Sistema remot de monitoratge cardíac implementat amb programari lliure

Daniel Fornons[1], Tomas Palleja[2]

[1]Univeritat Oberta de Catalunya, Avenida del Tibidabo 39-43,3 08035, Barcelona, Catalunya, Espanya.

[2]Cornell University, Barton Laboratory, Geneva, NY 14456, USA

dfornonso@uoc.edu, tpc63@cornell.edu

Resum: Segons la Organització Mundial de la Salut les malalties cardiovasculars són la principal causa de mort a escala mundial. La utilització de sistemes de monitoratge remots en medicina, telemedicina, permet reduir costos, tan als pacients com als serveis sanitaris, millorar l'eficàcia del tractament i el seguiment de la malaltia per part del personal sanitari i del propi pacient. Aquest projecte té com objectiu crear un sistema de monitoratge de baix cost que permeti als usuari enregistrar el ritme cardíac (RC) i la variabilitat de la freqüència cardíaca (VFC) i compartir-los. A més a més, El sistema creat també es útil en el camp de l'Esport per a monitorar els entrenament dels esportistes i detectar diferents fase de la preparació com l'afinament o el sobreentrenament. Per obtenir les dades de RC i VFC s'utilitza una cinta amb un sensor de ritme cardíac comercial que, mitjançant la tecnologia Bluettoth Low Energy, es connecta amb una aplicació per a mòbils que enregistra els paràmetres obtinguts i els envia a un servidor web. Per desenvolupar l'aplicació mòbil s'ha utilitzat la plataforma Android i pel servidor web s'ha utilitzat un sistema LAMP (Linux, Apache, Mysql i Python) i el framework web Django. El seu funcionament s'ha provat a partir d'uns tests suggerits pels experts consultats.

Paraules clau: Telemedicina, Entrenament, Ritme Cardíac, Variabilitat de la Freqüència cardíaca, Android, Django.

1. Introducció

La incorporació de les Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC) al món sanitari està suposant un motor de canvi per millorar la qualitat de vida dels ciutadans, afavorint el desenvolupament d'eines dirigides a donar resposta en àrees com la planificació, la informació, la investigació, la gestió, la prevenció, la promoció, el diagnòstic o el tractament. Així, des d'un punt de vista general, podem distingir tres grans grups d'aplicacions telemàtiques multimèdia [1] per a sanitat: 1) sistemes per infraestructures corporatives, que donen connectivitat electrònica i suport avançat amb finalitats generals i administratives, 2) aplicacions de serveis d'informació per professionals i pacients, accés a bases de dades i de coneixement, incloent serveis tipus http sobre TCP/IP i 3) aplicacions orientades a donar suport de comunicació en les tasques mèdiques, clíniques i quirúrgiques.

Ateses les dificultats que pateixen milers de persones per accedir als serveis de salut neix la idea de la medicina a distància, també anomenada telemedicina. Aquesta és especialment necessària per aquelles persones que viuen soles i/o en zones rurals, on els sistemes de salut pública no arriben, o ho fan de forma deficient. Alhora, alguns treballs recents suggereixen que la tecnologia mòbil per la telemedicina podria reduir costos i millorar l'eficàcia del tractament i vigilància de malalties [2]. A més a més, altres avantatges de la telemedicina pel que fa els diferents actors que formen part del

procés d'intercanvi d'informació (el sistema, els professional i els pacients) són: pel sistema, es produeix un augment de la eficiència a través de l'optimització de recursos assistencials; pels professionals, es millora la comunicació entre professionals i s'obté un millor accés a les dades dels pacients; per als pacients, una major accessibilitat als recursos sanitaris, a la informació dels seus problemes, una major concepció integral del pacient i una universalització de l'assistència. [3]

Els avenços tecnològics en el camp del intercanvi d'informació permeten un desenvolupament vertiginós de la telemedicina, que els més aventurats asseguren que canviarà, parcialment, el model d'atenció dels pacients [3]. El ràpid avanç de les tecnologies de comunicació mòbil ofereix incomptables oportunitats pel desenvolupament d'aplicacions de programari i maquinari dedicades al monitoratge remot de malalties cròniques [4]. Els telèfons intel·ligents d'última generació, equivalents a petits ordinadors, permeten el desenvolupament de noves aplicacions en el camp de la salut. Actualment, els telèfons mòbils s'han convertit en una eina essencial pels professionals de la salut tal com es pot veure en l'estudi de Bert at al. [5] on es realitza una recerca biogràfica a PubMed [6], un motor de cerca de lliure accés de la base de dades de Medline [7] , obtenint 32 articles centrats en la promoció de la salut amb l'ajuda dels telèfons mòbils, i classifiquen els possibles usos dels telèfons intel·ligents en el camp de la promoció de la salut en quatre categories: nutrició, activitat física, estils de vida i salut de les persones grans. Els autors conclouen que, els telèfons mòbils intel·ligents estan transformant els mitjans de comunicació tot i que la falta de seguiment dels continguts, la bretxa digital, la confidencialitat de les dades, l'exclusió del professional de la salut de la gestió del pacient, són els principals riscos relacionats amb el seu ús.

