



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Sistema de telemesura i teleassistència mèdica domiciliari

13 d'octubre de 2017

Memòria del projecte que presenta ORIOL LANUZA FISAS
sota la direcció del Eng. Juan Martínez Domene
per assolir el grau d'Enginyer en Sistemes TIC.

Aquesta obra està subjecta a una llicència Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain de Creative Commons. Per veure'n una còpia, visiteu <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es> o envieu una carta a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Per a tots els enginyers,
que el nostre coneixement serveixi per construir un món millor,
i per en Diego Elio Pectenò,
per el seu projecte open source glucometer-utils.

Índex

| | |
|--|------------|
| Abstract | iii |
| Resum | v |
| I. Memòria | 1 |
| 1. Introducció | 3 |
| 2. Situació del treball | 5 |
| 3. Objectius | 7 |
| 4. Disseny del sistema | 9 |
| 4.1. Descripció del sistema | 9 |
| 4.1.1. Dispositiu de mesures mèdiques | 9 |
| 4.1.2. Punt d'accés | 9 |
| 4.1.3. Centraleta | 10 |
| 4.1.4. Estàndard de comunicació de dades | 11 |
| 4.1.5. Servidor | 11 |
| 4.2. Funcionament del sistema | 12 |
| 5. Implementació del sistema | 13 |
| 5.1. Descripció del sistema | 13 |
| 5.2. Glucòmetre | 13 |
| 5.3. Centraleta | 14 |
| 5.3.1. Llibreria glucometer-utils | 14 |
| 5.3.2. Interfície d'usuari | 15 |
| 5.3.3. Base de dades | 15 |
| 5.3.4. Configuració inicial | 16 |
| 5.4. Servidor | 17 |
| 5.4.1. Configuració del servidor | 17 |
| 5.4.2. Base de dades | 17 |
| 5.4.3. Aplicació web | 19 |
| 6. Línies futures | 21 |
| 7. Conclusions | 23 |
| Bibliografia | 25 |

| | |
|--|-----------|
| II. Apèndix | 27 |
| Apèndix del document | 29 |
| 1. Manual d'usuari pacient | 29 |
| 1.1. Instruccions per transmetre una mesura des del domicili | 29 |
| 1.2. Instruccions per transmetre una mesura des de fora del domicili | 29 |

Abstract

This project presents the design and implementation of a system capable of managing medical measures' results, remotely realized by patients. This system allows a telematic tracking of the patients condition, recording the taken measurements and notifying the telematic assistance staff of abnormal results.

The document describes a generic medical measurements transmission system, and it is implemented for the particular case of a glucometer.

Resum

Aquest projecte consisteix en dissenyar i implementar un sistema capaç de gestionar els resultats de mesures mèdiques, realitzades pels pacients remotament. Aquest sistema permet dur a terme un seguiment telemàtic de l'estat del pacient, enregistrant les mesures realitzades i notificant al personal d'assistència telemàtica els resultats anormals.

El document descriu un sistema de caràcter general per a la transmissió de mesures mèdiques, i s'implementa pel cas particular d'un glucòmetre.

Part I.

Memòria

1. Introducció

La societat actual està cada cop més interconnectada. Les noves tecnologies permeten que els elements del dia a dia recopilin informació. Tota aquesta informació pot ser tractada de manera que sigui possible realitzar optimitzacions i reaccionar ràpidament a canvis mesurables.

La internet de les coses [Xia+12] és una eina molt potent aplicable a la medicina, especialment en la prevenció. Permet fer un seguiment de l'estat de salut dels pacients de manera remota, sense requerir un especialista dedicat a realitzar les mesures. Recollint informació rellevant sobre l'estat de salut del pacient es pot detectar de manera precoç malalties, de manera que aquestes tinguin un menor impacte tant en la salut del pacient com econòmic, ja que tractar-la en les fases inicials o abans que es produeixi en la majoria dels casos evita complicacions posteriors.

És una manera de descongestionar els centres de salut, reduint les visites rutinàries i estalviant els desplaçaments dels pacients per realitzar un seguiment del seu estat. Pot ser una eina molt útil per a persones amb dificultats a l'hora de desplaçar-se a centres mèdics o amb problemes per dur un seguiment de les seves pròpies mesures.

Per això, en aquest treball de fi de grau es dissenya un sistema que permet realitzar mesures sobre l'estat del pacient, recollir i tractar les dades en un servidor i prendre mesures de manera ràpida en cas de ser necessari. S'ha implementat aquest sistema pel cas específic d'un glucòmetre.

2. Situació del treball

En l'actualitat s'estan desenvolupant nombrosos sistemes de telemesura i teleassistència mèdica, tal com es va poder observar a les 7es Jornades TIC, Salut i Social [17a], on es van presentar projectes relacionats amb la sensòrica al servei de les persones. La sensòrica ens permet obtenir una gran quantitat de dades que, processades de la manera adequada, permeten desenvolupar sistemes de prevenció molt eficaços.

Existeixen nombroses malalties cròniques i afeccions, com per exemple la diabetis, que requereixen un seguiment mèdic rutinari. La tecnologia actual permet realitzar aquest seguiment de manera remota, evitant visites mèdiques innecessàries. També hi ha medicacions que s'han d'adaptar a l'estat actual del pacient.

El Sintrom [Pie13], per exemple, és un medicament que s'utilitza per controlar l'índex de coagulació de la sang, i la dosi requerida s'ha d'adaptar per tal de mantenir-lo en un nivell adequat. Aquest índex es determina a través d'una prova mèdica, realitzable des del domicili mateix del pacient en el cas que disposi del dispositiu mèdic en qüestió. El resultat d'aquesta prova s'ha de transmetre a un professional mèdic per tal de recalcular i comunicar al pacient la dosi adequada de medicació. Actualment s'han desenvolupat sistemes que permeten realitzar aquest seguiment de manera remota, on el pacient realitza la mesura i la transmet via formulari web o telefònicament al seu centre de teleassistència, el qual li notifica la dosi requerida.

