         ~GattServer();
        void RegisterApp(uint16_t appId);
        esp_err_t OpenConnection(esp_gatt_if_t gatts_if, esp_bd_addr_t remote_bda, bool
is_direct);
        esp_err_t RegisterService(esp_gatt_if_t gatts_if,GattService *service);
        esp_err_t SendResponse(esp_gatt_if_t gatts_if, uint16_t conn_id, uint32_t trans_id,
              esp_gatt_status_t status, esp_gatt_rsp_t *rsp);
        esp_err_t StartService(uint16_t service_handle);
        esp_err_t SendIndication(esp_gatt_if_t gatts_if, uint16_t conn_id, uint16_t
attr_handle,
                    uint16_t value_len, uint8_t *value, bool need_confirm);
        esp_err_t AddCharDescr(uint16_t service_handle,
                    esp_bt_uuid_t   *descr_uuid,
                    esp_gatt_perm_t perm, esp_attr_value_t *char_descr_val,
                    esp_attr_control_t *control);
        esp_err_t AddChar(uint16_t service_handle,  esp_bt_uuid_t  *char_uuid,
              esp_gatt_perm_t perm, esp_gatt_char_prop_t property, esp_attr_value_t
*char_val,
              esp_attr_control_t *control);
        void gattsCallback(GattsEventInfo info);
        static GattServer& getInstance(void);
 };
}
```

4.3.2. Implementarea automatelor cu stări finite pentru procesul de actualizare

Implementarea procesului de actualizare fără fir implică câte un automat cu stări finite pentru nodul gateway cât şi pentru nodurile din reţea. Automatul cu stări a nodului gateway este alcătuit din următoarele stări:

- Deconectat – această stare semnifică că dispozitivul care urmează să fie actualizat a fost înregistrat în lista de încredere, însă clientul protocolului de atribute de pe nodul gateway

nu s-a conectat.
- Conectat – clientul protocolului de atribute de pe nodul gateway s-a conectat la nodul din reţea.
- Serviciu descoperit – nodul gateway a reuşit să valideze serviciul de pe nodul din reţea pe care urmează să-l actualizeze.
- Versiune recepţionată – nodul gateway a recepţionat o versiune validă de la nodul din reţea.
- Transfer blocuri date – nodul gateway a început transferul blocurilor de date către nodul din reţea cu noua versiune de program.
- Actualizare completă – nodul gateway a transmis fişierul complet către nodul din reţea.
- Şterge conexiunea – nodul gateway setează flagul ca nodul să fie şters din lista dispozitivelor de încrede de către managerul de dispozitive.

Acest automat de stări acceptă următoarele evenimente:
- Conexiune - se generează când clientul protocolului de atribute de pe nodul gateway a reuşit conexiune la nodul din reţea.
- Serviciu descoperit – se generează când nodul gateway validează că serverul are un serviciu de BLE care are formatul corect pentru a putea starta procesul de actualizare fără fir.
- Recepţionare versiune – se generează când clientul a recepţionat răspunsul la cererea de versiune.
- Dispozitiv nepregătit – se generează când nodul din reţea răspunde că nu se află într-o stare sigură pentru startarea procesului de actualizare.
- Dispozitiv pregătit – se generează când nodul din reţea răspunde se află într-o stare sigură pentru startarea procesului de actualizare.
- Versiune prezentă – se generează când nodul care se doreşte actualizat are deja cea mai nouă versiune de program.
- Următorul bloc – se generează când nodul client anunţă că este pregătit pentru recepţionarea următorului bloc de date din fişierul cu noua imagine de program.
- Fişier complet – se generează când nodul gateway a transferat întregul fişier.
- Dispozitiv acceptat fişier – se generează când nodul din reţea răspunde dacă consideră că a recepţionat un fişier integru şi valid.
- Timp expirat – se generează când răspunsul la o cererea al clientului durează prea mult.

Un automat cu stări finite a fost implementat de asemenea şi pentru nodul din reţea care are următoarele stări:
- Deconectat – serverul nu are nici un client conectat.
- Conectat – un client pentru protocolul de atribute generice s-a conectat la server.
