

یک سیستم مانیتورینگ الکتروکاردیوگرام پوشیدنی مبتنی بر ابر IoT

برای مراقبت بهداشتی هوشمند

علیرضا آذری مقدم^۱، ظریفه دهنارصیدی^۲، زهرا محمدی^۳

گروه مهندسی کامپیوتر، عضو هیئت علمی، واحد رویان، موسسه آموزش عالی، رویان، نور

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، دانش آموخته کارشناسی ارشد، واحد رویان، موسسه آموزش عالی، رویان، نور

^۳ گروه مهندسی کامپیوتر، دانش آموخته کارشناسی ارشد، واحد رویان، موسسه آموزش عالی، رویان، نور

چکیده:

درمراقبت های بهداشتی عمومی به رشد فزاینده جمعیت انسانی و هزینه های پزشکی توجه زیادی شده است. به خوبی می دانیم که یک سیستم مانیتورینگ بهداشتی موثر می تواند شرایط ناهنجار بهداشتی را به موقع تشخیص و این تشخیص را بر اساس داده های جمع آوری شده انجام دهد. به عنوان یک رویکرد حیاتی برای تشخیص بیماری های قلبی، مانیتورینگ ECG به طور گسترده مورد مطالعه و کاربرد قرار گرفته است. با این حال، تقریباً تمام سیستم های مانیتورینگ قابل حمل ECG بدون یک برنامه کاربردی تلفن همراه نمیتوانند کار کنند، برنامه ای که مسئول جمع آوری و نمایش داده ها است. در این مقاله یک روش جدید برای مانیتورینگ ECG بر اساس تکنیک های اینترنت-اشیاء (IoT) را پیشنهاد می کنیم. داده های ECG با استفاده از یک گره مانیتورینگ پوشیدنی جمع آوری می شوند و به طور مستقیم به ابر IoT با استفاده از Wi-Fi منتقل می گردند. هر دو پروتکل HTTP و MQTT در ابر IoT به منظور ارائه داده های بصری و به موقع ECG به کاربران به کار گرفته شده است. تقریباً تمام پایانه های هوشمند با یک مرورگر وب می توانند داده های ECG را به راحتی کسب نمایند، که به شدت مسئله چند سکویی^۱ را کاهش می دهد. آزمایشات روی داوطلبان سالم به منظور بررسی روایی و قابلیت اطمینان کل سیستم انجام شد. نتایج تجربی نشان می دهد که سیستم پیشنهادی در جمع آوری و نمایش داده های ECG در زمان واقعی قابل اعتماد است، که می تواند به تشخیص اولیه بیماری قلبی خاص کمک کند.

کلمات کلیدی:

مانیتورینگ؛ بهداشت و سلامت؛ ECG؛ حسگرهای پوشیدنی؛ ابر IoT.

۱ مقدمه

با رشد سریع جمعیت انسانی و هزینه های پزشکی، مراقبت های بهداشتی یکی از مهمترین مسائل مربوط به مردم و دولتها است. در همین حال، بر اساس یک گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) [۱]، مشکل پیری جمعیت جدی تر شده است. معمولاً نیاز است شرایط سلامتی سالمندان بیشتر چک شود، که این امر چالش های بزرگتری را بر سر راه سیستم های پزشکی موجود قرار می دهد. بنابراین، چگونگی شناسایی بیماری های انسان به شیوه ای دقیق و به موقع با هزینه های کمتر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲-۴] در تشخیص بیماری های مربوط به قلب، مانیتورینگ الکتروکاردیوگرام (ECG) به طور گسترده ای در بیمارستان و تحقیقات پزشکی کاربرد دارد [۵].

به طور سنتی، ECG از طریق تجهیزات ثابت و بزرگ در موسسات پزشکی حرفه ای نمایش داده می شود. این نوع تجهیزات معمولاً شامل دوازده الکترود برای جمع آوری داده های ECG به دلیل عملکرد خوب آنها برای اندازه گیری کوتاه مدت است. با این حال، بعید است این تجهیزات قابل حمل شوند، زیرا فعالیت های بیمار به شدت در طول دوره جمع آوری داده محدود می شود. به علاوه، از آنجا که این دستگاه ها

^۱ - چندسکویی یا (Cross-platform) در اصطلاح نرم افزارهای رایانه، به آن دسته از نرم افزارهایی گفته می شود که در چندین سکوی رایانه ای قابل اجرا هستند.

معمولا برای استفاده خانگی بسیار گران هستند، بیمار باید به طور مرتب به بیمارستان برود که به ناچار بار بیمارستان را افزایش می دهد. بنابراین، یک سیستم قابل حمل برای تشخیص سیگنال ECG طولانی مدت با هزینه های کم بسیار مورد نیاز است. به خاطر توسعه اینترنت موبایل و بی سیم، شبکه های حسگر (WSNs) [۲]، سیستم های مانیتورینگ ECG پوشیدنی، پدید آمده است که قادر به تشخیص سیگنال های ECG با استفاده از یک حسگر غیر قابل نفوذ است و سیگنال را به تلفن هوشمند از طریق تکنیک های انتقال بی سیم، مانند بلوتوث یا Zigbee [۶،۷] انتقال می دهد. به دلیل قابلیت حمل، الکترودهای سیستم های مانیتورینگ ECG مبتنی بر WSN معمولا کمتر از روش های سنتی متداول است. به خاطر دقت، فقط جمع آوری اطلاعات اولیه قلب کافی است. این حسگرهای قابل حمل معمولا در برخی از پارچه های پوشیدنی تعبیه می شوند که تأثیر کمی بر فعالیتهای روزانه کاربر دارد. با کمک این سیستم ها، ECG درازمدت را می توان به یک روش مقرون به صرفه نظارت و مانیتور کرد. با این حال، با بهترین دانش ما، تقریبا تمام سیستم های موجود بدون یک تلفن هوشمند، که به عنوان گیرنده و پردازنده داده های ECG مورد استفاده قرار می گیرد، نمی توانند کار کنند [۴،۳]. به خاطر محدودیت در قابلیت های برق و محاسبات، وظایف پیچیده حمل و نقل و پردازش داده ها ممکن است تأثیر زیادی بر استفاده روزانه از تلفن هوشمند داشته باشد. علاوه بر این، به منظور پشتیبانی از تمام سکوها (پلت فرم های) OS پایانه های هوشمند، تلاش های زیادی برای توسعه چند سکویی برنامه های کاربردی تلفن همراه ضروری است.