Succeeix quelcom similar amb els pacients diabètics que es realitzen un seguiment dels nivells de glucosa en sang. Prenen la mesura amb el dispositiu mèdic i anoten el resultat en una llibreta manualment. Actualment molts dispositius disposen d'una petita memòria on enregistren els resultats de les lectures, consultable des del mateix dispositiu o amb l'ajuda d'una aplicació proporcionada pel fabricant per descarregar-los a l'ordinador. Aquests programes no acostumen a ser de codi obert i les funcionalitats són limitades.

El present treball presenta un sistema que elimina el paper del pacient com a intermediari en la transmissió de la lectura i és de codi obert. D'aquesta manera s'aconsegueix eliminar l'error humà en la transmissió de la lectura, ja que molts dels pacients són persones grans o poden tenir algun grau de dependència, i fomentar el desenvolupament de funcionalitats. També permet dur un registre automàtic accedir a l'historial dels seus resultats, accessible tant pel pacient com pel personal mèdic, i alertar de valors anormals de manera àgil, de manera que el personal de teleassistència pugui donar les instruccions adients al pacient i prevenir possibles complicacions.

3. Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball final de grau és dissenyar un sistema que permeti enviar mesures mèdiques i oferir assistència mèdica relacionada amb aquestes de manera telemàtica. Aquest sistema ha de ser capaç de tractar les dades i oferir una resposta en cas de rebre resultats anormals.

Es realitzarà una implementació bàsica d'aquest disseny per a un sistema de telemesura i teleassistència mèdica basat en un medidor de glucosa en sang.

Es vol que el sistema compleixi els objectius següents:

- Codi obert, per tal d'estendre el sistema a més aparells de mesura i fomentar-ne el seu desenvolupament.
- Ha de ser flexible per adaptar-se a dispositius de diferents fabricants.
- Facilitat d'ús, especialment per a pacients i metges. Es vol fer un sistema apte per al públic general.
- El sistema ha de ser fàcil d'instal·lar i de gestionar per un tècnic.
- Evitar errors humans en la lectura i seguiment de les mesures.
- Que detecti valors anormals i generai una alerta.
- Ha de ser portable.
- El pacient ha de poder realitzar medicions i transmetre els resultats de manera remota.
- La transmissió i gestió de les dades ha de ser segura, ja que es treballa amb dades mèdiques privades.
- Un cost econòmic assequible.

Com a objectius secundaris es vol:

- Ampliar els coneixements sobre dispositius de mesures mèdiques.
- Redactar el treball utilitzant LaTeX [17v].
- Contribuir al desenvolupament de les TIC en la salut.
- Aplicar els coneixements adquirits durant el grau en enginyeria de sistemes TIC.

4. Disseny del sistema

Tenint en compte els objectius principals, s'ha dissenyat un sistema modular basat en estàndards en la transmissió de les dades. Això permet que es pugui utilitzar el sistema amb independència del model de dispositiu de mesures mèdiques que s'utilitzi, a través de modificacions en el software.

4.1. Descripció del sistema

El sistema està format per un dispositiu de mesures mèdiques, una centraleta, un punt d'accés i un servidor. L'esquema de funcionament es troba a la figura 4.1.

El pacient realitza la mesura amb el seu dispositiu mèdic de manera remota. Un cop obté la lectura, es connecta aquest dispositiu amb la centraleta i s'hi envia. La centraleta guardarà aquesta lectura i enviarà les dades al servidor en un format estandarditzat, gràcies al punt d'accés que ofereix connexió a internet. El servidor guardarà aquesta informació en una base de dades i gestionarà les alertes i consultes dels usuaris. El personal mèdic és l'encarregat d'atendre les alertes i comunicar als pacients les accions pertinents.



Figura 4.1.: Esquema bàsic del sistema

4.1.1. Dispositiu de mesures mèdiques

Per obtenir informació sobre l'estat de salut del pacient, és necessari un dispositiu de mesures mèdiques. Aquest, ha de permetre extreure'n les dades en format electrònic per tal de poder fer un seguiment telemàtic de les lectures.

El sistema pot suportar diferents models, sempre que el software de la centraleta es pugui comunicar amb ell i el servidor pugui gestionar aquell tipus de mesura, seguint un estàndard. El fet que cada fabricant utilitzi un protocol propi per la comunicació amb el dispositiu en complica l'extracció de les dades.

4.1.2. Punt d'accés

Per a realitzar la transmissió de la lectura cap al servidor, és necessari un punt d'accés que ofereixi connexió a internet.

Si la centraleta es troba en un domicili fix, és molt probable que aquest disposi de connexió a internet. Depenent de la connectivitat de la centraleta o la comoditat d'instal·lació es podrà fer mitjançant cablejat ethernet o WiFi.

Un dels objectius del sistema és la portabilitat d'aquest, i això inclou poder transmetre les lectures des de diferents indrets. Actualment, la majoria d'habitants disposen de smartphones amb tarifes de connexió a internet. La solució escollida ha estat utilitzar aquest smartphone per crear un hotspot [Tim] per oferir connectivitat a la centraleta de manera remota.

4.1.3. Centraleta

La centraleta és l'element que dona flexibilitat al sistema. Gràcies al software desenvolupat en aquest projecte, es pot modificar per comunicar-se amb dispositius de mesura diferents. Aporta les funcionalitats necessàries per a que el pacient pugui enviar les dades de la seva lectura de l'aparell de mesures al servidor. Un ordinador monoplaca ens pot oferir el marc de funcionalitats que necessitem per a la centraleta.

Instal·lació i configuració inicial

Per al correcte funcionament de la centraleta, s'ha d'instal·lar un sistema operatiu amb els programes i llibreries necessaris per treballar amb el dispositiu de mesures que es voldrà utilitzar. També és necessària una configuració prèvia dels punts d'accés que es volen utilitzar i de la informació del pacient, doctor i servidor, ja que cada centraleta està relacionada amb un pacient i aquesta informació és variable.