- Recepţionare fişier – nodul din reţea recepţionează blocurile pe care nodul gateway le transmite.

Automatul de stări finite a nodurilor din reţea acceptă următoarele evenimente:
- Conexiune – se generează când un client al protocolului de atribute generice se conectează la server.
- Startare actualizare – se generează când nodul gateway transferă primul bloc de date din noul program.
- Recepţionare bloc – se generează când nodul din reţea recepţionează un nou bloc consecutiv din noul program.
- Acceptare fişier – se generează când noul program a fost recepţionat integral de la nodul gateway.
- Decontare – clientul s-a deconectat de la server.

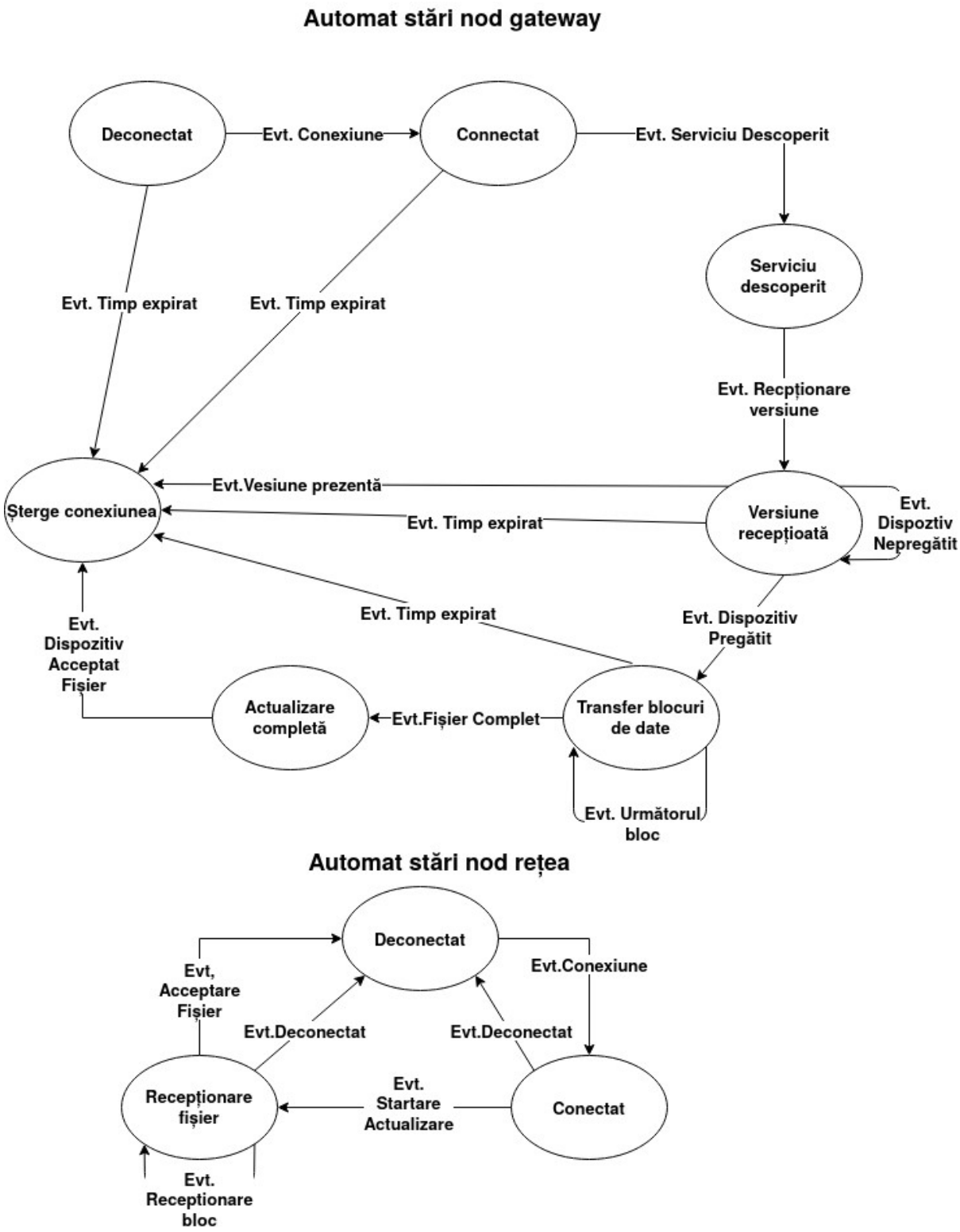


Figura 4.1: Automate stări pentru procesul de actualizare

Fiecare stare este implementată într-o clasă care este caracterizată printr-un identificator numeric şi prin evenimentele pe care pe care le acceptă, astfel pentru fiecare eveniment acceptat de către stare se supra încarcă o metodă care primește ca parametru evenimentul respectiv. Evenimentele de asemenea sunt implementate într-o clasă, ca şi în cazul stărilor evenimentele

sunt caracterizate printr-un identificator numeric, clasele specifice evenimentelor pot conține și câmpuri cu informații suplimentare despre eveniment.