در این مقاله، در ابتدا معماری یک سیستم مانیتورینگ ECG، بر مبنای ابر اینترنت اشیاء (IoT) پیشنهاد شده است. بر اساس این معماری، ما یک سیستم مانیتورینگ ECG پوشیدنی را طراحی و پیاده سازی نمودیم. داده های ECG جمع آوری شده از بدن انسان به طور مستقیم به ابر IoT با استفاده از Wi-Fi بدون نیاز به یک پایانه تلفن همراه منتقل می شود. در مقایسه با بلوتوث و یا Wi-Fi، Zigbee می تواند نرخ داده های بالاتر و مناطق پوشش گسترده تری را فراهم آورد. برای دسترسی راحت و به موقع به داده های ECG برای کاربران، هر دو سرور HTTP و MQTT در ابر IoT به کار گرفته شدند. داده های جمع آوری شده در یک پایگاه داده غیر رابطه ای یعنی Redis، ذخیره می شوند، که بسیار می تواند سرعت و انعطاف پذیری ذخیره سازی داده ها را بهبود بخشد. یک رابط کاربری گرافیکی مبتنی بر وب به کار گرفته شد. بنابراین دسترسی راحت برای پزشکان و بیماران را به طور یکسان با استفاده از تلفن های هوشمند با پلت فرم های OS متفاوت جهت دسترسی به خدمات داده های ارائه شده توسط ابر IoT را فراهم می کند. سیستم پیشنهادی با موفقیت به کار گرفته و کاملا با نشان دادن اثربخشی و قابلیت اطمینان در مانیتورینگ ECG آزمایش شد.

بقیه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش "معماری سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT" معماری سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IOT را ارائه می دهد. پیاده سازی سیستم در بخش "پیاده سازی سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IOT"، معرفی شده است که شامل یک گره مانیتورینگ، ابر IoT و یک رابط کاربری گرافیکی (GUI) است. در بخش "نتایج و تجزیه و تحلیل تجربی" ما چندین آزمایش را روی یک داوطلب سالم برای اطمینان از روایی سیستم پیشنهادی انجام می دهیم. در نهایت بخش "نتیجه گیری" نتایج مقاله را ارائه می دهد.

۲ معماری سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT

معماری سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT در شکل ۱ نشان داده شده است، که عمدتا شامل سه بخش است، یعنی شبکه حسگر ECG، ابر IoT و GUI.

۱-۲ شبکه حسگر ECG

شبکه حسگر ECG پایه و اساس کل سیستم است، که مسئول جمع آوری داده های فیزیولوژیکی از سطح بدن و انتقال این داده ها به ابر IoT از طریق یک کانال بی سیم است. حسگرهای ECG پوشیدنی معمولا در این سیستم به کار می روند، که تأثیر کمی بر زندگی روزمره کاربر دارند. از طریق این ابزارها، داده های ECG را می توان در طول ساعات طولانی و یا حتی روزها ثبت کرد. سپس، سیگنال های ECG از طریق یک سری از روش ها، مانند تقویت، فیلتر کردن، و غیره، پردازش می شوند تا کیفیت سیگنال بهبود یابد و الزامات انتقال بی سیم برآورده شود. داده های ECG جمع آوری شده از حسگرها به ابر IoT از طریق یک پروتکل بی سیم خاص، مانند Wi-Fi، بلوتوث، Zigbee و غیره انتقال داده می شود [۱۰]. هر سه پروتکل میتوانند نرخ داده های کافی برای انتقال سیگنال های ECG با میزان رضایت بخش مصرف انرژی فراهم آورند. با این حال، به دلیل محدودیت در محدوده ارتباطات بلوتوث و Zigbee، یک پایانه هوشمند (مانند یک تلفن همراه) معمولا مورد نیاز است تا داده

های ECG را دریافت و سپس داده‌ها را به ابر IoT از طریق پروتکل‌های بی‌سیم خدمات رادیویی بسته عمومی (GPRS) یا تکامل بلند مدت (LTE) ارسال کند. مقایسه میان انواع مختلف شبکه‌های حسگر ECG در جدول ۱ آورده شده است

IoT Cloud 2-2

به خاطر پیشرفت تکنیک‌های پیشرفته IoT، داده‌های ECG را می‌توان به طور موثر ذخیره و تجزیه و تحلیل نمود. با کمک یک ابر IoT، محاسبات فشرده پردازش داده‌ها و وظایف تجزیه و تحلیل را در سرورهای پر قدرت می‌توان انجام داد، که به شدت بار دستگاه‌های هوشمند را کاهش می‌دهد [۱۱]. به طور کلی، یک ابر IoT برای مانیتورینگ ECG معمولاً شامل چهار مازول کاربردی است، یعنی پاکسازی داده‌ها، ذخیره سازی داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و هشدار بیماری.