El procés d'instal·lació del software es pot replicar de manera senzilla amb la creació d'una imatge que contingui el sistema operatiu amb el software necessari configurat, i la informació variable es pot actualitzar de manera senzilla amb fitxers específics d'informació variable, d'on els programes n'extraurien les dades necessàries.

Comunicació dispositiu de mesura - centraleta

Aquesta comunicació serà possible gràcies a llibreries específiques, que permeten utilitzar el protocol requerit pel dispositiu de mesura.

La majoria de fabricants de dispositius de mesures mèdiques utilitzen protocols diferents per realitzar aquesta comunicació. Aquest fet provoca que sigui necessari utilitzar una llibreria diferent per comunicar-se amb cada dispositiu. Per això és important treballar amb codi obert i que es puguin desenvolupar tantes llibreries específiques com sigui possible, per tal de donar suport al màxim nombre de dispositius.

Base de dades local

S'utilitzarà una base de dades local per tal de realitzar un primer enregistrament de les lectures. Aquest registre s'utilitzarà per no duplicar dades i per saber si una lectura ha estat o no enviada al servidor. En aquesta base de dades ha de contenir, com a mínim, la informació necessària provinent de la lectura per a complir amb l'estàndard de transmissió de dades mèdiques.

Interfície d'usuari

Per tal que l'usuari pugui utilitzar correctament la centraleta és necessari una entrada per decidir quan s'han d'extreure i enviar les dades. Aquesta entrada pot ser un simple polsador.

Un sistema visual de gestió d'errors també serà molt útil, per indicar al pacient si la transmissió de les dades s'ha efectuat de manera satisfactòria o han aparegut errors comuns, com per exemple falta de connectivitat.

Transmissió de les dades al servidor

La transmissió de les dades es realitzarà de manera segura a través d'internet, utilitzant protocol HTTPS.

Les dades seran enviades en format JSON [Shi10] seguint l'estàndard Health Level 7, el qual trobem explicat de manera detallada en l'apartat estàndard de comunicació de dades.

El JSON amb les dades serà enviat mitjançant un POST per HTTPS a la URL `https://<servidor>/new_entry`, on `<servidor>`; serà la direcció web del `<servidor>`; a utilitzar.

4.1.4. Estàndard de comunicació de dades

En el sistema proposat s'ha escollit l'estàndard Health Level 7 [17i], un dels més extensos i populars, per definir la forma que han de tenir les lectures per tal ser enviades i processades pel servidor. D'aquesta manera es fomenta la interoperabilitat entre dispositius, i es clarifica el format del missatge. El present projecte s'ha basat en l'estàndard HL7 FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) [17j], en el qual es transmeten les dades mitjançant estructures JSON a través de HTTPS.

Aquest estàndard resulta difícil d'implementar degut a les seves dimensions, i en el sistema dissenyat s'ha d'aplicar de manera que la transmissió de les dades sigui compatible únicament amb el tipus de mesures amb les que es treballarà. En aquest cas és impossible e ineficient abarcar el protocol al complet, ja que requereix de paràmetres del pacient i dels dispositius que desconeixem i no són rellevants per les funcions a les que es limita el sistema.

4.1.5. Servidor

El servidor s'encarrega de rebre les dades de la centraleta, enregistrar-les una base de dades i gestionar les consultes i alertes, a través d'una aplicació web.

El servidor ha de permetre comunicar-se de forma segura amb les centraletes, mitjançant protocol HTTPS [Jul13]. Per tal d'utilitzar aquest protocol, és necessari que el servidor disposi d'un certificat web validat per una entitat certificadora.

Recepció de dades

La recepció de dades es realitza des de l'aplicació web, que rep el POST de la centraleta i n'extreu el contingut per enregistrar-lo a la base de dades. Per tant, ha d'existir una funcionalitat en el servidor s'encarregui de tractar el JSON rebut a la URL `https://<servidor>/new_entry`, on `<servidor>`; serà la direcció web del servidor.

Base de dades

La base de dades ha de ser dissenyada per encabir les dades d'acord amb el protocol HL7. Això significa que s'ha d'adaptar al tipus de lectures amb les quals es treballi.

És necessari una base de dades per les lectures i un altre que contingui informació sobre el pacient. Aquesta informació s'utilitza per poder oferir teleassistència.

Consultes

Les consultes a la base de dades es realitzen a través d'una aplicació web. Aquesta pot tenir interfície gràfica o no. El fet de tenir-ne, fa que realitzar consultes sigui més intuïtiu per usuaris de tots els nivells. Les dades han d'estar protegides, pel que és necessari identificar l'usuari que realitza la consulta.

En el cas de que les dades es vulguin utilitzar amb programes externs, serà molt útil la implementació d'una API que segueixi els estàndards de HL7 FHIR en la comunicació.

Alertes

El servidor processa les lectures entrants i, en cas de rebre un valor anormal, genera una alerta visible pel personal mèdic i de teleassistència.

El rang de valors normals ha d'estar definit prèviament, i es requereix personal de teleassistència per atendre aquestes alertes, els quals contactaran per via telefònica amb el pacient.

4.2. Funcionament del sistema

En aquesta secció es descriu el funcionament del sistema dissenyat.

Transmissió d'una lectura

El pacient realitza de manera remota la seva lectura amb l'ajuda del dispositiu mèdic pertinent, connecta la centraleta, li ofereix internet (facilita un punt d'accés) i li dona l'ordre de transmetre-la al servidor.

En aquest moment la centraleta es comunica amb el dispositiu de mesura i guarda la nova lectura en una base de dades.

Tot seguit, s'estructura un JSON amb la informació de la lectura d'acord amb l'estàndard HL7 i s'inicia la transmissió per HTTPS a la URL designada. Es notifica l'estat de la transmissió al pacient mitjançant l'interfície d'usuari i en cas de ser satisfactori s'apaguen aquests dispositius. En cas d'error, es reintenta o es contacte amb el servei tècnic.