Exemplu de cod pentru o clasă stare:

```
class SendBlockState : public etl::fsm_state<FlashDevice,
SendBlockState, StateId::SEND_BLOCK,
NextBlockEvt,TimeoutEvt,DeleteEvt,
CheckBlockStatusEvt,
FlashedCompleteEvt>{
   public:
   //***********************************
   fsm_state_id_t on_event(etl::imessage_router& sender, const NextBlockEvt& event);
   fsm_state_id_t on_event(etl::imessage_router& sender, const TimeoutEvt& event);
   fsm_state_id_t on_event(etl::imessage_router& sender, const CheckBlockStatusEvt& event);
   fsm_state_id_t on_event(etl::imessage_router& sender, const DeleteEvt& event);
   fsm_state_id_t on_event(etl::imessage_router& sender, const FlashedCompleteEvt& event);
   //***********************************
   fsm_state_id_t on_event_unknown(etl::imessage_router& sender, const etl::imessage& event);
};
```

Exemplu de cod pentru o clasă eveniment:

```
class VersionRespEvt : public message<EventId::VERSION_RESP>
   {
      public:
         uint32_t version;
         VersionRespEvt(uint32_t version):
         version(version){}
   };
```

Exemplu cod pentru implementarea unei metode de recepționare eveniment:

```
fsm_state_id_t SendBlockState::on_event(etl::imessage_router& sender, const
NextBlockEvt& event)
{
  FlashDevice &dev = this->get_fsm_context();
  dev.SendBlock();
  return StateId::SEND_BLOCK;
}
```

4.3.3. Implementarea aplicațiilor

Implementarea aplicațiilor de actualizare pe platforma ESP32 folosește o bibliotecă de șabloane pentru sisteme încorporate[20] care este o reimplementare a bibliotecii de șabloane standard prezentă în C++. Biblioteca de șabloane standard oferită de C++ folosește alocarea dinamică a memoriei care poate deveni o problemă pentru sistemele încorporate din cauza fragmentării de memorie, astfel această bibliotecă de șabloane pentru sisteme încorporate oferă colecțiile specifice bibliotecii de șabloane standard însă aceste colecții folosesc alocare statică de memorie un exemplu de declarare vector este lista dispozitivelor de încredere:

```
#define MAX_BLE_DEVICES 5u
etl::vector<FlashDevice, MAX_BLE_DEVICES> listOfDevice;
```

20 https://www.etlcpp.com/

La startarea platformei ESP32 au loc următorii pași:

1. Se creează clasele care abstractizează resursele hardware care urmează să fie folosite de aplicații.

```
#define SWL_APP 0x0001u
#define PIN_NUM_MISO UINT8_C(2)
#define PIN_NUM_MOSI UINT8_C(15)
#define PIN_NUM_CLK  UINT8_C(14)
#define PIN_NUM_CS   UINT8_C(13)
#define PIN_NUM_I2C_SDA UINT8_C(18)
#define PIN_NUM_I2C_SCL UINT8_C(19)
// Init global classes
OLED oled((gpio_num_t)PIN_NUM_I2C_SCL,
(gpio_num_t)PIN_NUM_I2C_SDA,SSD1306_128x64);
SWL_OLED::SwlOled swlOled(oled);
SDCARD::SdCard sdcard((gpio_num_t)PIN_NUM_CS,(gpio_num_t)PIN_NUM_CLK,
(gpio_num_t)PIN_NUM_MOSI,(gpio_num_t)PIN_NUM_MISO);
VersionManager versMng;
UpdateFileApp updateFile(sdcard,versMng,swlOled);
SWL_GATEWAY::SwlGateway swlApp(SWL_APP,sdcard,updateFile,versMng,swlOled); //
@suppress("Abstract class cannot be instantiated")
```

2. Se creează obiectele aplicație, fiecare aplicație este abstractizată printr-un obiect care oferă o interfață care este folosită pentru a inițializa aplicația și o interfață care este apelată într-o funcție ciclică.
3. Se configurează sistemul de operare să apeleze ciclic o funcție sau mai multe la diferite intervale de timp.

```
swlApp.Init();
   if( xTaskCreate(
              vTaskCode_10ms,      // Function that implements the task.
              "Task_10ms",         // Text name for the task.
              STACK_SIZE,       // Stack size in bytes, not words.
              ( void * ) NULL,    // Parameter passed into the task.
                                          1,// Priority at which the task is created.
              &xHandle_10ms ) != pdPASS  // Variable to hold the task's data structure.
){
        ESP_LOGE("main","Task was not created correctly");
        esp_restart();}
     if( xTaskCreate(vTaskCode_100ms,      // Function that implements the task.
              "Task_100ms",         // Text name for the task.
              STACK_SIZE,       // Stack size in bytes, not words.
              ( void * ) NULL,    // Parameter passed into the task.
                                          1,// Priority at which the task is created.
              &xHandle_100ms ) != pdPASS  // Variable to hold the task's data structure.
){
        ESP_LOGE("main","Task was not created correctly");
        esp_restart();}
```

4. În funcția ciclică se vor apela interfețele oferite de obiectele care abstractizează resursele

hardware și interfețele oferite de obiectele aplicație.

```
// Function that implements the task being created.
extern "C" void vTaskCode_100ms( void * pvParameters )
{
        TickType_t xLastWakeTime;
        xLastWakeTime = xTaskGetTickCount ();
        uint32_t free_heap = 0;
   while(1)
   {
        vTaskDelayUntil(&xLastWakeTime, TASK_CYCLE_100ms/portTICK_PERIOD_MS );