• پاکسازی داده‌ها: ویژگی‌های مهمی را می‌توان از سیگنال‌های ECG برای تشخیص بیماری‌های بالقوه قلب استخراج کرد. با این حال، در طول فرآیند جمع‌آوری و انتقال داده‌ها، نویز ممکن است به سیگنال ECG وارد شود، که بر دقت تشخیص تأثیر می‌گذارد.



شکل ۱ معماری سیستم‌های مانیتورینگ ECG مبتنی بر اینترنت اشیاء

بنابراین، باید سیگنال ECG در ابتدا پاکسازی شود [۶]. معمولاً یک فیلتر با طراحی صحیح برای حذف نویز در خارج از باند سیگنال ECG به کار گرفته می‌شود. علاوه بر این، روش بازبینی داده‌ها معمولاً برای شناسایی ناهنجاری‌ها و تناقضات داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ ذخیره سازی داده‌ها: داده‌های ECG نقش مهمی در تشخیص بیماری‌های قلبی دارند. بنابراین، داده‌های تاریخی باید برای تجزیه و تحلیل بیشتر در پایگاه داده ذخیره شوند. داده‌های ECG اغلب شامل زمان و دامنه سیگنال دیجیتال شده هستند. علاوه بر این، حداقل یک نسخه از داده‌ها باید برای بازیابی سانحه ذخیره شود.

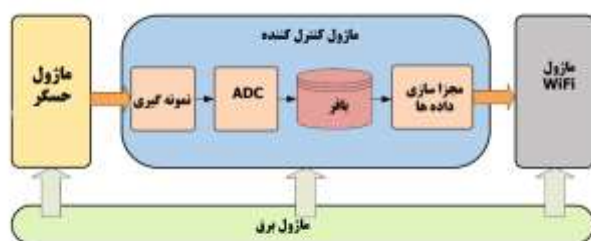
• تجزیه و تحلیل داده‌ها: استفاده کامل از داده‌های یکی از مهمترین کاربردهای ابر IoT است. از این رو، ابر IoT اغلب یک پلت فرم تجزیه و تحلیل داده‌ها را برای استخراج اطلاعات مفید از سیگنال ECG فراهم می‌کند [۴]. روش‌های داده کاوی یا یادگیری ماشینی خاص را می‌توان در این داده‌ها اعمال نمود. به عنوان مثال، پس از استخراج ویژگی‌های مهم سیگنال ECG، یک ماشین بردار پشتیبانی را می‌توان برای تشخیص بیماری‌های قلبی خاص به کار برد [۹]؛ و

• هشداربیماری: حملات قلبی ناگهانی به طور جدی زندگی بیماران قلبی را به خصوص زمانی که بیماران تنها هستند تهدید می‌کند، بنابراین، هشدار بیماری در ابر IoT برای حفاظت بیماران از آسیب مهم است. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابر IoT بی‌درنگ قادر به درک شرایط سلامتی بیمار است. در صورت هر گونه قرائت مشکوک، ابر IoT به موقع خانواده را از وضعیت بیمار و دکتر مطلع خواهد کرد.

جدول ۱ مقایسه بین شبکه‌های حسگر ECG معمولی

شبکه حسگر ECG مبتنی بر Wi-Fi	شبکه حسگر ECG مبتنی بر بلوتوث	شبکه حسگر ECG مبتنی بر Zigbee	پروتکل
IEEE 802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	
۲۰-۲۰۰ متر	۳۰-۲۰ متر	۲-۲۰ متر	پوشش
۵۴-۱۱ مگابیت بر ثانیه	۲۴-۳ مگابیت بر ثانیه	۲۵۰-۱۰ کیلوبیت بر ثانیه	نرخ داده‌ها

مصرف برق	متوسط	کم	کم
وابستگی پایانه	جمع آوری اطلاعات از پایانه های هوشمند مستقل است	پایانه های هوشمند برای دریافت و انتقال داده های حس شده مورد نیاز است.	پایانه های هوشمند برای دریافت و انتقال داده های حس شده مورد نیاز است.
عمومیت	بالا، تقریبا همه خانه ها و مکان های عمومی نقاط دسترسی Wi-Fi را ارائه می نمایند.	متوسط، غالبا توسط گوشی های هوشمند پشتیبانی می شود	پایین، تنها توسط دستگاه های خاص پشتیبانی می شود



شکل ۲ اجزای اصلی گره مانیتورینگ ECG

رابط کاربری گرافیکی

GUI مسئول تجسم و مدیریت داده ها است. GUI دسترسی آسان به داده ها در ابر IoT را فراهم می کند. کاربران می توانند به سیستم ابر وارد شوند تا بتوانند داده های ECG تجسم یافته را در زمان واقعی بدست آورند. به طور کلی، دو نوع رابط کاربری گرافیکی برای کاربران برای تجسم داده های ECG موجود است، یعنی، برنامه های کاربردی تلفن همراه و صفحات وب، یک برنامه کاربردی تلفن همراه میتواند پاسخ فوری را به ورودی کاربر ارائه دهد، در حالی که صفحات وب از نظر نگهداری و ارتقاء راحت تر هستند.

۳ پیاده سازی سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT

بر اساس معماری که در بخش "معماری سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT"، پیشنهاد شد، سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT با استفاده از تکنیک های حسگر تلفن همراه پیشرفته، محاسبات ابری و وب پیاده سازی می شود. جزئیات مربوط به گره مانیتورینگ، ابر IoT و رابط کاربری GUI به شرح زیر است.