Recepció d'una lectura

El servidor rep el fitxer i l'enregistra a una base de dades. En cas d'una lectura anormal, es genera una alerta visible per el personal de teleassistència, qui es posarà en contacte amb el pacient per indicar-li les instruccions a seguir.

Consulta de lectures

La consulta de les lectures es realitzarà a través d'una aplicació web. Per a realitzar una consulta l'usuari s'haurà d'identificar prèviament. Si té els permisos necessaris, se li facilitarà la informació.

5. Implementació del sistema

En el present treball es realitza una primera implementació del sistema dissenyat en l'apartat anterior, en el cas pràctic d'un glucòmetre.

5.1. Descripció del sistema

El sistema estarà format per un glucòmetre, una centraleta, un punt d'accés a internet i un servidor amb una aplicació web. A la figura 5.1 podem observar l'esquema del complet, el qual es detalla en els apartats que continuen aquesta secció.

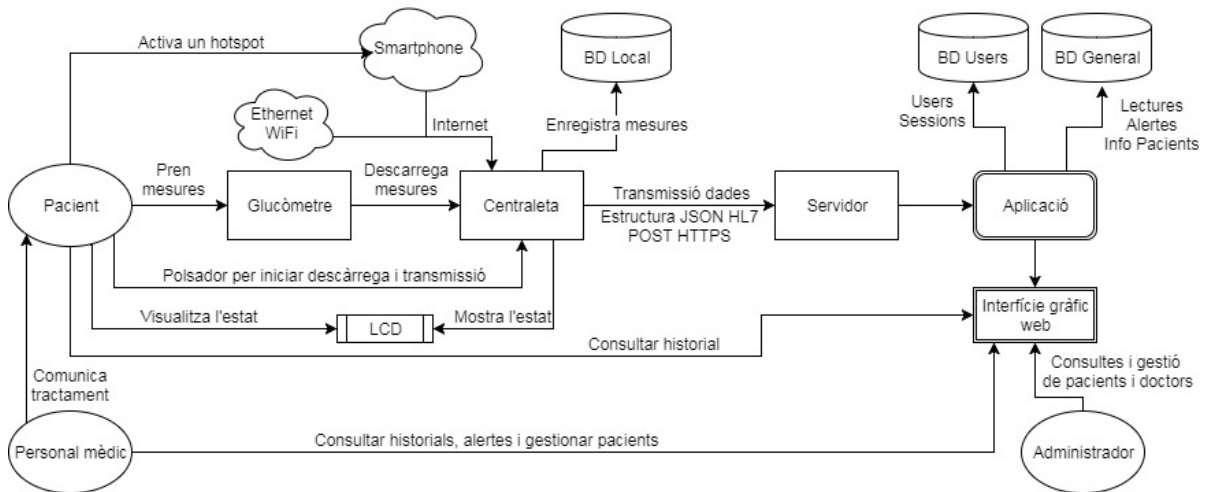


Figura 5.1.: Esquema de funcionament complet.

5.2. Glucòmetre

Pràcticament la totalitat de glucòmetres utilitzen protocols de comunicació propis, fet que en dificulta l'extracció de les dades. Per aquest fet, alguns desenvolupadors de software s'han dedicat a realitzar enginyeria inversa sobre aquests protocols i han aconseguit crear llibreries de codi obert que permeten aquesta comunicació.

El glucòmetre escollit ha estat el FreeStyle Optium Neo [17f]. S'ha escollit aquest dispositiu per recomanació de Diego Elio Pettenó [Pet17], autor de la llibreria glucometer-utils [17g], la qual s'utilitzarà en aquesta implementació.

Aquest dispositiu és un glucòmetre que permet mesurar els nivells de glucosa i de cossos cetònics en sang. En aquest cas només s'obtenen mesures de glucosa. Compta amb una memòria on enregistra l'historial de les mesures realitzades. Utilitzant el protocol adequat aquestes es poden extreure a través del port microUSB.

5.3. Centraleta

Per transmetre les dades a un servidor és necessari ampliar les funcionalitats del glucòmetre. Volem un sistema portàtil que el pacient pugui portar amb ell. Per a realitzar aquesta funció, s'ha escollit l'ordinador monoplaca Raspberry Pi 3 [17o], que ens ofereix connectivitat Wi-Fi, Ethernet i USB. Aquest dispositiu compta amb pins GPIO [17p] que s'utilitzaran per crear la interfície d'usuari.

5.3.1. Llibreria glucometer-utils

La llibreria que utilitzarem per la comunicació glucòmetre-centraleta s'anomena glucometer-utils [17g], i ha estat desenvolupada principalment per Diego Emilio Pettenó [Pet17]. Aquesta llibreria està escrita en Python 3.2 i ens ofereix les funcions necessàries per extreure la informació que volem del glucòmetre.

La llibreria glucometer-utils ha estat creada per tal d'extreure informació del glucòmetre, i és necessari modificar i afegir funcionalitats a la llibreria per poder complir amb les tasques definides en el disseny.