        free_heap = esp_get_free_heap_size();
      swlApp.TaskMain_100ms();
        if(free_heap <1024)
        {
              ESP_LOGE("main","low memory %d", free_heap);
        }
   }
}
```

Clasa pentru aplicația de actualizare fără fir pentru nodul gateway:

```
namespace SWL_GATEWAY{
      class SwlGateway:public Gap_Observer,public Http_Observer, public Gattc_Observer{
      private:
            bool isScanningRunning = false;
            bool isFlashingInProgress = false;
            void processScanData(esp_ble_gap_cb_param_t *param);
            void processRawData(uint8_t *data, uint8_t len,  FlashDevice *flashDev);
            void buildManufactureDataBuffer(uint8_t *data, uint8_t &len);
            void triggerConnetion(void);
      public:
            uint16_t appId;
            SdCard &sd;
            UpdateFileApp& updateFileApp;
            VersionManager &vers;
            SWL_OLED::SwlOled &swlOled;
            GapAdapter &gapAdapter = GapAdapter::getInstance();
            GattClient &gattc = GattClient::getInstance();
            WifiAdapter  &wifiAdapter = WifiAdapter::getInstance();
            FlashDeviceManager flashDeviceManager;
            int16_t gattc_if = 0;
            SwlGateway(uint16_t appId,SdCard &sd,UpdateFileApp&
updateFileApp,VersionManager &vers,SWL_OLED::SwlOled &swlOled);
            ~SwlGateway();
            void Init(void);
            void notification(GapEventInfo info);
            void notification(GattcEventInfo info);
            void notification(esp_http_client_event_t * evt);
            void TaskMain_100ms(void);
      };}
```

Clasa pentru aplicația de actualizare fără fir pentru nodurile din rețea:

```
namespace SWLOAD
{
	class SwLoad:public Gap_Observer, public Gatts_Observer
	{
#define FLASH_STATE_MACHINE 0u
	typedef enum
	{
		SwLoadAppState_IDLE,
		SwLoadAppState_SCANNING,
		SwLoadAppState_WORKINING,
	}SwLoadAppStateType;
	private:
		void processRawData(uint8_t *data, uint8_t len, FlashDevice *device);
	public:
		uint16_t appId;
		SWL_OLED::SwlOled &swlOled;
		FlashDevice flashDevice;
		uint32_t   currentVersion;
		SwLoadAppStateType state;
		uint16_t gatts_if;
		GapAdapter &gapAdapter = GapAdapter::getInstance();
		NVSAdapter &nvsAdapter = NVSAdapter::getInstance();
		GattServer &gattServer = GattServer::getInstance();
		SwLoad(uint16_t appId,SWL_OLED::SwlOled &swlOled);
		~SwLoad();
		void Init(void);
	   void notification(GapEventInfo info);
		void notification(GattsEventInfo info);
	};
}
```

Capitolul 5. Testarea aplicației