Amb l'objectiu d'entendre quins són els requeriments i les expectatives que tenen els metges i els hospitals d'un servei remot de monitoratge de la salut, Agarwal i Lau [8] van realitzar un estudi a un centenar de metges, especialistes cardiòlegs. Els resultats de l'estudi indiquen que la majoria de metges creuen que les soluciones remotes de monitoratge de la salut són beneficials i milloraran la qualitat de les cures de la salut. Segons els autors els metges, especialistes en cardiologia, els paràmetres preferits per ser monitoritzats són pressió sanguinea (95%), glucosa (92%), ritme cardíac (62%), pes (50%) i altres (12%), aquestes inclouen la presa de medicaments, electrocardiogrames (ECG), saturació d'oxigen i arítmies cardíaques. Com exemples de sistemes de monitoratge sanitari podem veure els desenvolupant per Argwal i Lau [8], Garcia [4] i Virglinio i Braidot [2]. En primer lloc, Agarwal i Lau [8] realitzen un servei remot de monitoratge de la salut centrat en la diabetis i la hipertensió, que proporciona la recollida de mesures de pressió sanguínia dels pacients a través del telèfon mòbil, transmet aquestes dades als metges a través de una interfície i permet als metges administrar l'estat crònic mantenint el contacte remota amb els pacient. En segon lloc, Garcia [4] realitza un projecte de monitoratge de pacients amb la necessitat de mantenir un control de determinades constants vitals com la tensió, temperatura i saturació d'oxigen. Per això utilitza aparells mèdics de mesura que poden ser connectats sense fils a sistemes mòbils de telecomunicació habituals (telèfons intel·ligents, tauletes, etc.).. Finalment, en el treball de Virglinio i Ariel Braidot [2] es proposa un sistema de telemedicina de baix cost per monitoritzar paràmetres fisiològics (ECG y paràmetres fotomecànics) de forma remota, des de zones rurals o urbanes, utilitzant telefonia mòbil amb sistema operatiu Android i un servidor remot para l'emmagatzemament massiu de dades. S'utilitza un sistema de l'empresa Freescale (Austin, TX, EUA) per adquirir les senyals fisiològiques i biomecàniques, i enviar-les al dispositiu mòbil a través del protocol Bluetooth. Les dades adquirides en el sistema mòbil són emmagatzemades de forma massiva a la targeta de memòria flash de forma local; i després són enviades al servidor remot per mitjà de GPRS o un altre tipus de connexió a Internet. Els paràmetres són visualitzats en la pantalla del telèfon mòbil i en el servidor remot, permetent l'anàlisi i el diagnòstic.

Les malalties cardiovasculars, especialment les malalties del cor, les pulmonars o la diabetis són un problema que té un impacte dramàtic en la qualitat de vida de les persones afectades i en el cost de l'assistència sanitària [2]. La Organització Mundial de la Salut [9] estima que les malalties cardiovasculars són la principal causa de mort a escala mundial. Tot i els avanços en la comprensió de la malaltia, la nostra capacitat d'identificar els pacients en risc no ha arribat a nivells satisfactoris. La mort cardíaca sobtada segueix sent un dels problemes sense resoldre més importants en cardiologia clínica. En la majoria dels casos, la nostra atenció se centra en petits subgrups seleccionats de pacients en alt risc sense tenir en compte la majoria dels subjectes en els quals la mort cardíaca sobtada és la primera i l'última manifestació d'una malaltia cardíaca [10].

Els principals indicadors utilitzats per indicar el risc de malalties cardíaques són El Ritme Cardíac (RC) i la Variabilitat de la Freqüència Cardíaca (VFC). Segons Rodas [11] at al. el RC és un dels paràmetres no invasius més utilitzats per analitzar i valorar l'activitat cardíaca. També ha estat utilitzada com una tècnica pel mesurament de la despesa energètica (DE), segons Rennie [12] la mesura de la DE mitjançant la combinació del mesurament del RC amb sensors de moviment (M) pot tenir avantatges comparant-ho amb els dos mètodes per separat. Per comprovar-ho l'autor va utilitzar un instrument de mesura de ritme cardíac i moviment (RC+M) format per una sola peça que es porta al voltant del pit i registra el ritme cardíac i el moviment minut a minut. A més, el registre permanent del moviment resultaria adequat en persones d'edat avançada que poden sofrir caigudes pel deteriorament del sistema de locomoció [2]. Segons *The Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology* (TTFTESC i TNASPE) [13] les dos últimes dècades han estat testimoni del reconeixement d'una relació significant entre el sistema nerviós autònom i la mortalitat cardiovascular, incloent la mort sobtada. L'evidència experimental d'una associació entre una propensió a arítmies letals i signes d'augment del sistema nerviós simpàtic o de disminució de l'activitat vagal ha fomentat el desenvolupament de marcadors quantitatius de l'activitat autònoma. Segons Lombardi [14] l'anàlisi de la variabilitat de la freqüència cardíaca (FC) i de la sensibilitat barorreflexa són els dos que han proporcionat els resultats més interessants en termes de viabilitat, resultats clínics i valor predictiu. S'ha d'entendre la VFC com la variació de la freqüència, en milisegons, entre dos batecs del cor consecutius durant un període de temps determinat. La manera habitual de mesurar la variabilitat és a partir d'un ECG. En l'actualitat es disposa de diversos mètodes per mesurar la VFC, mesures durant un període curt de temps abans i després de posar aprova el sistema nerviós autònom, mesures durant 24 hores, monitoritzant tota l'activitat cardíacs, o mesures durant l'exercici físic. Els intervals RR (temps entre batecs) obtingut s'analitzen estadística i matemàticament per obtenir diferents paràmetres que aporten informació. Així doncs, tal com afirma TTFTESC i TNASPE [13] la VFR representa, actualment, un dels marcadors més prometedors per fer un seguiment mèdic del correcte funcionament del cor i l'aparent facilitat del càlcul de la VFR n'ha popularitzat el seu ús. El fet de que molts dispositius comercials proporcionin automàticament la VFR ha facilitat als cardiòlegs una eina aparentment simple tant per a la investigació com pels estudis clínics.