Mòduls

support Conté les funcions per establir la comunicació amb el glucòmetre segons el dispositiu que s'utilitza. S'encarrega d'enviar les comandes i rebre les dades. Aquest mòdul no ha estat modificat.

common Permet realitzar accions comunes entre diferents dispositius, com ordenar i convertir les dades, per tal d'obtenir resultats més uniformes. Aquest mòdul no ha estat modificat.

drivers Permet retornar de manera estructurada la informació recopilada, amb l'ajuda dels mòduls support i common. Aquest mòdul no ha estat modificat.

exceptions Mostra errors comuns, per tal que siguin fàcilment detectables. S'han afegit excepcions en treballar amb la base de dades i amb el servidor. Ara les excepcions es mostren per la pantalla LCD.

db support Ofereix les funcions per enregistrar les dades recollides en una base de dades SQLite3. Aquest mòdul s'ha creat des de zero. A l'apartat 5.3.3 trobem l'estructura d'aquesta base de dades.

sync support Conté les funcions per a sincronitzar les dades de la base de dades amb el servidor. Aquestes dades es complementen amb un JSON amb informació sobre el pacient i s'assigna un id a la mesura, basat en un hash amb el nom del pacient i la marca de temps de la mesura (entenem que és únic). També genera el missatge en format JSON estandaritzat, que s'ha basat en l'exemple d'observació [17k] que proporciona. Aquest mòdul s'ha creat des de zero.

status support Aquest modul s'encarrega de controlar la pantalla LCD i els missatges que s'hi mostren. Aquest mòdul s'ha creat des de zero. S'utilitza la llibreria RPLCD [17n] per comunicar-se amb el dispositiu.

glucometer Permet realitzar totes les accions, indicant els paràmetres necessaris. Era la base de la llibreria inicial i s'ha decidit mantenir, afegint les funcionalitats que aporten els nous mòduls.

autorun Aquest programa s'ha creat per estar en constant execució. Conté els paràmetres variables per tal que siguin fàcilment editables. Activa una interrupció en el pin 11 per tal d'iniciar la comunicació amb el glucòmetre i l'enviament de dades, i s'utilitza la pantalla LCD per indicar l'estat de la transmissió.

5.3.2. Interfície d'usuari

Com a interfície d'usuari s'ha utilitzat un polsador i una pantalla LCD de 2x16.

Polsador En prémer el polsador s'activa l'event del mòdul autorun. Es troba connectat al pin 11.

Pantalla LCD S'utilitza la pantalla per indicar l'estat de la transmissió i possibles mal funcionaments. Es tracta d'una pantalla LCD amb 2 files de 16 caràcters. Utilitza el controlador Hitachi HD44780[17h].

5.3.3. Base de dades

S'ha creat la base de dades local.db amb tres taules per enregistrar i estructurar la informació provinent del glucòmetre, tal com s'observa a la figura 5.2.

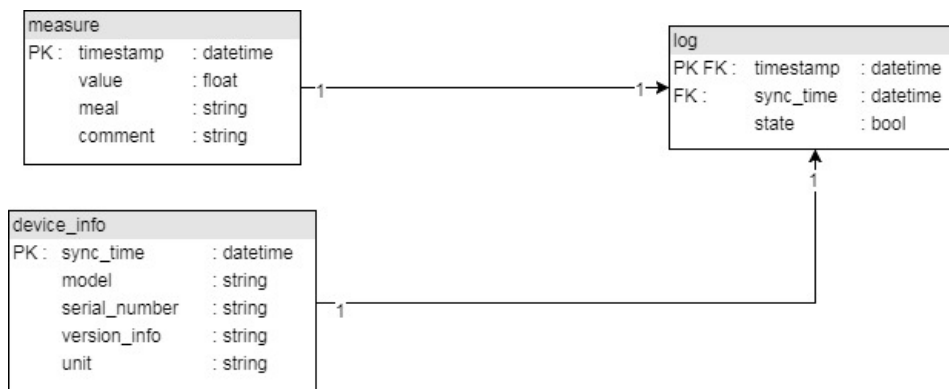


Figura 5.2.: Estructura de la base de dades de la centraleta

measure En aquesta taula es guarda la informació relacionada amb la mesura realitzada.

device info En aquesta taula es guarda la informació relacionada amb el dispositiu, per conèixer les condicions en que s'ha realitzat la mesura.

log Aquesta taula s'utilitza com a registre per saber quines mesures han estat transmeses al servidor i quines no.

5.3.4. Configuració inicial

Per començar a treballar amb la llibreria que s'ha modificat, és necessari aplicar una configuració que possibiliti el correcte funcionament de la centraleta.

Configuracions RaspberryPi 3

S'ha utilitzat una RaspberriPi 3 amb Raspbian Jessie Lite [17q] com a sistema operatiu.

Connectivitat És necessari oferir al dispositiu connexió a internet. Per aconseguir una connectivitat portable, és necessari l'accés a una xarxa sense fils. En aquest cas, s'ha creat un hotspot amb un smartphone que disposa de connexió a internet. Aquest hotspot s'ha configurat per a que es pugui reconèixer des de la Raspberry Pi 3, de la manera següent:

```
$ nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
network={
ssid="NOM_XARXA"
psk="PSSWD"
}
$ wpa_cli reconfigure
```

En el cas de disposar de cable ethernet no es requereix configuració addicional.

Recursos software Per utilitzar la llibreria és essencial tenir instal·lat Python 3.2 o superior amb les dependències necessàries. A continuació es pot observar com comprovar la versió i instal·lar aquestes dependències:

```
$ apt install python3
$ python3-V
$ apt install python3-pip
$ apt install sqlite3
$ apt install RPi.GPIO
$ apt install python3-dateutil
$ pip3 install RPLCD
```

Informació del pacient

És necessari un fitxer JSON amb la informació del pacient i del seu doctor per poder generar el missatge seguint estàndards de HL7. Aquest fitxer ha d'estar ubicat a la carpeta '~/home/pi' i s'ha d'anomenar 'patient.json'.

5.4. Servidor

S'ha creat el servidor utilitzant Flask [17e], un framework basat en Python que permet engegar un servidor de manera àgil.

El servidor que s'utilitza per ubicar el nostre servei és d'Amazon [17b]. Ofereix servei gratuït durant un any i permet la implementació del sistema proposat.

5.4.1. Configuració del servidor

En aquest apartat s'exposen els passos previs a la implementació del servei web.

Instància

S'ha creat una instància t2.micro [17m], suficient per a la implementació demostrativa del sistema, amb una imatge Ubuntu 16.04 [17w]. Aquesta instància s'ha relacionat amb una ip elàstica per tal d'accedir-hi sempre amb la mateixa direcció.