Testarea soluției a fost realizată folosind 3 platforme hardware ESP32, 1 platformă este folosită pe post de nod gateway având conectat un SD card și un ecran Oled SSD1306 pe care se va afișa starea nodului, 2 platforme hardware vor fi folosite pe post de noduri din rețea care vor avea la rândul lor atașat un ecran Oled SSD1306. Micro-serviciul și interfața utilizator sunt rulate. Fiecare componentă a sistemului poate fi monitorizată pentru a verifica funcționalitatea corectă a sistemului, astfel micro-serviciul va afișa toate cererile HTTP care sunt transferate și va fi afișa dacă micro-serviciul a acceptat cererea(vezi Figura 5.3). Aplicația cu utilizatorul folosește un câmp care afișează mesaje cu starea aplicație și posibilele erori. Aplicațiile de pe nodul gateway și de pe nodurile din rețea folosesc interfața de comunicare UART pentru a afișa informații despre nod precum:

- Serverul sau clientul protocolului de atribute generice a fost start cu succes.
- Starea în care se află automatele de stări și evenimentele care sunt generate de către sistem.
- Cererile specifice stivei BLE și răspunsurile la aceste cereri. (etc)

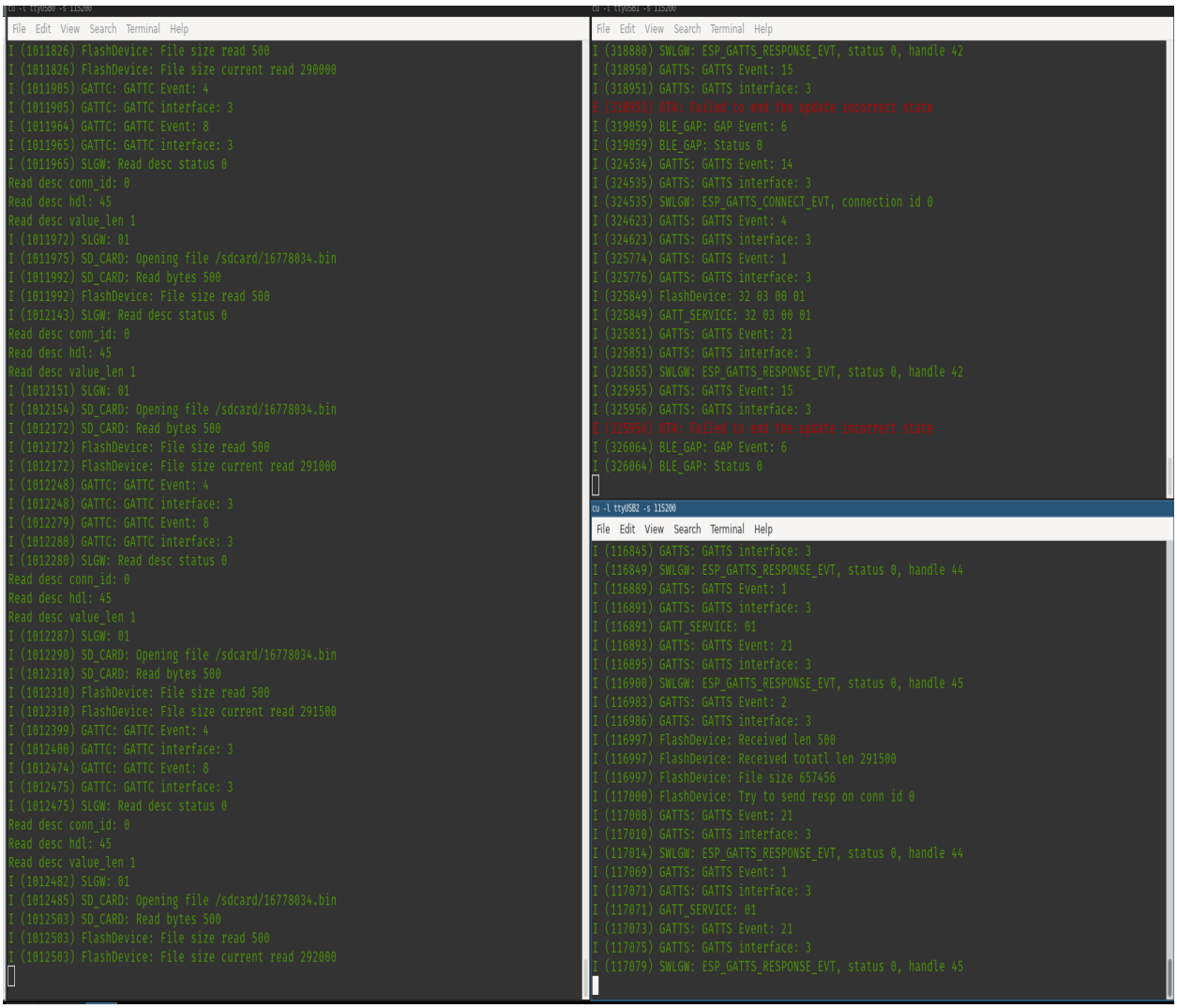


Figura 5.1: Monitorizarea stărilor pentru nodul gateway și nodurile din rețea

Pe interfața de comunicare UART se afișează foarte multă informație care este foarte folositoare în procesul de depănare când se încearcă detectarea cauzei unei erori. Pentru a urmări starea sistemului într-un mod mai prietenos s-au folosit ecranele Oled care afișează informații despre starea internă a fiecărui dispozitiv. Ecranul Oled specific nodurilor de rețea afișa următoare informații:

- Acțiunea pe care o realizează nodul în momentul actual precum: difuzie de pachete de publicitate, conectare la client sau actualizare activă.
- Progresul procesului de actualizare dacă acesta a început.
- Ultimul identificator universal unic a unei caracteristici sau a unui descriptor folosit de către serviciul stivei de comunicare BLE.
- Informații adiționale despre starea curentă a dispozitivului.
- Versiunea de program care este rulată de către dispozitiv
- Partiția de memorie flash care este activă

Ecranul Oled folosit de nodul gateway afișează următoarele informații:

- Starea conexiunii cu micro-serviciul și acțiunile pe care nodul gateway le realizează către micro-serviciu.
- Progresul transferului fișierului cu noua imagine de program către nodul gateway de la micro-serviciu.
- Ultima versiune a fișierului pe care nodul gateway o are stocată în SD card.
- Starea conexiunii nodului gateway cu nodurile din rețea.
- Numărul de dispozitive din rețeaua BLE care au fost descoperite de nodul gateway și înregistrate în lista dispozitivelor de încredere, de asemenea câte din dispozitivele înregistrate au fost actualizate.
- Progresul procesului de actualizare pentru un dispozitiv din rețea.