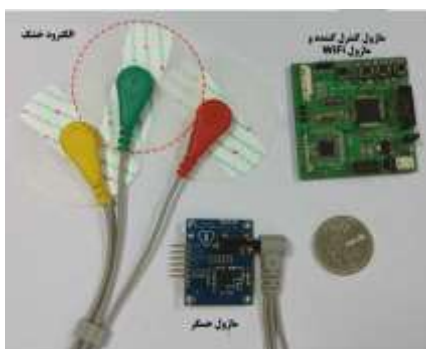
۳-۱ گره مانیتورینگ ECG

گره مانیتورینگ ECG مسئول جمع آوری داده های ECG از پوست انسان و سپس ارسال این داده ها به نقطه دسترسی از طریق یک کانال بی سیم است. همانگونه که در شکل ۲، نشان داده شده گره مانیتورینگ ECG در سیستم ما عمدتا شامل: (۱) ماژول حسگر؛ (۲) ماژول کنترل کننده؛ (۳) ماژول Wi-Fi؛ و (۴) ماژول برق می باشد. یک عکس از گره مانیتورینگ ECG در شکل ۳ نشان داده شده است.

(۱) **ماژول حسگر:** ماژول حسگر پایه و اساس گره مانیتورینگ است که مسئول جمع آوری داده های ECG از بدن انسان است. با کمک حسگر ECG AD8232 و مدار جانبی خاص، سیگنال های ECG ضعیف را می توان با دقت رضایت بخشی تشخیص داد [۱۵]. از آنجا که فرکانس معمولی سیگنال ECG بین ۰.۵ تا ۱۰۰ هرتز [۱۶] است، از یک فیلتر باند عبوری در AD8232 برای حذف نویز در خارج از این باند فرکانسی استفاده می شود. پس از آن سیگنال فیلتر شده با استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی تقویت می شود. سرانجام، با استفاده از ماژول حسگر، سیگنال های ECG از ۰ v تا ۳.۳ v جمع آوری می شوند.

(۲) **ماژول کنترل کننده:** به عنوان هسته اصلی گره مانیتورینگ ECG، از ماژول کنترل کننده برای پردازش سیگنال ECG جمع آوری شده و ارسال آن به ماژول Wi-Fi استفاده می شود. تمام توابع پردازش سیگنال در یک میکروکنترلر با عملکرد بالا یعنی واحد میکروکنترلر (MCU)،

STM32F103RC [۷.۸] پیاده سازی می شوند. این MCU به طور گسترده ای در برنامه های پردازش سیگنال به علت سخت افزار قدرتمند آن استفاده می شود، به عنوان مثال، میکروکنترلر ARM Cortex M3 ۳۲ بیتی در ۷۲ مگاهرتز کار می کند، یک فلش مموری تا ۵۱۲ کیلوبایت و طیف گسترده ای از آن I / Os بهبود یافته و لوازم جانبی متصل از طریق دو باس (گذر) APB به کار می روند. علاوه بر این، برای راحتی توسعه دهندگان، این MCU برخی از ماژول ها کاربردی محبوب، مانند مبدل های آنالوگ به دیجیتال (ADCs)، تایمر PWM و رابط ارتباطی، را فراهم می کند.



شکل ۳ عکس گره مانیتورینگ ECG

سیگنال ECG با استفاده از این MCU پردازش می شود که عمدتاً شامل چهار روند است، یعنی نمونه گیری، ADC، بافر و مجزا سازی داده ها. اول، سیگنال ECG آنالوگ از طریق نمونه گیری و ADC دیجیتالی می شود. سپس داده های ECG به طور موقت قبل از اینکه در فرمت خاصی بسته بندی شوند در بافر ذخیره می شوند. در نهایت، داده ها به ماژول Wi-Fi از طریق گیرنده / فرستنده Universal Synchronous / Asynchronous (USART) منتقل می شوند.

• روند ۱- نمونه گیری. سیگنال ECG جمع آوری شده از حسگر به فرمت آنالوگ است، که باید ابتدا نمونه گیری شود. با توجه به قضیه Nyquist، نرخ نمونه گیری در ۲۰۰ هرتز تنظیم می شود، عرض سیگنال ECG معمولاً بین ۰.۵ هرتز تا ۱۰۰ هرتز است [۱۶]. با استفاده از یک تایمر ۱۶ بیتی، ماژول کنترل می تواند یک وقفه تایمری را هر ۵ میلی ثانیه برای نمونه گیری و ذخیره سازی وارد کند. علاوه بر این، اولویت وقفه تایمر بیشترین میزان است تا از اثر وقفه های دیگر، مانند وقفه خارجی یا وقفه USART، جلوگیری کند.

• روند ۲- ADC. MCU دارای سه ADC ۱۲ بیتی درونی است، که هر کدام تا ۲۱ کانال خارجی را به اشتراک می گذارند، که تبدیل آنالوگ به دیجیتال را در حالت تک شات و یا اسکن انجام می دهند. فقط یک کانال ADC برای دیجیتالی کردن سیگنال ECG آنالوگ مورد نیاز است.