Recursos software

El servei web s'ha desenvolupat utilitzant el framework Flask. Aquest framework, basat en Python 2.6, requereix llibreries extres per tal d'ampliar funcionalitats. S'hi ha instal·lat el framework i les llibreries extres utilitzant les comandes següents:

```
$ apt install python-pip
$ pip install Flask
$ pip install flask-login
$ pip install SQLAlchemy
$ apt install sqlite3
$ apt install openssl
```

Domini

S'ha registrat el nom de domini 'ehealthsystem.tk' de manera gratuïta, i s'ha relacionat amb la ip elàstica de la instància on està funcionant el servidor. D'aquesta manera simplifiquem l'accés als serveis web.

Certificat ssl

S'ha obtingut un certificat ssl per al domini registrat a través de SSL For Free [17u] que ofereix aquest servei de manera gratuïta. Aquest certificat és necessari per establir una comunicació segura de les dades a través de protocol HTTPS.

5.4.2. Base de dades

S'utilitzen dues bases de dades diferents, una per gestionar la informació dels pacients i un altre per gestionar els usuaris i sessions que poden accedir al sistema, que s'han dividit en pacients, doctors i administradors.

Base de dades d'usuaris

En aquesta base de dades s'utilitza per gestionar els usuaris i sessions del servei web. És gestionada amb SQLAlchemy [17t], que permet treballar amb sessions utilitzant el sessionmaker [17s]. S'ha anomenat "data.db". És important que el nom d'usuari coincideixi amb la id del pacient, o no podrà consultar les seves dades.



Figura 5.3.: Estructura de la base de dades d'usuaris

Base de dades de resultats

En aquesta base de dades s'enregistren les lectures dels pacients i s'ha anomenat "general.db", ja que també s'hi emmagatzemen alertes que es generen i la informació de contacte dels pacients. Permet enregistrar la informació que s'espera rebre d'un missatge que segueix l'estàndard HL7. L'estructura d'aquesta base de dades s'ha definit seguint les instruccions [17l] proporcionades per HL7.

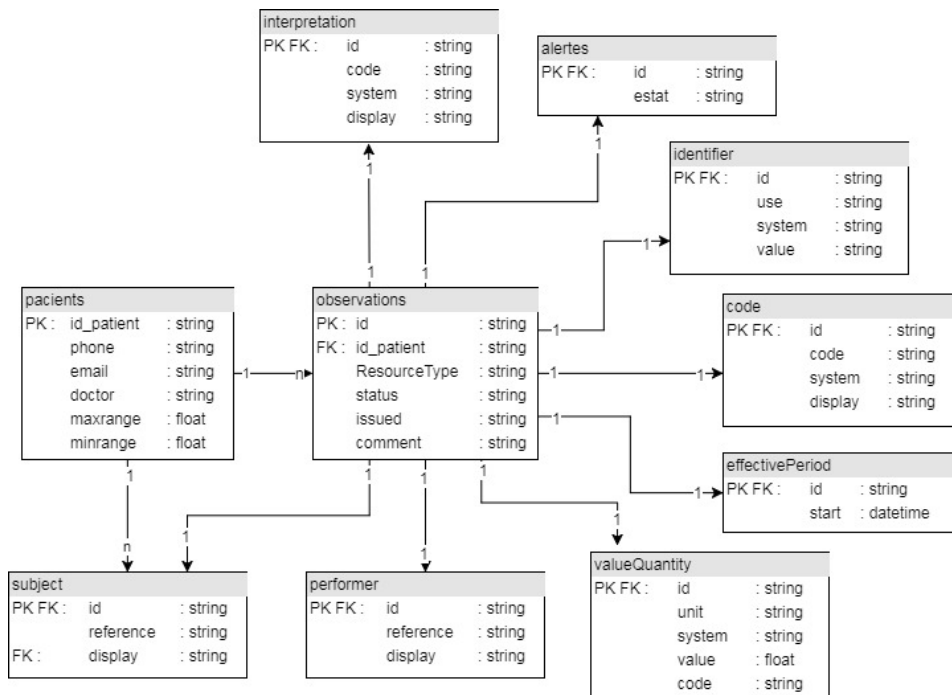


Figura 5.4.: Estructura de la base de dades d'informació dels pacients en el servidor

5.4.3. Aplicació web

L'aplicació web permet gestionar les peticions del servidor. S'encarrega d'enregistrar les dades, identificar i gestionar els usuaris i de realitzar consultes.

Log In

És necessari implementar un sistema de Log In per tal d'identificar el tipus d'usuari i protegir les dades. Distingirem 3 tipus d'usuaris bàsics:

Patient Els pacients podran accedir al servei web per consultar l'historial de les seves pròpies mesures.

Doctor Els doctors i el personal mèdic tindran accés als historials de mesures i dades dels pacients, i podran afegir a la base de dades usuaris 'patient'. També pot veure les alertes generades.

Administrador L'administrador pot controlar tot el sistema. També pot crear usuaris doctors i pacients.

Recepció de dades

La funció `new_entry()` és l'encarregada de rebre el JSON. Un cop l'ha rebut, utilitza la funció `insert_data()` del mòdul `manage_db.py` per procedir a enregistrar la informació obtinguda a la base de dades `general.db`. En el cas que el valor hagi estat anormal, genera una alerta.

Gestió d'alertes

Les alertes queden enregistrades a la base de dades. En rebre una lectura, es compara amb el rang definit per al pacient. En cas d'estar fora d'aquests límits, s'enregistra la id assignada a la lectura i es marca com a pendent de solucionar. Les alertes pendents de solucionar poden ser revisades pels usuaris doctor i administrador, els quals veuen el valor de la lectura i informació de contacte del pacient (telèfon i email). Un cop s'han comunicat les accions pertinents es pot marcar l'alerta com a solucionada i desapareix del registre de la web.