Per a monitoritzar el RC s'utilitzen el Monitors de Ritme Cardíac (MRC). Segons Francis [15], s'espera que, en els propers anys, el segment de major creixement entre els sensors de micro sistemes electromecànics (MSEM), en dispositius portables, sigui el dels els monitors d'activitat que requereixen de sensors, com ara acceleròmetres, giroscopis i sensors de pressió per mesurar l'activitat física. També s'inclouen els sensors biomètrics per al monitoratge de del cos humà, com els marcapassos, els monitors de ritme cardíac, els mesuradors de pressió arterial, el pH, els mesuradors de glucosa, termòmetres i altres.

El registre del RC i la VFC, a més de ser indicadors de risc en les malalties cardiovasculars, com descriu Achten [10],també poden ser útils en el camp dels esports, ja què durant l'exercici graduat,

la majoria dels estudis mostren que VRC disminueix progressivament fins intensitats moderades, després de les quals s'estabilitza. MRC s'utilitzen per determinar la intensitat de les sessions d'entrenament o de les curses. Addicionalment, RC i VRC poden jugar un paper molt important en la prevenció i la detecció del sobreentrenament.

L'objectiu d'aquest treball és crear un sistema de monitoratge remot, de baix cost, que sigui fàcil i còmode d'utilitzar pels usuaris, que permeti el registre del RC, la VFC i la quantitat de moviment. Per a poder realitzar-ho es crearà una aplicació Android que permeti capturar les dades d'un sensor de ritme cardíac i del propi dispositiu i permeti enviar-les a un servidor web. Es crearà un servidor web capaç de rebre les dades, tractar-les, emmagatzemar-les i finalment mostrar-les de forma gràfica. Les dades obtingudes hauran de ser accessibles per als propietaris de les mateixes i per aquelles persones que tinguin permís per accedir-hi.

2. Materials i metodologia

En aquesta secció es descriuen els materials i els mètodes utilitzats per a crear el sistema de monitoratge cardíac. Aquesta inclou: el sensor de ritme cardíac, l'aplicació client d'Android i el servidor web.

2.1. Sensor de ritme cardíac

S'ha escollit el cinturó pulsòmetre Cardio Bluetootsmart de Geonaute [16] per ser un dels sensors de ritme cardíac més econòmics del mercat (amb un preu al voltat dels 30€) i amb tecnologia sense fils Bluetooth Smart o Bluetooth Low Energy (BLE).

Fig. 1. el Cinturó Cardio Bluetootsmart de Geonaute.

El BLE és una versió simplificada de Bluetooth construïda pensant en el Internet de les coses. Mentre que Bluetooth s'utilitza en dispositius que necessiten intercanviar massivament dades en un període curt de temps, la tecnologia BLE va ser dissenyat per dispositius que necessiten intercanviar poques dades durant molt de temps. BLE és una tecnologia intel·ligent i fàcil d'utilitzar compatible amb els principals sistemes operatius. L'eficiència energètica de BLE el fa perfecte per als dispositius que han de funcionar amb bateries durant llargs períodes de temps [17]. La diferència entre Bluetooth i BLE és què, el segon, no permet la transferència de dades en streaming. Una vegada s'ha establert una connexió (aparellament), BLE passa la major part del temps en repòs a l'espera de rebre o enviar el següent conjunt d'informació d'estat del dispositiu. Té una velocitat de transferència de dades d'un Mbps. Una vegada que les dades s'han transferit el BLE torna a entrar en repòs, conservant la bateria.

La comunicació entre dos dispositius BLE, servidor i client, es produeix mitjançant la utilització del Generic Attribute Profile (GATT). Aquest utilitza els conceptes de Serveis i Característiques per

a la transferència de dades en ambdós sentits. Els serveis s'utilitzen per dividir les dades en entitats lògiques, aquests poden contenir una o més característiques. Els serveis es distingeixen entre ells per mitjà d'un identificador numèric únic (UUID) que pot ser de 16 bits o 128 bits. Les característiques encapsulen una única dada o una sèries de dades relacionades i, igual que els serveis, utilitzen un UUID de 16 o 128 bits per identificar-se [18].

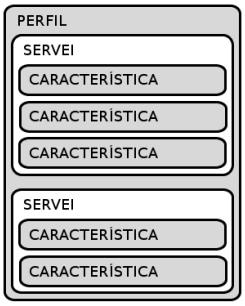

Fig. 2. Estructura de GATT en BLE .

Els sensors de mesurament cardíac, com el utilitzat en aquest treball, actuen com a servidor GATT i permeten als clients enllaçar-se per obtenir les dades de ritme cardíac. En aquest cas s'utilitzarà el Heart Rate Profile (HRP). El HRP proporciona el Heart Rate Service (HRS), identificat amb la UUID 0x180D, el qual està format per les característiques Heart Rate Mesurament (UUID 0x2A37), Body Sensor Location (UUID 0x2A38) i Heart Rate Control Unit (UUID 0x2A39) [19].

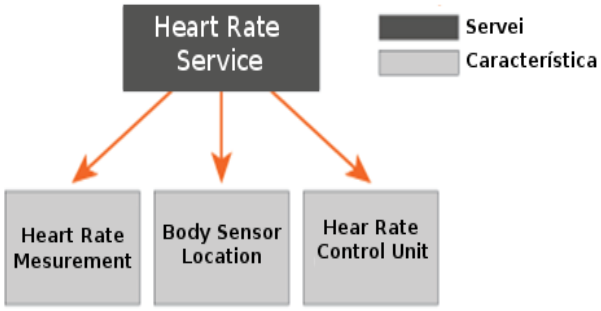

Fig. 3. Diagrama del Servei de Ritme Cardíac.