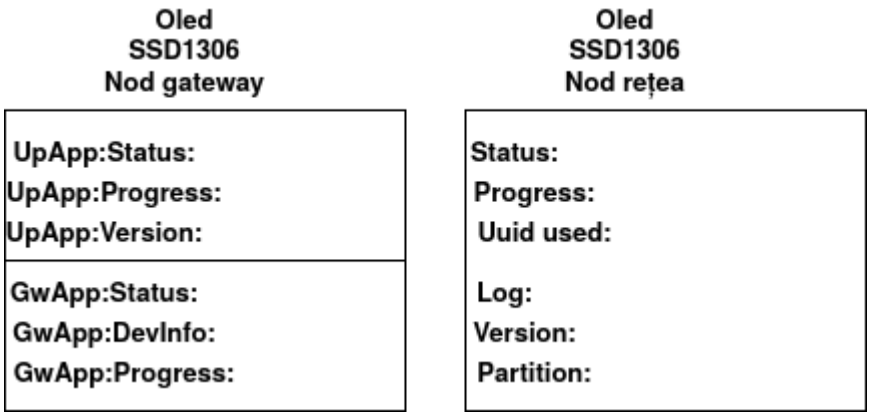


Figura 5.2: Informație afișate de ecranule Oled pentru nodul gateway și pentru nodurile din rețea

```
192.168.100.14 - - [13/Jan/2020 23:00:51] "GET /version/ HTTP/1.1" 200 -
192.168.100.14 - - [13/Jan/2020 23:01:04] "GET /version/ HTTP/1.1" 200 -
192.168.100.14 - - [13/Jan/2020 23:01:16] "GET /version/ HTTP/1.1" 200 -
192.168.100.2 - - [13/Jan/2020 23:01:17] "OPTIONS /upload/ HTTP/1.1" 200 -
Layout accepted
Version accepted
192.168.100.2 - - [13/Jan/2020 23:01:17] "POST /upload/ HTTP/1.1" 200 -
192.168.100.14 - - [13/Jan/2020 23:01:30] "GET /version/ HTTP/1.1" 200 -
192.168.100.14 - - [13/Jan/2020 23:01:31] "GET /download/ HTTP/1.1" 200 -
```

Figura 5.3: Monitorizare cereri HTTP la micro-serviciu

Componentele sistemului au fost implementate şi testate independent, astfel o parte dificilă a soluţiei a fost conectarea şi interfaţarea componentelor, astfel nodul gateway conţine partea cea mai complexa a proiectului, aplicaţia de recepţionare a fişierul cu noua imagine de la micro-serviciu şi aplicaţia de transferare a noii imagini de la nodul gateway folosesc ambele accesul la SD card , astfel aplicaţia de recepţionare a noii imagini de la micro-serviciu este inactivă dacă nodul gateway porneşte procesul de actualizare fără fir cu un nod din reţea.

Concluzie

Soluţia prototip prezentată în această lucrare pentru actualizarea fără fir propune o soluţie completă unde factorul uman are un impact foarte mic asupra procesul de actualizare. Factorul uman trebuie să propună o nouă imagine de program validă, după care sistemul de actualizare va starta procesul de actualizare independent. Lipsa factorului uman aduce însă o complexitate crescută sistemului deoarece este foarte puţin tolerabil la erori iar în lipsa factorului uman nu va exista cine sa restarteze procesul de actualizare sau să rezolve problemele apărute pe parcursul actualizării. Un sistem de actualizare fără fir va trebui sa implementeze mecanisme complexe de detectare a erorilor şi chiar mecanisme de recuperare în urma unei erori, acestă complexitate creşte şi mai mult având în vedere că aceste mecanisme vor fi implementate pe platforme ce au putere de procesare şi resurse limitate.

Implementarea propusă în această lucrare propune o soluţie de actualizare fără fir pentru o reţea de dispozitive ce folosesc stiva de comunicare BLE. Sistemul este compus din 4 componente: interfaţa cu utilizatorul care va fi punctul de intrare pentru noile imagini de program, micro-serviciu care face managementul fişierelor cu imaginile de program, un nod gateway care va fi responsabil pentru recepţionarea imaginilor de program de la micro-serviciu şi transferarea programelor noi către nodurile din reţea, nodurile reţelei. Nodul gateway foloseşte mai multe stive de comunicare în paralel precum: stiva BLE, stiva de WiFi şi stiva TCP/IP. Platforma hardware folosită pentru această soluţie este ESP32, o platforma foarte versatilă care are integrate modulele radio pentru protocolul WiFi şi pentru protocolul BLE, astfel fiind o platformă perfectă pentru concepte ce au nevoie de o conectivitate foarte bogată.