• روند ۳- بافر کردن. داده های ECG به صورت موقت قبل از مجزا سازی ذخیره می شود. MCU دارای ۴۸ کیلوبایت SRAM جاسازی شده است، که برای بافر کردن داده ها کافی است. هنگامی که داده های ECG به ۱ کیلوبایت برسد، آنها مطابق با یک فرمت خاص بسته بندی و مجزاسازی می شوند. در همین حال، داده های تازه وارد نیز در فضای باقی مانده از بافر ذخیره می شوند؛ و

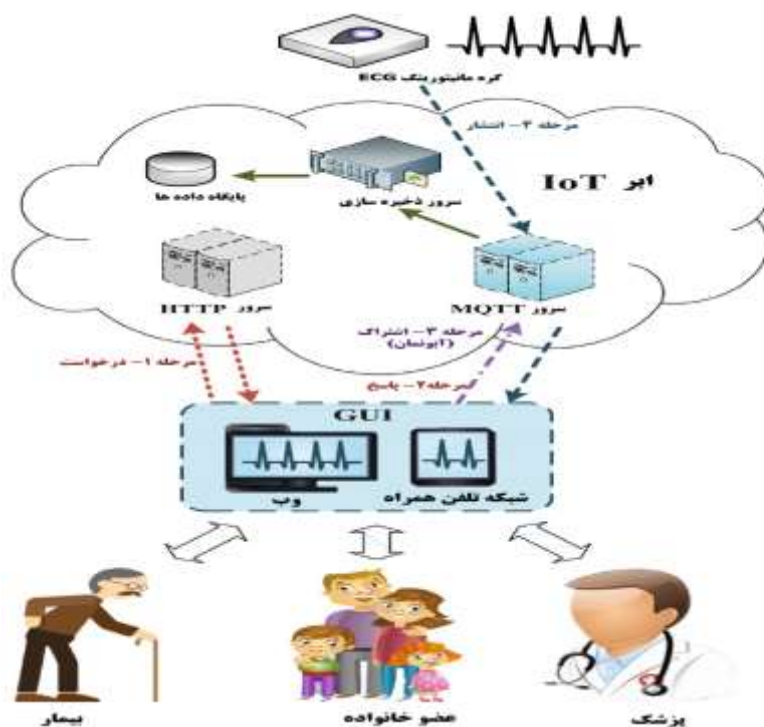
• روند ۴- مجزا سازی بسته بندی. تمام داده های ECG پیش از فرستادن آنها به ماژول Wi-Fi از طریق USART مجزا سازی بسته بندی می شوند. یک بسته داده کامل معمولاً شامل یک سری از موضوعات داده، به عنوان مثال، هدر (سرانداز)، پرچم ها، بار، مجموع مقابله ای، و غیره است. این موضوعات داده ها برای بهبود کارایی و دقت انتقال داده ها طراحی شده اند؛

۳) ماژول Wi-Fi: از طریق USART، ماژول Wi-Fi می تواند داده های ECG را بدست آورد. ماژول Wi-Fi دسترسی سریع و راحت به اینترنت را فراهم می کند، که قادر به انتقال اطلاعات ECG در زمان بلادرنگ به ابر IoT است. با توجه به استفاده از MCU قدرتمند داده ها بسته بندی و مجزا شده و با توجه به برخی پروتکل های ارتباطی منتقل می شوند.

۴) مازول برق: مازول برق یک منبع انرژی قابل اطمینان را برای هر مازول در گره مانیتورینگ ECG فراهم می کند. دو حالت از منبع تغذیه به علت طول عمر و حمل و نقل بالا برای کاربران ارائه شده است، یعنی، USB و باتری لیتیوم.

اب IoT برای مانیتورینگ ECG

پس از اینکه سیستم مقدار زیادی داده ECG را از طریق گره مانیتورینگ به دست آورد، یک ابر IoT لازم است تا یک راه سریع و راحت برای ذخیره این داده ها در یک پایگاه داده فراهم نماید و در صورت لزوم سیگنال ECG را نمایش دهد. بنابراین، بر اساس تکنیک های پیشرفته خدمات وب، محاسبات ابری و ذخیره سازی داده ها، یک ابر IoT در سیستم پیاده سازی شده که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ معماری ابر اینترنت اشیا برای مانیتورینگ ECG

۱) سرور: سه نوع سرور با عملکردهای مختلف در ابر IoT استفاده می شود، یعنی سرور ذخیره سازی، سرور HTTP و سرور MQTT. به خاطر توسعه این فن آوری های مجازی سازی، این سرورها را می توان به منظور استفاده کامل از منابع فیزیکی، مانند CPU، حافظه، و غیره روی دستگاه های بصری تعبیه کرد. سرورها مستقر در ابر IoT به شرح زیر است.

- سرور HTTP: بر اساس مکانیزم سنتی درخواست-پاسخ است، سرور HTTP قادر به پذیرش پاسخ های کاربران و پاسخ مقتضی با آن است. برای دسترسی به داده های ECG، کاربران باید یک درخواست GET را به ابر IoT از طریق یک URL ارسال نمایند. سپس یک فایل نوشته شده به زبان نشانه گذاری فرا متنی (HTML) به مرورگر از طریق پروتکل HTTP ارسال می شود. مرورگر قادر به تبدیل فایل HTML به یک رابط گرافیکی کاربر پسند برای کاربران است تا به صورت ایمن به سرور وارد شود. پس از اینکه به صورت موفقیت آمیز دسترسی حاصل شد، سرور HTTP یک فایل HTML دیگر را ارسال می کند تا رابط گرافیکی سیگنال ECG را نمایش دهد؛

• سرور MQTT: سرور HTTP تنها یک رابط گرافیکی از سیگنال ECG را ارائه می دهد. اما، انتقال داده های ECG از گره مانیتورینگ به صفحه وب بر اساس پروتکل انتقال تله متری پیام آماده انتقال (MQTT) پیاده سازی شده است بر خلاف پروتکل HTTP سنتی، پروتکل MQTT برای

