

PROIECT DE DIPLOMA
Sistem IoT pentru controlul
accesului in clădire

Alexandru Cristian IONESCU

2021
Noiembrie

Cuprins

1	Introducere	3
1.1	Obiectivele lucrării de licență	3
1.1.1	Realizarea unui studiu de piață pentru determinarea fezabilității soluției	3
1.1.2	Dezvoltarea unui sistem compatibil POTS pentru interfatarea în rețeaua IoT	3
1.2	Descrierea domeniului din care face parte tema de licență	3
1.2.1	Istoric	4
1.2.2	Curent	4
1.3	Prezentare pe scurt a capitolelor	4
2	Descrierea problemei abordate	5
2.1	Formularea problemei	5
2.2	Studiu asupra realizărilor similare din domeniu	5
2.2.1	Videx UK	5
2.2.2	Google Nest x Yale Lock	6
2.2.3	Level Lock - Touch Edition	7
2.2.4	Comparatii	7
2.3	Stabilirea cerințelor funcționale și nefuncționale ale sistemului	8
2.3.1	Controlul accesului într-un apartament	8
2.3.2	Expunerea unui serviciu REST pentru interfatarea cu alte sisteme	8
2.3.3	Implementarea unei funcții pentru răspuns automat	8
2.3.4	Dezvoltarea unui client mobil Android	8
2.3.5	Control granular asupra datelor stocate	8
2.3.6	Criptarea comunicațiilor cu serviciile web	8
2.3.7	Oferirea și revocarea accesului la sistem	8
2.3.8	Expunerea unui flux duplex audio prin tehnologia VoIP	9
3	Stadiul actual în domeniu și selectarea soluției tehnice	10
3.1	Stadiul actual al tehnologiilor utilizate pentru dezvoltarea soluției	10
3.1.1	Apple, Amazon, Google	10
3.1.2	Espressif	11
3.2	Prezentarea tehnologiilor și platformelor de dezvoltare alese	11
3.2.1	Hardware	11
3.2.2	Backend	12
3.2.3	Baza de date	12
3.2.4	Client	13

4	Considerente legate de implementarea soluției tehnice	14
4.1	Arhitectura sistemului	14
4.1.1	Raspberry Pi HUT	14
4.1.2	Webserver NodeJS	14
4.1.3	Android	14
4.2	Implementarea sistemului	15
4.3	Testarea sistemului	15
5	Studiu de caz	16
5.1	Raspuns automat	16
5.2	Raspuns de la distanta	16
6	Concluzii	17
7	Bibliografie	19

Capitolul 1

Introducere

1.1 Obiectivele lucrării de licență

1.1.1 Realizarea unui studiu de piata pentru determinarea fezabilitatii solutiei

In continuare voi realiza un scurt studiu de piata pe nisa sistemelor Internet of Things (IoT) destinate uzului casnic. Un caz particular de astfel de dispozitive sunt cele care indeplinesc functia de interfon sau ofera contrulul accesului intr-o incinta de la distanta.

In momentul de fata exista pe piata o multitudine de produse de tip incuietoare inteligenta sau sisteme tip interfon GSM, atat de la producatori cunoscuti cat si de la branduri nou infiintate. Aceasta lucrare va analiza trei tipuri de solutii existente, cu implementari diferite, incercand sa identifice functionalitati comune, avantaje si dezavantaje dintr-o plaja cat mai mare de dispozitive.

Solutiile prezentate mai sus au dezavantajul ca nu au fost concepute sa fie integrate cu un sistem existent, intr-un bloc mai vechi. Prin urmare exista un segment de piata de utilizatori care ar dori sa beneficieze de functiile intefonului inteligent, dar nu pot deoarece asta ar presupune schimbarea sistemului din intreaga cladire.

1.1.2 Dezvoltarea unui sistem compatibil POTS pentru interfatarea in retea IoT

Pentru a putea oferi functiile inteligente unei audiente cat mai large, sistemul propus in aceasta lucrare se poate conecta la retea Plain Old Telephone Service (POTS) printr-o simpla mufa RJ11.