Vistes

A continuació es fa una descripció del que podem trobar a l'entorn web.

Log In Per utilitzar l'aplicació web és necessari iniciar sessió. Compta amb un formulari, per introduir el nom d'usuari i la contrasenya, i un botó per enviar les dades.

Home Aquesta és una simple pàgina d'inici. Compta amb una barra de navegació per accedir als diferents serveis.

History Els usuaris pacients troben un botó que els permet accedir al seu historial de mesures. Els usuaris doctor i administrador troben un formulari per cercar l'historial del pacient pel seu nom.

Manage Users Aquesta funció només és visible pels usuaris doctor i administrador. Els usuaris doctor poden afegir nous pacients a la base de dades, mentre que els administrador poden afegir també doctors. Aquest procés es realitza a través d'un formulari.

Alerts Els usuaris doctor i administrador poden veure un llistat de les alertes no resoltes. Aquestes alertes compten amb el nom del pacient, el resultat de la mesura i informació de contacte. Un cop s'han comunicat amb el pacient, es disposa d'un botó per resoldre l'alerta i deixar de mostrar-la.

6. Línies futures

La implementació que s'ha desenvolupat en aquest projecte és de caràcter demostratiu. Per fer-lo atractiu pels usuaris i estendre'n l'ús, cal millorar certs aspectes i afegir-hi funcionalitats, tant en la centraleta com en el servidor.

Les millores proposades per la centraleta són les següents:

- Construir una caixa de protecció per a la centraleta que integri la pantalla LCD, el botó per transmetre les dades i obertures per les connexions.
- Crear una imatge amb el sistema configurat per instal·lar ràpidament en el dispositiu.
- Ampliar la llista de dispositius amb que es comunica, desenvolupant llibreries que integrin els protocols de cada dispositiu.
- Afegir una bateria al sistema per tal de fer-lo portable i autònom.

El servidor té un marge de millora pràcticament il·limitat, ja que a l'aplicació web s'hi poden afegir totes les funcionalitats que el desenvolupador desitgi. Les millores proposades per la centraleta són les següents:

- Implementar una API totalment compatible amb el sistema HL7 FHIR RESTful [17r]. D'aquesta manera les dades podrien ser consultades per programes independents de manera automàtica. Aquesta funció és la més rellevant.
- Afegir perfils d'usuaris, com personal de teleassistència (gestionar alertes) o gestor del sistema (no pot veure la informació dels pacients).
- Afegir una interfície de modificació de dades.
- Implementar recordatoris a pacients, per realitzar una mesura en cas que hagi transcorregut un temps determinat des de l'última lectura rebuda.
- Oferir un apartat de gràfiques des de l'aplicació web on es realitzen les consultes.
- Oferir estadístiques tant dels resultats dels pacients com estadístiques generals per a l'administració.
- Millorar la seguretat del servidor. La implementació realitzada en aquest treball no contempla usos no esperats, i és fàcilment manipulable.

Finalment, ampliar el suport a altres tipus de mesures. Aquesta millora va lligada a la centraleta i al servidor.

7. Conclusions

Les tecnologies de la informació i la comunicació tindran un paper fonamental en la prevenció. La internet de les coses permet la captació de dades de manera massiva, i aplicant-hi un processament adequat a través del big data [17c] és possible extreure'n conclusions i actuar de manera precoç per minimitzar-ne els efectes negatius.

Aquesta tecnologia, aplicada a la sensòrica de les persones, ens ofereix la possibilitat de diagnosticar problemes de salut en fases inicials, quan són molt més fàcils de tractar i proporciona comoditat, ja que els pacients poden ser monitorats sense necessitat d'estar en un centre mèdic. Per tant, la seva implementació millora la qualitat de vida dels pacients.

Tot hi que en l'actualitat s'estan desenvolupant multitud de sistemes de teleassistència i telemesura mèdiques, hi ha una falta d'estandardització en el sector. Les empreses dissenyen els sistemes amb protocols de comunicacions propis, i es fa molt complicat aconseguir una interoperabilitat entre dispositius de diferents fabricants. Això és propiciat en part per la falta d'estàndards oberts de fàcil implementació.

Respecte al sistema dissenyat, es pot afirmar que s'han assolit els objectius fixats. S'ha ideat un sistema modular capaç d'adaptar-se a dispositius de diferents fabricants i que segueix estàndards en les funcions que més crítiques, com la transmissió de les dades. El fet de que sigui un sistema inclusiu i de codi obert, s'està creant un atractiu per a que hi col·laborin desenvolupadors. Aconseguir una comunitat de desenvolupadors és essencial per a que un sistema de codi obert tingui èxit.

En quant a la implementació, s'ha aconseguit un sistema funcional, però amb deficiències en la seguretat i fiabilitat. El cost del sistema implementat ha estat baix (inferior als 100 euros comptant el glucòmetre utilitzat) en comparació amb altres dispositius com els de cooking-hacks [17d], que proporcionen dispositius per realitzar mesures mèdiques a uns preus molt superiors. La falta de llibreries en codi obert per comunicar-se amb els glucòmetres i la complexitat dels estàndards d'eHealth han dificultat la implementació del sistema tal i com s'havia dissenyat. Tot hi això, el resultat final a mode demostratiu compleix la seva funció.

Com a projecte, considero que ha estat complet i s'han aplicat la majoria dels coneixements adquirits al llarg del grau en enginyeria de sistemes TIC.