حفظ یک ارتباط طولانی مدت بین دستگاه و ایستگاه پردازشگر [۷] طراحی شده است. بنابراین تاخیر در انتقال داده ها را می توان تا حدودی کاهش داد. علاوه بر این، پروتکل MQTT در مقایسه با HTTP، نیاز به پردازش معین ارتباطی کمتری دارد. که به صرفه جویی در عرض باند برای انتقال داده ها کمک می کند. این مزیت به خصوص هنگامی که حجم داده ها بسیار زیاد باشد، مفید است. با توجه به مزایای فوق، یک سرور MQTT برای ارئه داده های ECG در زمان واقعی به کاربران مناسب تر است. مکانیسم پروتکل MQTT بر اساس مفهوم "موضوع" است. دو نوع عملیات در ارتباطات بین دستگاه و ایستگاه پردازشگر مورد استفاده قرار می گیرد، یعنی اشتراک و انتشار. با کمک سرور MQTT، پیامهای منتشر شده در یک موضوع خاص توسط دستگاه را می توان به ایستگاه های پردازشگری که برای همان موضوع مشترک شده اند، منتقل کرد. بنابراین، عملکرد در زمان واقعی سرور بهبود می یابد؛ و

• سرور ذخیره سازی: سرور ذخیره سازی مسئول ذخیره داده های ECG در پایگاه داده ها است، که نقش حیاتی در تشخیص و تعیین زودهنگام بیماری های قلبی بازی می کند. بنابراین، ذخیره سازی به موقع و قابل اطمینان داده های ECG به عنوان یکی از مهم ترین عملکردهای ابر IoT محسوب می شود. به طور سنتی، ابرهای IoT پایگاه داده های رابطه ای را برای ذخیره داده های حساس مانند MySQL و اوراکل به کار می گیرند. با این حال، با افزایش سریع در حجم و نوع داده ها، سرعت خواندن - نوشتن پایگاه داده های رابطه ای به یک تنگنا برای عملکرد ابر تبدیل شده است. به خاطر ظهور پایگاه داده های غیر رابطه ای، ابرهای IoT می توانند داده ها را به شیوه انعطاف پذیرتری ذخیره کنند. به عنوان یکی از امیدوار کننده ترین پایگاه داده های غیر رابطه ای، Redis در سیستم پیشنهادی ما به کار گرفته شده است. Redis تمام داده های با مقادیر کلیدی را در حافظه ذخیره می کند. در نتیجه، انعطاف پذیری و سرعت I/O پایگاه داده را می توان تا حد زیادی بهبود بخشید [۳]

(۲) روندهای اصلی انتقال داده ها از طریق ابر/اینترنت/اشیا: با کمک ابر اینترنت اشیا سیگنالهای ECG یک بیمار خاص را می توان به راحتی از طریق یک مرورگر وب کسب نمود. به غیر از خود بیمار، هر شخص مرتبط با وی مانند اعضای خانواده و پزشکان به این داده های خصوصی دسترسی دارد. بنابراین احتمال درمان به موقع شخص مبتلا به بیماری قلبی بالقوه بیشتر می شود. روندهای اصلی انتقال داده ها از گره مانیتورینگ ECG به صفحه وب در شکل ۴، نشان داده شده است که همچنین به صورت مشروح در زیر آورده شده است.

- مرحله ۱- درخواست: کاربر یک درخواست را به سرور HTTP برای دسترسی به صفحه وب ارسال می کند؛
- مرحله ۲- پاسخ: سرور HTTP یک فایل HTML را به کاربر می فرستد، که می تواند به صفحه وب توسط مرورگر وب تبدیل شود؛
- مرحله ۳: مشترک شدن: با استفاده از رابط برنامه نویسی برنامه کاربردی (API) ابر IoT، صفحه وب قادر به اشتراک موضوعات خاص مربوط به گره مانیتورینگ ECG است؛
- مرحله ۴: انتشار: گره مانیتورینگ ECG داده ها را به سرور MQTT بر روی یک موضوع خاص منتشر می کند. این داده ها به تمام صفحاتی که در همان موضوع مشترک شده اند ارسال می شوند؛ و
- مرحله ۵ ذخیره سازی: داده های ECG به یک پایگاه داده که توسط سرور ذخیره سازی مدیریت شده، ذخیره می شوند.

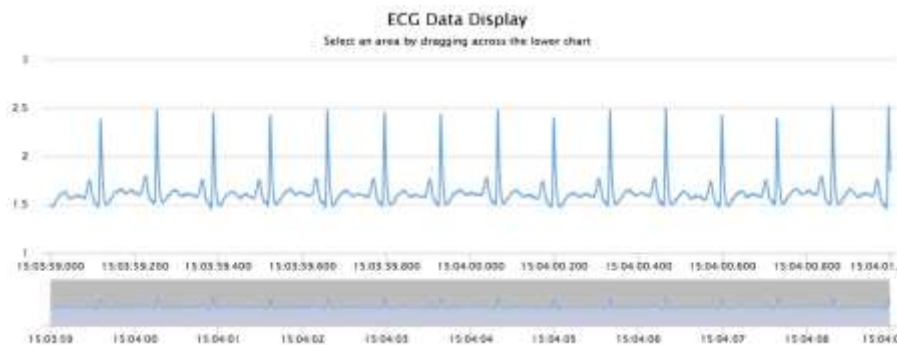
GUI برای مانیتورینگ ECG

بدون وابستگی به برنامه های کاربردی اضافی تلفن همراه، کاربران می توانند به ابر IoT وارد شده و داده های ECG را فقط با بازدید یک وب سایت خاص با استفاده از یک مرورگر وب از هر پلت فرم OS کسب نمایند. بنابراین، تقریباً تمام پایانه های هوشمند، از جمله دسکتاپ رایانه های شخصی، لپ تاپ ها و تلفن های هوشمند می توانند به خدمات ابر IoT دست پیدا کنند. رابط کاربری گرافیکی مبتنی بر وب در شکل ۵ نشان داده شده است. به غیر از نمایش سیگنال ECG در زمان واقعی، کاربران همچنین می توانند داده های تاریخی را با انتخاب زمان شروع و پایان در کنترل پنل به دست آورند.