1.2 Descrierea domeniului din care face parte tema de licență

Aceasta lucrare face parte dintr-un domeniu mai vechi, dar care a prins amploare recent, domeniul automatizarilor casnice si IoT.

1.2.1 Istoric

Interesul in conectarea locuintelor pentru a obtine functionalitate aditionala dateaza inca din anii 60, majoritatea fiind concepute prototipate de entuziasti cu inclinatii spre electronica.

Jim Sutherland, inginer la Westinghouse a creat primul sistem de automatizare a domiciliului in anul 1964, ECHO IV. Acesta era capabil sa controleze temperatura, alte aparate casnice cat si sa permita retinerea de mementouri sau liste de cumparaturi. Cu introducerea retelei Advanced Research Projects Agency Network (ARPANet) in 1969, un precursor al Internetului, universul dispozitivelor casnice conectate a cunoscut o perioada rapida de dezvoltare in anii urmasori [9].

Trecerea de la o noutate scumpa la un sistem ce ofera functii cu adevarat practice a venit sub forma proiectului "X10 Home Automation". Acesta se putea integra cu sistemul de climatizare existent al cladirii, controla electrocasnice mici, cat si corpuri de iluminat.

In anul 1984, Asociatia Nationala a Constructorilor din Statele Unite a creat un grup de control numit "Smart House" pentru a accelera includerea tehnologiei in proiectele viitoare [1].

Pentru consumatori, dezvoltarile din urmasorii ani au adus usi automate pentru garaje, termostate programabile si sisteme de securitate in cadrul monden, concomitent reducand preturile solutiilor oferite. In ciuda acestor semne, sociologii au concluzionat la vremea respectiva ca nu exista un interes real in conceptul "Smart House".

1.2.2 Curent

Solutiile de tip "Smart Home" din prezent se integreaza in general cu o retea precum Espresso, Apple HomeKit sau Google Home. Aceasta permite controlul dispozitivelor conectate prin intermediul telefonului mobil.

Apple HomeKit/Google Home
Nest TC

1.3 Prezentare pe scurt a capitolelor

//To do

Capitolul 2

Descrierea problemei abordate

2.1 Formularea problemei

În orașe precum București, majoritatea blocurilor au fost construite înainte de anul 1990 și prin urmare interfoanele lor se bazează pe POTS. Trăind în era digitală, utilizatorul ideal (e corporatist) își dorește augmentarea funcționalităților sistemului existent, pentru a nu trebui să își convingă toți vecinii să investească în modernizarea sistemului de acces. Pentru a putea adresa cât mai mulți utilizatori, soluția acestei probleme trebuie să fie agnostică de smartphone și interfonul existent al utilizatorului, dar să ofere integrări cu alte soluții de tip "Smart Home".

2.2 Studiu asupra realizărilor similare din domeniu

2.2.1 Videx UK

Interfoanele GSM de la Videx sunt conectate la rețeaua mobilă de telefonie și permit operarea unei porți prin intermediul unui rețeauă. Ele necesită doar o sursă de curent externă, o antenă și o cartelă Subscriber Identity Module (SIM) pentru a opera.



Figura 2.1: Sistem interfon Videx GSM [7]

Printre funcționalitățile principale se numără:

- Poate include un cititor de carduri RFID și cheie

- Versiune rezistentă la vandalism
- Până la 4 numere de telefon per apartament, pentru redundanță. În cazul în care primul număr nu se poate apela sau nu răspunde, se va încerca următorul număr programat
- Oferă aplicație Android și iOS pentru programat unitatea

Dezavantaje:

- Nu oferă integrare cu servicii din rețeaua IoT

2.2.2 Google Nest x Yale Lock

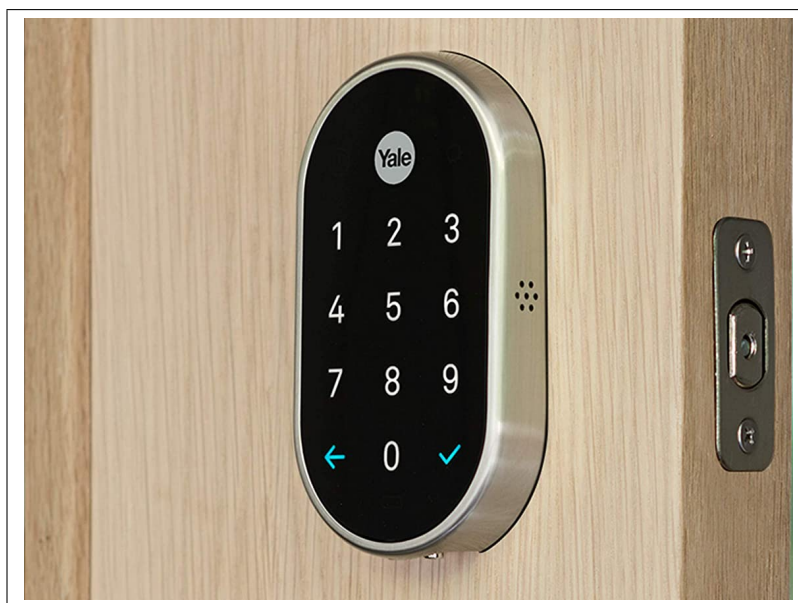


Figura 2.2: Nest x Yale Lock [8]

Avantaje:

- Permite accesul prin intermediul unui PIN ales de utilizator
- Oferă alerte când cineva închide sau deschide ușa
- Oferă integrare cu Google Home și Nest Home

Dezavantaje:

- Are nevoie de 4 baterii tip AA pentru a funcționa
- Nu are acces cu cheie sau cartela
- Nu are versiune rezistentă



Figura 2.3: Level Lock [4]

2.2.3 Level Lock - Touch Edition

Level Lock este o incuietoare inteligenta de tip zavor. Are un design minimalist si ascunde partea electronica in interiorul usii pentru mai multa securitate.

Avantaje:

- Multiple modalitati de acces, printre care: amprenta, PIN
- Oferă alerte cand cineva inchide sau deschide usa
- Oferă integrare cu Google Home si Nest Home

2.2.4 Comparatii

Produsele de mai sus adreseaza probleme usor diferite, dar incerca sa ofere functionalitati similare. Sistemul oferit de Videx Security prezinta un design rezistent, dar familiar tuturor utilizatorilor si este destinat cladirilor cu mai multi locatari. In contrast, cele doua incuietori inteligente ofera o integrare avansata in reseaua IoT si multiple cai de acces, dar sunt destinate unei singure locuinte.

Incuietoarea de la Yale prezinta cea mai inovativa abordare a acestui design prin decizia deliberata de a nu oferi posibilitatea de acces cu cheie. Astfel, simplifica partea mecanica eliminand singura cale de acces din exterior catre mecanismul incuietorii.

Produsul celor de la Videx Security se bazeaza pe o tehnologie utilizata la scara larga si prin urmare beneficiaza de robustetea unui sistem matur. Spre deosebire de celelalte doua produse analizate, solutia celor de la Videx Security este agnostica de sistemul de operare al telefonului mobil, avand nevoie doar de o conexiune GSM.

Din lipsa unor standarde in domeniu, dispozitivele noi sufera de alte tipuri de probleme: [3]

2.3 Stabilirea cerințelor funcționale si nefuncționale ale sistemului

2.3.1 Controlul accesului intr-un apartament

Scopul principal al acestui sistem este de a oferi sau nu acces intr-o incinta, prin urmare consider aceasta cea mai importanta cerinta functionala.