2.2. Aplicació client

Per a connectar amb el servidor GATT del sensor de ritme cardíac Geonaute s'ha creat una aplicació per a dispositius mòbils amb sistema operatiu Android. Per a poder utilitzar la tecnologia BLE cal utilitzar com a mínim la versió d'Android 4.3 (Nivell API 18) ja que, a partir d'aquesta, s'incorporen les APIs necessàries per detectat els dispositius BLE, i obtenir els serveis i les característiques de què disposen.

L'aplicació Monitor, desenvolupada per aquest treball, permet obtenir les dades tant del sensor de ritme cardíac com del sensor de moviment del propi telèfon on està instal·lada. Per accedir a l'aplicació cal identificar-se amb un usuari i una paraula de pas (Fig. 4, A) que es valida en el

servidor. Un cop acceptat, ens permet cercar dispositius BLE propers i enllaçar-hi (Fig. 4, B). A continuació, el programa recupera les últimes dades introduïdes per l'usuari (edat, alçada i pes) i ens permet modificar-les (Fig. 4, C). Finalment, accedim a la pantalla principal de l'aplicació on podem activar i desactivar l'adquisició de dades de ritme cardíac, afegir comentaris, cada cop que l'usuari desitja anotar alguna incidència quedarà enregistrat en el moment que ho ha introduït, veure el moviment i el ritme cardíac actual i enviar les dades emmagatzemades cap al servidor (Fig. 4, D).

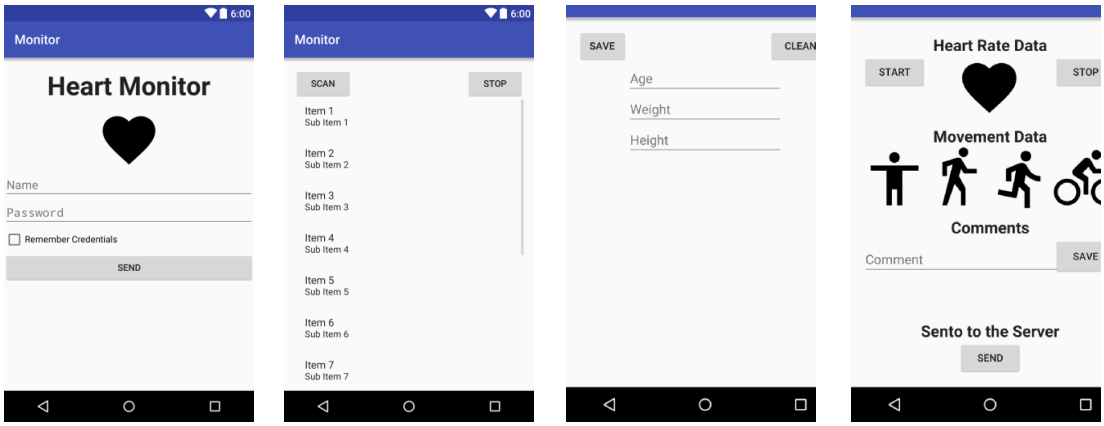

Fig. 4. A) Entrada de l'usuari a l'aplicació, B) cerca i selecció del dispositiu BLE C) introducció de dades personals, i D) captura i enviament de dades.

Les dades obtingudes per l'aplicació s'envien cap al servidor mitjançant el format JSON, un format de text lleuger que s'utilitza habitualment per serialitzar i transmetre dades estructurades en una connexió de xarxa. [21]. La figura 5 mosta el format del arxiu JSON utilitzat on: *user* indica el codi identificador de l'usuari, *age* es l'edat de l'usuari, *height* l'alçada (cm), *weight* el pes (Kg) i *hrm* conté un conjunt de estructures amb el següent format: *date* indica la data i l'hora de la mesura, *hr* el valor del ritme cardíac, *hrv* el temps de la variabilitat del ritme cardíac, *intensity* el valor del sensor de moviment i *comment* els comentaris introduïts per l'usuari.

```
{  "data" : {
       "user" : "1",
       "age" : "33",
       "height" : "182",
       "weight" : "34",
       "hrm" : [
                {   "date" : "29/08/1997 02:14:00"000,
                    "hr" : "42",
                    "hrv" : "890",
                    "intensity" : "12",
                    "comment" : "",
                },
                {   "date" : "29/08/1997 02:14:00:800",
                    "hr" : "45",
                    "hrv" : "800",
                    "intensity" : "12",
                    "comment" : "Un comentari",
                },


              ]
}}
```


Fig. 5. Estructura de l'arxiu JSON utilitzat.

El valor del ritme cardíac (*hr*) s'obté directament del sensor de ritme cardíac, el valor de la variació de la freqüència cardíaca (*hrv*) fa referència al interval R-R (Fig.6) de dos batecs consecutius i la calculem restat el temps en que es produeix cada batec amb el obtingut anteriorment. El valor del moviment (*intensity*) s'obté mitjançant les dades obtingudes amb l'acceleròmetre del dispositiu Android, el qual retorna l'acceleració en m/s^2 en els eixos *x*, *y* i *z* (inclou la *gravetat*), *y la* fórmula:

$$intensity = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - \text{ gravetat}$$

Per la representació gràfica del moviment, en l'aplicació, s'han utilitzat els intervals de parat, de 0 m/s^2 a 1 m/s^2, caminant, de 1 m/s^2 a 3 m/s^2, corrent, de 3 m/s^2 a 8 m/s^2 i en bicicleta: a partir de 8 m/s^2 (Fig. 7)

Les dades recol·lectades per l'aplicació Monitor s'emmagatzemen de forma asíncrona a la memòria interna del dispositiu mòbil mitjançant un servei que actua en segon pla (Fig. 8), això permet seguir emmagatzemant dades inclús si es tanca l'aplicació. Durant la captura de dades no serà necessari disposar de connexió a Internet ja què l'enviament de les dades obtingudes cap al servidor es farà un cop finalitzada la captura de dades, mitjançant el botó *Send*.