نتایج و تجزیه و تحلیل تجربی

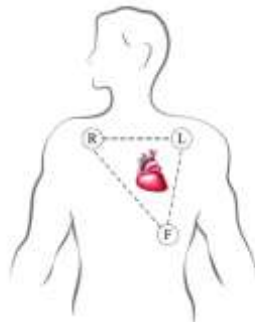
پیکربندی تجربی

سیستم های متداول دارای ۱۲ رابط برق به طور گسترده ای در موسسات پزشکی استفاده می شود، که می توانند سیگنال های ECG دقیق را برای حرفه ای ها بگیرند.



شکل ۵ نمونه ای از رابط کاربری گرافیکی برای سیستم مانیتورینگ ECG

با این حال، الکترودهای بیش از اندازه ممکن است دارای یک اثر منفی بر قابلیت حمل سیستم و راحتی بیمار باشد. طبق [۱]، یک جایگذاری با ۳ رابط برق برای گرفتن ویژگی های اولیه سیگنال ECG کافی است. برای بهترین نمونه سیگنال ECG، الکترودها باید در اطراف قلب قرار بگیرد و یک مثلث ایجاد کنند. جایگذاری ۳ رابط در سیستم ما در شکل ۶ نشان داده شده است. چندین آزمایش بر روی یک داوطلب سالم با استفاده از جایگذاری ۳ رابط به منظور تایید قابلیت اطمینان و دقت سیستم پیشنهادی انجام شد.



شکل ۶ جایگذاری الکترودهای ECG با ۳ رابط برق

پارامترهای اصلی حسگر ECG، ماژول Wi-Fi، سرور، و داوطلب در جدول ۲ ذکر شده اند.

سیگنال های معمولی ECG به طور عمده شامل پنج نوع از امواج هستند، یعنی موج P، موج T، موج Q، موج R، و S موج، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است. فواصل این امواج معمولاً برای تشخیص انواع بیماری های قلبی استفاده می شود. در میان تمام ویژگی های این امواج، چهار ویژگی بیشتر در تشخیص پزشکی معمول هستند، یعنی

- فاصله RR: به عنوان یکی از برجسته ترین ویژگی ها، موج R اغلب برای شناسایی دوره یک سیگنال ECG استفاده می شود. فاصله RR نشان دهنده بازه زمانی بین دو موج R مجاور است، که ممکن است در موارد بیماری های قلبی به عنوان مثال آریتمی نامنظم شود؛
- فاصله PR: فاصله PR زمان بین آغاز موج P و شروع QRS پیچیده را اندازه گیری می کند. این امر زمانی که پالس برای رسیدن به بطن از گره سینوس طی می کند را نشان می دهد؛
- فاصله QT: فاصله QT نشان دهنده زمان بین شروع موج Q و انتهای موج T است، که با عدم پولاریزاسیون و پولاریزاسیون مجدد بطنی مرتبط است. اگر فاصله QT بیش از مقدار طبیعی باشد، خطر فزاینده فیبریلاسیون بطنی یا حتی مرگ ناگهانی قلبی وجود خواهد داشت؛ و
- QRS پیچیده: QRS پیچیده به طور عمده با عدم پولاریزاسیون بطنی همراه است، که شامل سه موج مهم، یعنی موج Q، موج R و موج S است. از طریق تجزیه و تحلیل مورفولوژی و مدت زمان QRS پیچیده، احتمال تشخیص بیماری های خاص، به عنوان مثال، عدم تعادل الکترولیت و یا سمیت مواد مخدر وجود دارد.

طبق نظر [۱۱]، مقادیر طبیعی ویژگی های ECG در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۲ پارامترهای کلیدی سیستم مانیتورینگ ECG

پارامترها	مقادیر
-----------	--------

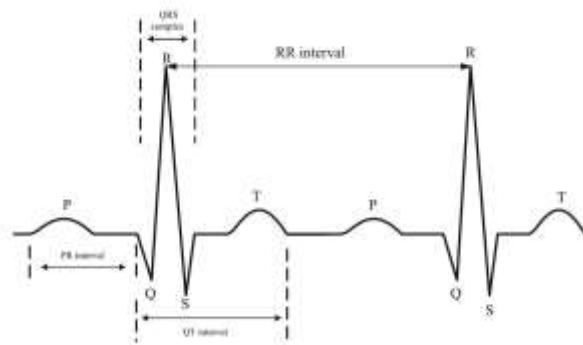
AD 8283	نوع	حسگر ECG
ولتاژ ۳,۶ ولت	ولتاژ برق	
ولتاژ ۳,۳-۰ ولت	ولتاژ خروجی	
IEEE 802.11 b / g / n	پروتکل های انتقال بی سیم	ماژول Wi-Fi
ولتاژ ۳,۳ ولت	ولتاژ برق	
۷۱ میلی آمپر <	مصرف برق	
Core i7-3632QM اینتل	CPU	سرور
۲.۲۰۰۰۰ / ۵۷-۳۷۷۰ ۳.۴۰۰۰۰		
اوبونتو ۱۲,۰۴ LTS, ۶۴ بیتی	سیستم عامل	
Apache Tomcat 8.0.27	سرور HTTP	
ردیس ۳,۲	پایگاه داده ها	
مذکر	جنسیت	داوطلب
۲۲	سن	
۱۷۹ سانتی متر	قد	
۶۵ کیلوگرم	وزن	