2.3.2 Expunerea unui serviciu REST pentru interfatarea cu alte sisteme

Expunerea si abstractizarea terminalului POTS este realizata printr-un set de servicii Representational State Transfer (REST) care controleaza starea sa. Acest lucru ne permite interfatarea cu aplicatia mobila, interfata de administrare web si alte servicii precum Google Home/Google Assistant/Apple HomeKit.

2.3.3 Implementarea unei functii pentru raspuns automat

Aceasta functie va permite utilizatorului sa stabileasca o perioada de timp pentru care sistemul va oferi accesul neconditionat.

2.3.4 Dezvoltarea unui client mobil Android

Principalul client care va interactiona cu serviciile REST va fi aplicatia mobila ce va avea rolul de a notifica userul cand ii suna interfonul si de a controla starea sistemului.

2.3.5 Control granular asupra datelor stocate

Arhitectura aplicatiei necesita interactiunea cu o baza de date, care poate fi tinuta in cloud, pentru convenabilitate sau local. Folosind tehnologii de containerizare precum Docker, putem stoca baza de date local, informatiile fiind stocate intr-un mediu controlat.

2.3.6 Criptarea comunicatiilor cu serviciile web

Avand in vedere nivelul de acces pe care l-ar oferi un exploit al acestei solutii, comunicatiile intre server si clienti trebuie realizate printr-un canal criptat de tip Secure Sockets Layer (SSL). Credentialele userului si ulterior tokenul de acces trebuie trimise doar dupa verificarea autenticitatii serverului si a pachetelor trimise.

2.3.7 Oferirea si revocarea accesului la sistem

Dorim de exemplu sa oferim acces neconditionat unui prieten apropiat pentru a intra in bloc fara a mai suna la interfon. De asemenea ar trebui sa putem realiza si inversul acestei operatii.

2.3.8 Expunerea unui flux duplex audio prin tehnologia VoIP

Pasul final in dezvoltarea acestui sistem ar fi interfatarea cu un Analog to Digital Convertor (ADC) si un Digital to Analog Convertor (DAC) si expunerea streamurilor de date prin Voice Over IP (VoIP)

Capitolul 3

Stadiul actual in domeniu si selectarea solutiei tehnice

3.1 Stadiul actual al tehnologiilor utilizate pentru dezvoltarea solutiei

Dezvoltarea unui sistem IoT de automatizare presupune atat o parte hardware cat si una software. Pentru controlarea hardware-ului de la distanta este nevoie de un canal de comunicatii prin care sa se i trimita comenzi. In general, in cazul sistemelor embedded de acest tip folosesc un microcontroller sau un microprocesor care implementeaza stiva IP.

O alta abordare populara in proiectarea acestor sisteme este dezvoltarea unui controller conectat la internet care are rolul de a colecta informatii de la alte dispozitive din incinta compatibile cu protocolul sau. Mai departe, informatiile colectate sunt transmise unui server spre a fi preprocesate, agregate, oferind utilizatorului date relevante momentului respectiv.

In functie de complexitatea solutiei, partea responsabila pentru procesarea evenimentelor poate varia de la un simplu server conectat la o baza de date pana la un cluster de big-data compus din sute de noduri capabile sa ruleze algoritmi de agregare distribuiti.

3.1.1 Apple, Amazon, Google

Potrivit articolului [2], Apple foloseste Apache Mesos, un manager open-source pentru clustere de computatie capabil sa scaleze pana la zeci de mii de noduri pentru a rula serviciile necesare asistentului inteligent Siri intr-o maniera care ofera redundanta la eroare. Urmatorul nivel de integrare vine de la compania Amazon, care ruleaza algoritmi asistentului sau inteligent Alexa pe platforma sa de servicii web, Amazon Web Services (AWS). Intr-o maniera similara putem specula ca o companie precum Google foloseste tehnologia sa de orchesterare pentru clustere de computatie, Kubernetes, pentru a rula serviciile necesare Google Assistant.

Toate aceste solutii includ integrari cu sisteme IoT precum lumini inteligente, aspiratoare autonome sau incuietori inteligente au o complexitate ridicata, justificand necesitatea unui cluster computational distribuit.