O posibilă aplicare a conceptului de actualizare fără fir este domeniul senzorilor fără fir şi domeniul IoT, folosind acest concept noi produse vor putea fi livrate mai rapid pe piaţa cu o funcţionalitate de bază, ulterior adăugând noi aplicaţii şi îmbunătăţind aplicaţiile existente în funcţie de nevoile domeniul sau a clientului. Conceptul de actualizare fără fir creşte flexibilitate sistemului, scade costul de menţinere şi oferă posibilitate de extindere.

BIBLIOGRAFIE

[1] IoT Firmware Management:Over the Air Firmware Management for Constrained Devices using IPv6 over BLE Manas Marawaha, B.Tech Electronics and Communication 2017
[2] UpdaThing: A secure and open firmware updatesystem for Internet of Things devices Tomás Alexandre Diniz de Pinho 2016
[3] Over-the-Air Firmware Update for Bluetooth Low Energy Devices Tuan Nguyen Anh 2019
[4] https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
[5] https://www.bluetooth.com/specifications/
[6] https://ro.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol
[7] https://ro.wikipedia.org/wiki/File_Transfer_Protocol
[8] https://ro.wikipedia.org/wiki/Internet
[9]https://www.openmobilealliance.org/release/LightweightM2M Lightweight_Machine_to_Machine-v1_1-OMASpecworks.pdf
[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Hash_function
[11] https://en.wikipedia.org/wiki/RSA_(cryptosystem)

Anexa 1 Funcţia de iniţializare a aplicaţiei

```
void SwlGateway::Init(void)
{
	uint8_t manufacture_data[MANUFACTURE_DATA_SIZE];
	uint8_t len;
	//this->swlOled.Init();
	this->sd.Init();
	this->flashDeviceManager.swOled = &this->swlOled;
	this->vers.Init();
	this->gapAdapter.Init();
	this->gattc.Init();
	this->gattc.RegisterApp(this->appId); // @suppress("Invalid arguments")
	this->buildManufactureDataBuffer(manufacture_data,len);
	this-
>gapAdapter.SetDeviceName((uint8_t*)SWLGW_NAME,sizeof(SWLGW_NAME));
	this->gapAdapter.StartAdvertising(manufacture_data,len);
	this->wifiAdapter.Init();
	this->wifiAdapter.Connect();
	this->gapAdapter.StartScan(5u);
	this->swlOled.GwUpWriteStatus("SCANNING");
	this->updateFileApp.Init();
	this->isScanningRunning = true;
}
```

Anexa 2 Funcţia ciclică a aplicaţie de actualizare fără fir pe nodul gateway

```
void SwlGateway::TaskMain_100ms(void)
{

	if(this->isScanningRunning == false &&
		this->flashDeviceManager.listOfDevice.size() == 0)
	{
		this->flashDeviceManager.ResetInternalInfo();
		this->gapAdapter.StartScan(5u);
		this->isScanningRunning = true;
		this->isFlashingInProgress = false;
		this->updateFileApp.EnableUpdateFileApp(true);
		this->swlOled.GwUpWriteStatus("SCANING");
	}

	if(this->isScanningRunning == false &&
		this->flashDeviceManager.listOfDevice.size() != 0
		&& this->isFlashingInProgress == false
		&& this->updateFileApp.EnableUpdateFileApp(false) == true)
		{
			this->triggerConnetion();
			this->isFlashingInProgress = true;
			this->swlOled.GwUpWriteStatus("UPDATING");
		}
	this->updateFileApp.UpdateFileAppMainFunction(100);
	this->swlOled.GwUpWriteProgess(this->flashDeviceManager.GetCurrentDevProgress());
}
```