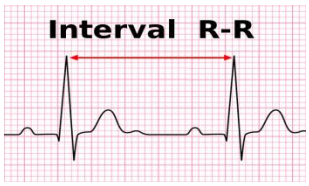

Fig. 6. Inteval R-R

Fig. 7. Inteval R-R

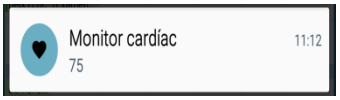

Fig. 8. Servei Android

2.3. Servidor Web

El Servidor Web s'ha creat utilitzat un sistema LAMP (Linux, Apache, Mysql i Python) i el framework web Django. L'aplicació Monitor es connecta al servei web del Servidor , mitjançant el fitxer JSON (Fig. 5), per transmetre les dades obtingudes. El servidor, un cop ha rebut el fitxer, el descodifica, calcula el màxim, el mínim i la mitja de *hr* i *hrv*, i emmagatzema les dades obtingudes en la base de dades MYSQL (Fig.9.) del propi servidor.

La base de dades està composada per les taules *User*, *Master*, *Health* i *Hrm*. La taula *User* emmagatzema la informació de tots els usuaris que poden accedir al sistema, la taula *Master* relaciona els usuaris (*master*) que poden veure les dades d'altres usuaris (*slave*), la taula *Health* emmagatzema, per un usuari del sistema (*user*), la informació general d'un registre (*date, age, height, weight, maximhr, minimhr, averagehr* i *averagehrv*) i la taula *Hrm* conté les dades de cada un dels registres capturats (*date, hr, intensity, comment* i *hrv*) relacionant-les amb les dades generals del registre (*Health*).

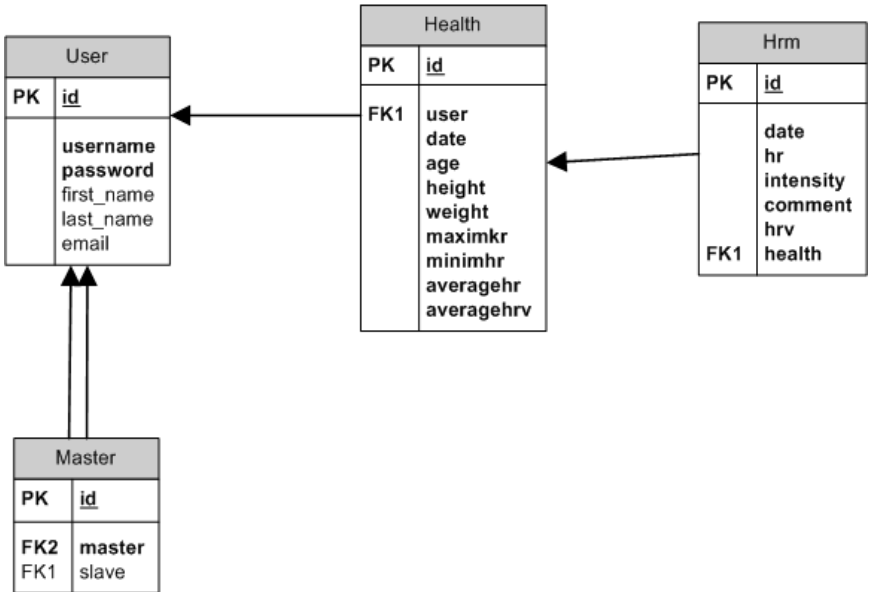

Fig. 9. Esquema de la base de dades Un cop processades les dades els usuari podran consultar-les en la pàgina web. S'ha definit dos tipus d'usuaris: els usuaris *slave* que poden consultar les seves dades, i els usuaris *master*, que poden consultar les seves dades i les dels usuaris *slave* que tenen assignats. L'encarregat d'assignar usuaris *slave* a usuaris *master* és l'administrador de la pàgina web.

Per a les generació de gràfiques s'han realitzat proves amb les biblioteques de software lliure *Chartit* [22] (Fig.10), *NVD3* [23] (Fig.11) i *Bokeh* [24] (Fig.12). Finalment, tenint en compte les seves prestacions, s'ha escollit utilitzar la biblioteca de visualització interactiva *Bokeh*, la qual proporciona una forma ràpida i fàcil de crear gràfiques e incorpora opcions d'exploració i exportació interactius.

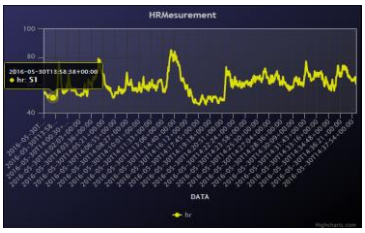

Fig. 10. Gràfica amb Chartit.

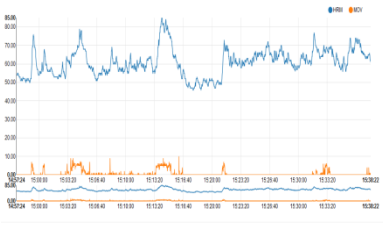

Fig. 11. Gràfica amb NVD3.

Fig. 12. Gràfica amb Bokeh.

Per cada registre obtingut amb l'aplicació Android hi haurà la data del mateix (data), una gràfica de ritme cardíac (bokeh-hr), una gràfica de variabilitat de la freqüència cardíaca, l'edat (age), l'alçada (height), el pes (weight), el màxim hr (max hr), el mínim hr (min hr), la mitja de hr (avg hr) i la mitja de hrv (avg hrv) (Fig.13)

REGISTRE PERSONAL:

DATE	BOKEH-HR	BOKEH-HRV	AGE	HEIGHT	WEIGHT	MAX HR	MIN HR	AVG HR	AVG HRV	DATE END	BORRAR
5 de Junio de 2016 a las 12:18	veure	veure	35	70	184	56	45	49	973	5 de Junio de 2016 a las 12:23	borrar

Fig. 13. Exemple de registre de dades.