3.1.2 Espressif

Espressif Systems ofera o abordare alternativa problemei, prin protocolul de comunicatii Espressif care compacteaza 5 layere din stiva Open Systems Interconnection (OSI) intr-unul singur, reducand latenta cauzata de pierderea pachetelor in retele congestionate. Fiind mai simplu, iroieste mai putini cicli ai microprocesorului si consuma mai putina memorie. Pentru a permite interactiunea senzorilor si actorilor Espressif cu dispozitive mobile care nu implementeaza acest protocol este nevoie de un gateway care sa realizeze traducerea pachetelor intre cele doua retele, insa acest lucru este optional.

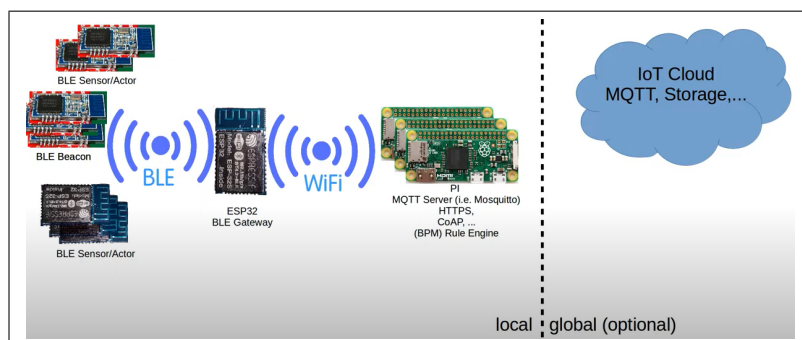


Figura 3.1: Sistem interconectare actori Espressif la internet [5]

Din perspectiva utilizatorului, dispozitivele noi necesita un pas de imperechere in retea, dupa acest pas fiind complet autonome. Chiar daca frameworkul ofera functii ajutatoare pentru criptarea informatiilor transmise, aplicatiile pot alege sa implementeze metoda standard Curve25519, sa isi implementeze propriul mecanism de criptare sau chiar sa o dezactiveze complet.

Proiectandu-ne propriul sistem, beneficiem de libertate in modelarea problemei si alegerea protoocoalelor de comunicare. Asadar, se poate concepe un sistem IoT care sa ofere un set de functionalitati mai restrans, folosind hardware disponibil consumatorilor de rand si tehnologii software open-source.

Additional, pentru o integrare minimala cu unul din asistentii personali mentionati mai sus, de obicei este pus la dispozitia dezvoltatorilor un API bazat pe webhook-uri. Acesta sarcina presupune implementarea unor servicii REST pe baza unui protocol prestabilit.

3.2 Prezentarea tehnologiilor si platformelor de dezvoltare alese

3.2.1 Hardware

Deoarece proiectul necesita atat interactiunea cu sisteme electrice cat si cu sisteme digitale precum stiva IP, am ales placa de dezvoltare "Raspberry Pi 3 Model B Rev 1.2". Aceasta ofera un procesor quad core cu arhitectura armv7 de 1.2 Ghz, 1 GB RAM si 26 de pini General-Purpose Input/Output (GPIO) pentru interactiunea cu terminalul POTS.

Considerand complexitatea relativ scazuta a circuitului electric, pentru proiectarea PCB am ales Fritzing, un soft open-source de Computer Assisted Design (CAD). Spre deosebire de un program mai profesionist precum Eagle, Fritzing este usor de folosit si dispune de o librarie care contine majoritatea componentelor analogice si digitale. In cazul in care nu

exista model pentru o componenta, utilizatorul are posibilitatea de a crea un model din poze si masuratori.