Bibliografia

- [17a] *7es Jornades TIC Salut i Social Sensòrica al servei de les persones*. 2017. URL: <http://www.ticsalut.cat/actualitat/agenda-dactes-i-cursos/seccio/32/262/7es-jornades-tic-salut-i-social-2017> (cons. 13-10-2017).
- [17b] *Amazon Web Services*. 2017. URL: <https://aws.amazon.com/es/> (cons. 13-10-2017).
- [17c] *Big Data¿En qué consiste? Su importancia, desafíos y gobernabilidad*. 2017. URL: <https://www.powerdata.es/big-data> (cons. 13-10-2017).
- [17d] *Cooking Hackse-Health Shield RPi*. 2017. URL: <https://www.cooking-hacks.com/ehealth-sensor-shield-biometric-medical-arduino-raspberry-pi> (cons. 13-10-2017).
- [17e] *Flask A Python Microframework*. 2017. URL: <http://flask.pocoo.org/> (cons. 13-10-2017).
- [17f] *FreeStyle Optium Neo Abbott Diabetes Care*. 2017. URL: <http://www.abbottdiabetescare.es/freestyle-optium-neo> (cons. 13-10-2017).
- [17g] *GitHub - Flameeyes/glucometerutils*. 2017. URL: <https://github.com/Flameeyes/glucometerutils> (cons. 13-10-2017).
- [17h] *HD66780U LCD-II*. 2017. URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf> (cons. 13-10-2017).
- [17i] *Health Level Seven*. 2017. URL: <http://www.hl7.org> (cons. 13-10-2017).
- [17j] *Health Level Seven FHIR*. 2017. URL: <http://wiki.hl7.org/index.php?title=FHIR> (cons. 13-10-2017).
- [17k] *HL7 FHIRObservation example f001 glucose JSON*. 2017. URL: <https://www.hl7.org/fhir/observation-example-f001-glucose.json.html> (cons. 13-10-2017).
- [17l] *HL7 FHIRResource Observation*. 2017. URL: <http://hl7.org/fhir/observation.html> (cons. 13-10-2017).
- [17m] *Instancias T2 de Amazon*. 2017. URL: <https://aws.amazon.com/es/ec2/instance-types/t2/> (cons. 13-10-2017).
- [17n] *Python Software Foundation RPLCD*. 2017. URL: <https://pypi.python.org/pypi/RPLCD/0.4.0> (cons. 13-10-2017).
- [17o] *Raspberry Pi 3 Model B*. 2017. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (cons. 13-10-2017).
- [17p] *Raspberry Pi Hardware GPIO*. 2017. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/gpio/README.md> (cons. 13-10-2017).
- [17q] *Raspbian*. 2017. URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> (cons. 13-10-2017).

- [17r] *REST API* What is REST? 2017. URL: <http://www.restapitutorial.com/lessons/whatisrest.html> (cons. 13-10-2017).
- [17s] *Sessionmaker Session API*. 2017. URL: http://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/session_api.html (cons. 13-10-2017).
- [17t] *SQL Alchemy Documentation*. 2017. URL: <http://docs.sqlalchemy.org/en/latest/> (cons. 13-10-2017).
- [17u] *SSL For Free* Free SSL Certificates in Minutes. 2017. URL: <https://www.sslforfree.com/> (cons. 13-10-2017).
- [17v] *The LaTeX Project*. 2017. URL: <https://www.latex-project.org/> (cons. 13-10-2017).
- [17w] *Ubuntu xenialaws Marketplace*. 2017. URL: <https://aws.amazon.com/marketplace/pp/B01JBL2M00/> (cons. 13-10-2017).
- [Jul13] Guillermo Julián. *HTTPS* así funciona. 2013. URL: <https://www.genbeta.com/web/https-asi-funciona> (cons. 13-10-2017).
- [Pet17] Diego Elio Pettenò. *Flameeyes's Website*. 2017. URL: <http://www.flameeyes.eu> (cons. 13-10-2017).
- [Pie13] Dra. Mercè Piera. *Día nacional del paciente anticoagulado*. 2013. URL: <https://www.medicina21.com/Articulos/V2969/Dia-Nacional-del-paciente-anticoagulado.html> (cons. 13-10-2017).
- [Shi10] Sang Shin. "Introduction to json (javascript object notation)". A: *Presentation* www.javapassion.com (2010).
- [Tim] Falko Timme. *Using an Android smartphone as a WLAN hotspot*. URL: <https://www.tecnonauta.com/notas/767-que-es-el-servicio-wifi-hotspot-en-el-movil> (cons. 13-10-2017).
- [Xia+12] Feng Xia et al. "Internet of things". A: *International Journal of Communication Systems* 25.9 (2012), pàg. 1101.

Part II.
Apèndixs

Apèndixs del document

1. Manual d'usuari pacient

1.1. Instruccions per transmetre una mesura des del domicili

- 1) Realitzar la mesura amb el glucòmetre.
- 2) Connectar el glucòmetre amb la centraleta mitjançant el cable USB-microUSB.
- 3) Quan es llegeixi a la pantalla el missatge "Ready to start" podem prémer el botó.
- 4) Si apareix l'error "Missing Device", reconnectar el glucòmetre amb la centraleta.
Si apareix l'error "Server Error", assegurar que es disposa de connexió a internet.
Si segueix fallant, utilitzar les instruccions per transmetre una mesura des de fora del domicili.
Si apareix l'error "Server OFF", reintentar més tard.
- 5) Un cop aparegui el missatge "Sync successful", la transmissió ha finalitzat correctament i es pot procedir a retirar el glucòmetre.

1.2. Instruccions per transmetre una mesura des de fora del domicili

- 1) Realitzar la mesura amb el glucòmetre.
- 2) Connectar el glucòmetre amb la centraleta mitjançant el cable USB-microUSB.
- 3) Activar la connexió hotspot del smartphone amb la configuració proporcionada pel tècnic instal·lador.
- 4) Quan es llegeixi a la pantalla el missatge "Ready to start" podem premer el botó.
- 5) Si apareix l'error "Missing Device", reconnectar el glucòmetre amb la centraleta.
Si apareix l'error "Server Error", assegurar que es disposa de connexió a internet.
Si apareix l'error "Server OFF", reintentar més tard.
- 6) Un cop aparegui el missatge "Sync successful" la transmissió ha finalitzat correctament. Es pot procedir a retirar el glucòmetre i apagar el hotspot.