En la gràfica generada bokeh-hr (Fig. 14) podem veure les dades de ritme cardíac (color vermell) i les del moviment (color blau), obtingudes pel sensor de ritme cardíac i el dispositiu Android respectivament, i els comentaris introduïts per l'usuari (punts vermells)

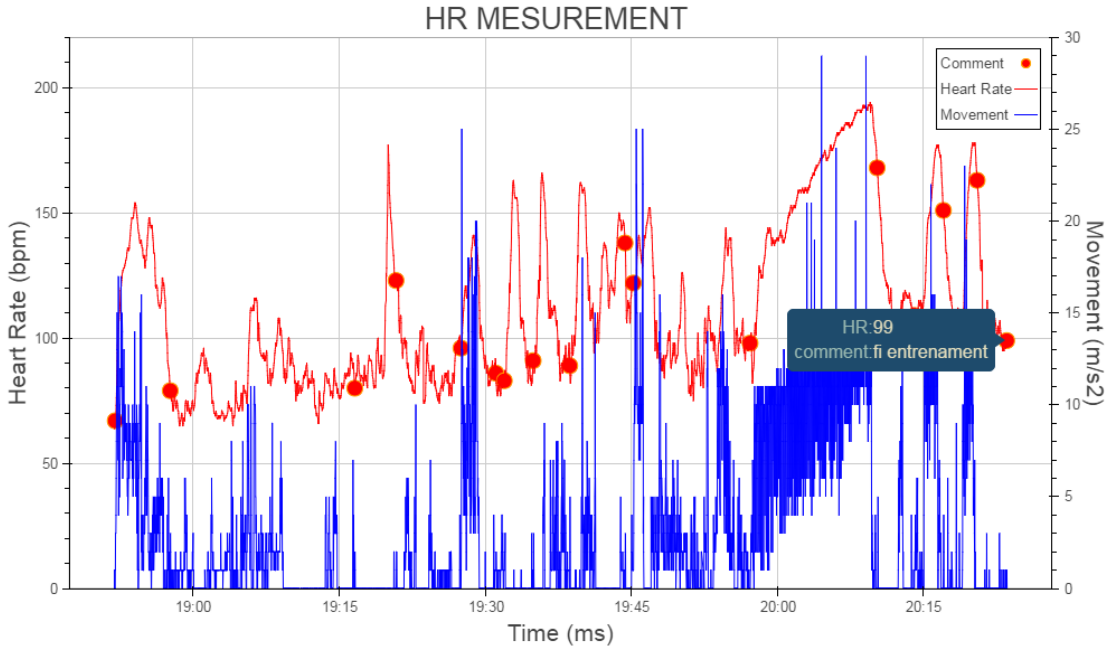

Fig. 14. Exemple de registre durant l'entrenament de dades de ritme cardíac.

En la gràfica generada bokeh-hrv (Fig.15) podem veure les dades de la variabilitat de la freqüència cardíaca (color vermell) i les del moviment (color blau), obtingudes pel sensor de ritme cardíac i el dispositiu Android respectivament, i els comentaris introduïts per l'usuari (punts vermells)

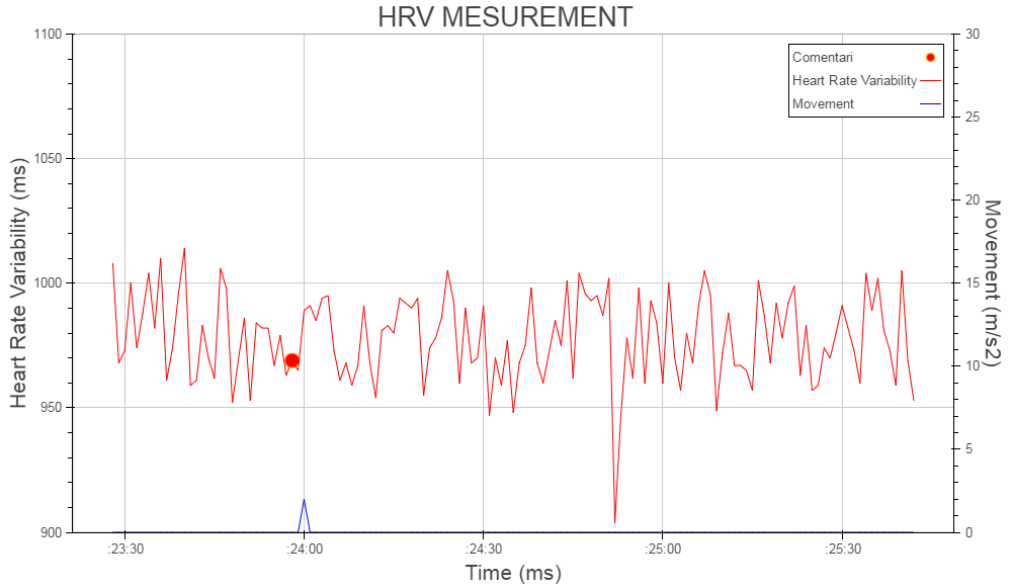

Fig. 14. Exemple de registre de dades de la variabilitat de la freqüència cardíaca

3. Experiments

Per tal de planificar els experiments s'ha consultat a dos experts del món de la medicina i de la ciència de l'esport.