3.2.2 Backend

Intr-un studiu anual realizat de Stack Overflow, peste 80,000 de dezvoltatori software au ales JavaScript ca cel mai folosit limbaj de programare pentru al noualea an consecutiv. NodeJS a urcat pe locul 5 in popularitate, in timp ce Typescript este pe locul 6. Datorita cerintei de portabilitate am ales NodeJS ca limbaj pentru implementarea serverului aplicatiei. [6]

Printre alternative viabile pentru acest tip de proiect se numara Java, C# sau Python, limbaje aflate in primele 10 in topul celor de la Stack Overflow.

Ca framework de dezvoltare a serverului am ales NestJS, oferind o arhitectura Model View Controller (MVC) si multe functionalitati convenabile precum:

- Framework de injectare a dependintelor: graful (aciclic) de dependinte al aplicatiei este calculat la pornire, fiecarui modul ii sunt satisfacute dependintele, instantiindu-se obiectele necesare o singura data. Daca sunt detectati cicli in graful de dependinte sau nu exista informatii despre cum se poate instantia o clasa, atunci se va arunca o eroare de runtime si aplicatia va iesi cu un status code de eroare.
- Separarea logicii de control a aplicatiei de interfata si de date. Utilizatorul interactioneaza cu interfata, care notifica controllerul de actiunile utilizatorului, controllerul executa logica aplicatiei si actualizeaza modelul corespunzator, schimbari ce se vor reflecta in interfata.
- Imbina elemente de Object Oriented Programming (OOP), Functional Programming (FP) si Functional Reactive Programming (FRP). De exemplu: modulele si serviciile sunt clase, iar decoratorii claselor sunt functii care modifica comportamentul functiilor adnotate prin compunere.

3.2.3 Baza de date

Din punct de vedere al scalabilitatii, paradigma relationala scaleaza vertical (putine servere puternice), pe cand cea nerelationala este orizontala (multe servere mici). Prin urmare am ales MongoDB, o solutie de tip NoSQL rulata in modul "cluster" pentru a oferi redundanta datelor prin replicarea lor de 3 ori pe noduri diferite fizic.

Deoarece MongoDB are nevoie de suport pentru 64 biti, nu poate fi instalata pe acelasi Raspberry Pi unde va rula si serverul. Pentru simplitudine, am ales un serviciu online de hosting gratis, numit Mongo Atlas. Asadar, serverul NodeJS trebuie sa tina cont de eventuala latenta mai ridicata in comunicarea cu baza de date si retransmiterea comenzilor in cazul in care niciunul din nodurile clusterului nu este disponibil.

Object Document Mapping

Pentru transformarea si validarea obiectelor de JavaScript in documente ce vor fi stocate in baza de date, am ales Mongoose.

3.2.4 Client

Android este o platforma mobile care s-a maturizat pe parcusul a 12 versiuni majore si principalul competitor de piata al iOS. Avand experienta anterioara ca programator Android si in special cu limbajul de programare Java, a fost o alegere convenabila pentru un prototip rapid. Este de mentionat ca aceasta alegere de platforma este pur subiectiva, un client similar putand fi dezvoltat pentru iOS sau cu o tehnologie care suporta cross-compilation cum ar fi React Native sau Ionic.

Capitolul 4

Considerente legate de implementarea soluției tehnice

4.1 Arhitectura sistemului

Sistemul prezentat presupune atât o parte hardware, cât și una software. Hardwareul realizează adaptarea dintre terminalul analog POTS și placa digitală de dezvoltare Raspberry Pi, iar ca software am folosit NodeJS pentru server și Android pentru a implementa un client al serverului.

4.1.1 Raspberry Pi HUT

Pentru a proiecta un Printed Circuit Board (PCB) am folosit softwareul Fritzing. Acesta permite proiectarea schemei electrice și ulterior trasarea conexiunilor pe layoutul fizic al plăcii.

Actionarea butoanelor terminalului POTS se realizează cu ajutorul unor opto-cuploare, izolând circuitul interfonului care este proiectat pentru a funcționa cu spike-uri de până la 90V de circuitul Raspberry Pi.