Segons les fonts de medicina cardíaca consultades, la FC i la seva variabilitat és un dels paràmetres més utilitzats en el seguiment de la majoria de patologies cardiològiques. El sistema d'anàlisi ideat en aquest estudi pot permetre al clínic, per una banda, tenir un registre sobre la FC en la vida diària del pacient de manera fàcil, entenedora i poc molesta pel propi pacient, i no únicament un valor puntual durant la visita mèdica convencional. Això pot ser altament útil de cara a regular medicacions àmpliament utilitzades en Cardiologia i que actuen sobre aquest paràmetre (ex. betabloquejants, calciantagonistes i antiarítmics), tant en el fet d'iniciar-les com de valorar la distribució de posologies i titular-ne les dosis. Per altra banda, tot i que en aquest sistema d'anàlisi no es disposa d'un registre electrocardiogràfic com a tal que permeti detectar específicament les alteracions de ritme, la seva fàcil disponibilitat pot facilitar la detecció d'episodis d'arítmies (tant taquiarítmies com bradiarítmies). A més podria servir, en pacients amb fibril·lació auricular (FA) paroxística, per la detecció d'episodis de taquicàrdia ventricular (TV) en pacients amb patologies predisponents (miocardiopatia dilatada de qualsevol etiologia, miocardiopatia hipertròfica, displasia aritmogènica del ventricle dret o qualsevol canalopatia en serien exemples vàlids). Finalment, si ens centrem en l'estudi d'episodis sincopals de repetició amb electrocardiograma (ECG) normal també pot ser útil de cara a filiar si es tracta de bradi o taquiarítmies com a causants del quadre, requerint estudis dirigits posteriorment, o bé senzillament per descartar-ne causa arítmica. Es suggereix provar un escaneig de llarga durada.

Segons les fonts de la ciència de l'esport consultades, tant en la preparació física actual, com l'esportista amateur, és estrany l'esportista o persona que fa exercici que no utilitzi un mesurador de FC, conegut com pulsòmetre. Es pot establir un ritme o entrenar dins d'una zona recomanada, ja què és impossible mantenir-nos en un mateix valor de FC, per això establim un límit inferior i un límit superior. A diferència, la VFC ens indica la relació entre el sistema nerviós i el sistema cardiovascular. Quan un esportista entrena a major intensitat, com el seu cor bombeja la sang més ràpid, la seva VFC disminueix. Des de l'àmbit de la preparació física i de l'exercici per la salut, tot i que s'ha utilitzat durant molts anys l'adaptació de la FC en repòs, és un mètode molt groller per inferir adaptacions en l'entrenament. La VFC és un mètode molt més precís, encara que també té limitacions, pel que requereix un elevat control metodològic. De fet, la seva elevada sensibilitat és el seu punt feble perquè, factors aliens a l'adaptació fisiològica a l'entrenament com poden ser l'estrès psicològic o la temperatura ambiental entre molts d'altres, poden influir en la validesa de les avaluacions. Però actualment, s'esta utilitzant la VFC com un valor que aporta molta informació, per mesurar les adaptacions a l'entrenament de l'esportista. Així, es pot comprovar com accepta les càrregues que se li apliquem i si fos necessari adaptar la seva planificació, però també serveix per detectar un estat d'alarma conegut com sobreentrenament. Però s'ha de tenir en compte que segons els últims estudis, necessitem de 3 a 4 registres durant la mateixa setmana per poder identificar les adaptacions del sistema nerviós autònom (SNA) al entrenament en diferents fases de la preparació com l'afinament o el sobreentrenament. Es suggereix provar un escaneig durant l'entrenament i un escaneig curt en repòs.

3.1. Escaneig de llarga durada

L'escaneig de llarga durada recopila l'activitat diària de l'usuari, es registra el ritme cardíac, la variabilitat de la freqüència cardíaca, el moviment i s'anoten comentaris de les activitats realitzades. Aquesta informació permetrà als professionals sanitaris detectar o descartar possibles problemes cardíacs correlacionant les activitat de l'usuari amb els registres obtinguts.

3.2. Escaneig durant l'entrenament

L'escaneig durant l'entrenament recopila l'activitat cardíaca de l'usuari durant la realització de la pràctica esportiva. En aquest tipus d'escaneig ens interessa el registre del ritme cardíac, el qual permet als entrenadors obtenir informació de la resposta cardíaca del atleta enfront de la intensitat de l'entrenament.

3.3. Escaneig curt

L'escaneig curt, entre 4 i 5 minuts, s'ha realitzat diàriament, durant una setmana, a primera hora del matí amb l'usuari en repòs. L'estudi d'aquest registres permet identificar l'estat del sistema nerviós autònom (SNA) i les adaptacions que té durant les diferents fases de l'entrenament.

4. Conclusions

El sistema de monitoratge creat, a partir de programari lliure, ha resultat ser una bona eina per la mesura i el control del ritme cardíac i de la variabilitat de la freqüència cardíaca que compleix amb els objectius proposats inicialment.

Utilitzant un sensor de ritme cardíac, un dispositiu Android i un servidor web obtenim un sistema de baix cost que de forma remota(mitjançant una connexió a Internet) permet als professionals mèdics o als entrenadors controlar l'estat dels pacients o dels atletes, respectivament. Per l'anàlisi de l'estat dels usuaris s'han enregistrat, en el moment del monitoratge, els paràmetres: edat, alçada, pes, ritme cardíac màxim, ritme cardíac mínim, mitja de ritme cardíac i mitja de variabilitat de la freqüència cardíaca.

S'han realitzat tres tipus de registres: escaneig de llarga durada, escaneig durant l'entrenament i escaneig curt. Els escanejos de llarga durada i escanejos durant l'entrenament han resultat útils pel control del ritme cardíac i els escanejos curts, en repòs, pel control del ritme cardíac basal (nombre de vegades que el cor ha de bategar per mantenir el nostre organisme viu quan solament s'ha de preocupar de respirar i mantenir les funcions vitals mínimes necessàries per sobreviure) i de la variabilitat de la freqüència cardíaca.

Les avantatges del sistema de monitoratge creat davant d'altres plataformes existents resideixen en el fet que aquest emmagatzema i permet consultar les dades amb molta precisió (milisegons) i permet consultar i fer un seguiment del ritme cardíac, la variabilitat de la freqüència cardíaca de l'usuari i relacionar-la amb el moviment realitzat.

Com a punts febles del sistema podem destacar que les dades obtingudes pel sensor i pel telèfon mòbil estan influenciades per l'activitat que està duent a terme l'usuari, si el sensor perd contacte amb el cos es produiran errors durant el registre, a més, cal recordar que l'aplicació mòbil ha estat desenvolupada per la versió Android 5.0 i pot presentar incompatibilitats en futures versions de la plataforma.

En resum, els sistema desenvolupat estableix les bases d'un sistema de monitoratge remot de baix cost de l'estat del cor que permet: el control de diverses malalties i de l'estat del cor (al personal sanitari), el monitoratge i evolució de l'activitat física (als entrenador), i posa a disposició de l'usuari un conjunt d'eines que li permeten registrar la seva resposta cardíaca en diverses situacions. El sistema pren especial rellevància en zones rurals o descentralitzades, on els desplaçaments fins als centres sanitaris són molt grans, i en zones pobres on l'adquisició d'equips de monitoratge cardíac està fora del seu abast.

Agraïments

Agrair a la Universitat Oberta de Catalunya per haver-me donat les eines virtuals necessàries per poder realitzar el Màster de Programari Lliure.

Agrair als meus tutors Tomàs Pallejà i Alexandre Viejo Galicia per guiar-me durant el desenvolupament del sistema de monitoratge i durant la realització d'aquest article.

Agrair la col·laboració i predisposició de la Dra. Galdys Junca i Pujol, de l'Hospital Trias i Pujol de Barcelona, i al Dr. Pablo J. Marcos Pardo, de la Universidad Catolica San Antonio de Murcia, orientant el projecte en el camp de la medicina cardíaca i de la ciència de l'esport, respectivament.

Agrair a tota la gent que està darrere del projectes de software lliure utilitzats en l'elaboració d'aquest projecte.

Referencies

[1] Ramos, V. Las TIC en el sector de la salud. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, vol. 163(5), pp. 41-45, 2007.

[2] Virglinio, M.F. y Braidot, A.A.A. Plataforma de Telemedicina utilizando Android OS, Jornadas de ciencia y tecnologia de las facultades de ingenieria del noa, Tucumán, Argentina, 2012.

[3] Vergeles, J.M. La telemedicina. Desarrollo, ventajas y dudas. Tema monográfico: búsqueda bibliográfica. internet y las nuevas tecnologia, http://ferran.torres.name/docencia/imi/59.pdf, pp. 59-61, 2011.

[4] Garcia, E. Tabajo Fin de Grado: Desarrollo e implementación de una solución de telemedicina empleando dispositivos Android con conectividad bluetooth y la nube de dispositivos de Digi. Aplicación móvil – eHealth. Universidad de la Rioja, 2013.

[5] Bert, F. Giacomettim, M. Gualano, M. and Siliquini, R. Smartphones and Health Promotion: A Review of the Evidence. Journal of Medical Systems, vol. 38(1), pp.1-11, 2013.

[6] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed

[7] http://www.medline.com/research/library

[8] Agarwal,S. And Lau,C.T. Health Monitoring Using Mobile Phones and Web Services. Telemedicine and e-Health, vol. 16(5), pp. 603-607, 2010.

[9] http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/

[10] Achten, J. And Jeukendrup, A. E. Heart Rate Monitoring. Applications and Limitations. Sports Medicine, vol. 33(7), pp. 517-538, 2003.

[11] Rodas, G. G. Pedret, C. Ramos, J. i Capdevila, L. Variabilidad de la Frequencia Cardiaca: Concepto, medida y relación con aspectos clínicos. Archivos de medicina del deporte, vol. 26(123), pp. 41-47, 2008.

[12] Rennie, K. Rowsell, T. Jebb, S.A. Holburn, D. i Wareham, N.J. A combined heart rate and movement sensor: proof of concept and preliminary testing study. European Journal of Clinical Nutrition, vol. 54(5), pp. 409-414, 2000.

[13] Camm J, Malik M, Bigger J, Günter J.R, Cerutti S, Cohen R.J, Coumel P, Fallen E.L, Kennedy H.L, Kleiger R.R, Lombardi F, Malliani A, Moss A.J, Rottman J, Schmidt G i Schwart P. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, European Heart Journal, vol. 17(3), pp. 354-381, 1996.

[14] Lombardi, F. Mäkikallio, T.H. Myerburg, R.J. Huikuri, H.V. Sudden cardiac death: role of heart rate variability to identify patients at risk. Cardiovascular research, vol. 50(2), pp. 210-217, 2001.

[15] Hughes, F.C. Master Thesis: Bluetooth Low Energy for Use with MEM Sensors. Arizona State University, 2015..

[16]http://customercare.geonaute.com/hc/es-es/sections/201651632-Cintur%C3%B3n-cardio-BluetoothSMART

[17]https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy

[18] https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt

[19]https://developer.bluetooth.org/gatt/services/Pages/ServiceViewer.aspx?u=org.bluetooth.service.heart_rate.xml

[20] https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/HRS.aspx

[21] http://www.json.org/

[22] http://chartit.shutupandship.com/

[23] http://nvd3.org/

[24] http://bokeh.pydata.org/