Detectarea unui apel este realizată prin legarea unui Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) la bornele difuzorului terminalului POTS și inserierea cu un amplificator operational în regim de comparator cu referință de 0.1V. Am folosit de asemenea și un Filtru Trece Jos deoarece terminalul este sensibil la zgomote, declanșând accidental notificarea.

4.1.2 Webserver NodeJS

NodeJS este un

4.1.3 Android

Android este o platformă mobilă care s-a maturizat pe parcursul a 12 versiuni majore și principalul competitor de piață al iOS.

4.2 Implementarea sistemului

4.3 Testarea sistemului

Capitolul 5

Studiu de caz

5.1 Raspuns automat

Mi-am comandat pizza si ajunge in timp ce folosesc pistolul de lipit. Prin urmare voi programa interfonul sa raspunda si sa deschida automat usa la urmatorul apel.

5.2 Raspuns de la distanta

Mi-am pierdut cartela standard Radio-Frequency Identification (RFID) pentru a intra in bloc. Asadar, voi suna la numarul apartamentului meu si voi folosi aplicatia mobila pentru a raspunde la propriul apel.

Capitolul 6

Concluzii

concluzia domnuleee?

Acronime

ADC Analog to Digital Convertor. 9

ARPANet Advanced Research Projects Agency Network. 4

AWS Amazon Web Services. 10

CAD Computer Assisted Design. 11

DAC Digital to Analog Convertor. 9

FP Functional Programming. 12

FRP Functional Reactive Programming. 12

GPIO General-Purpose Input/Output. 11

GSM Global System for Mobile Communications. 5, 7

IoT Internet of Things. 3, 6, 7, 10, 11

IP Internet Protocol. 10, 11

MOSFET Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. 14

MVC Model View Controller. 12

OOP Object Oriented Programming. 12

OSI Open Systems Interconnection. 11

PCB Printed Circuit Board. 11, 14

POTS Plain Old Telephone Service. 3, 5, 8, 11, 14

REST Representational State Transfer. 8, 11

RFID Radio-Frequency Identification. 5, 16

SIM Subscriber Identity Module. 5

SSL Secure Sockets Layer. 8

VoIP Voice Over IP. 9

Capitolul 7

Bibliografie

- [1] Frances K Aldrich. “Smart homes: past, present and future”. in *Inside the smart home*: Springer, 2003, **pages** 18–18.
- [2] Daniel Bryants. *Apple Rebuilds Siri Backend Services Using Apache Mesos*. 2015. URL: <https://www.infoq.com/news/2015/05/mesos-powers-apple-siri/> (**urlseen** 13/06/2022).
- [3] Alexandra Gheorghe. *The Internet of Things: Risks in the connected home*. Research Paper BD-NGZ-86847. Bitdefender, 2016.
- [4] Level Home. *Level Lock: The Smallest and Most Advanced Smart Lock Ever*. 2019. URL: <https://level.co/products/lock> (**urlseen** 29/04/2022).
- [5] Nina. *Why use mqtt server for BLE gateway?* 2021. URL: <https://stackoverflow.com/questions/68195682/why-use-mqtt-server-for-ble-gateway> (**urlseen** 05/06/2022).
- [6] Stack Overflow. *Stack Overflow Developer Survey 2021*. 2021. URL: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2021#section-most-popular-technologies-programming-scripting-and-markup-languages> (**urlseen** 05/06/2022).
- [7] Videx Security. *GSM Intercoms*. 2016. URL: <https://www.videxuk.com/system/gsm-intercoms> (**urlseen** 28/04/2022).
- [8] Google Store. *Nest x Yale Lock*. 2018. URL: https://store.google.com/us/product/nest_x_yale_lock?hl=en-US (**urlseen** 28/04/2022).
- [9] Zeus Integrated Systems. *A Brief History of Smart Home Automation*. 2019. URL: <https://zeusintegrated.com/blog/item/a-brief-history-of-smart-home-automation> (**urlseen** 02/06/2022).