نتایج و تجزیه و تحلیل

شکل a ۸ داده های ECG جمع آوری شده از داوطلب سالم را نشان می دهد. واضح است که فواصل بین امواج مجاور R ، (RR) تقریباً یکسان است که هیچ خطر ابتلا به آرتمیها را نشان نمی دهد. به منظور نشان دادن ویژگی های کلیدی سیگنال ECG اندازه گیری شده، دو چرخه سیگنال به عنوان نمونه انتخاب شده، که در شکل ۸ ب نشان داده شده است. از طریق مقایسه مقادیر این ویژگی های با محدوده طبیعی ذکر شده در جدول ۳ ، بیماری های قلبی خاصی را می توان پیش از موعد تشخیص داد. همانطور که از شکل ۸ ب، دیده میشود فاصله بین دو موج R، ۰,۶۸ ثانیه است، که نشان دهنده آهنگ ضربان قلب داوطلب است. فاصله QT و زمان QRS به ترتیب به ۰,۳۲ ثانیه و ۰,۱۱ ثانیه می رسد، که نشان دهنده عدم اختلال در فرآیندهای عدم پولاریزاسیون و پولاریزاسیون مجدد بطنی است. در نهایت، فاصله PR نیز در محدوده طبیعی قرار دارد که به این معنی است که عدم پولاریزاسیون دهلیزی نیز طبیعی است.

بر اساس تجزیه و تحلیل فوق، می توان نتیجه گرفت که این داوطلب فاقد بیماری های قلبی آشکار است که با نتیجه گیری پیشین آن منطبق است. بنابراین، داده های جمع آوری شده توسط سیستم پیشنهادی، الزامات دقت و قابلیت اطمینان را برآورده می کند.

خوب می دانیم که سیگنال ECG به وضعیت حرکت داوطلب ، با توجه به انواع ضربان قلب مربوط است. برای نشان دادن تاثیر حرکت در سیگنال ECG، داوطلب تحت دو حالت حرکتی کنترل شد، یعنی حالت ایستا و حالت متحرک. مقایسه بین سیگنال های ECG تحت این دو حالت در شکل ۹ نشان داده شده است.

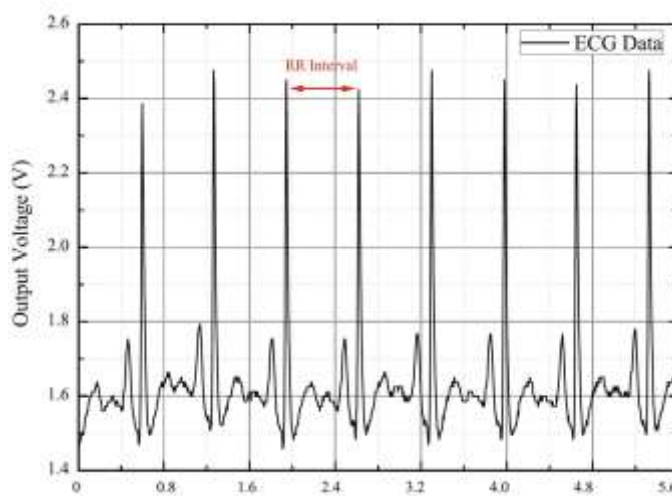


شکل ۷ سیگنال ECG استاندارد

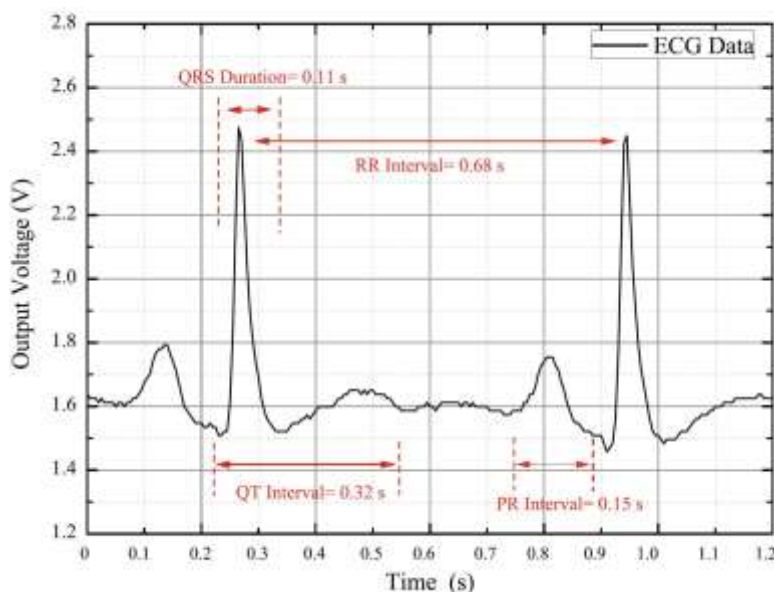
جدول ۳ مقادیر نرمال پارامترهای کلیدی ECG

ویژگی ها	محدوده طبیعی (ثانیه)
فاصله RR	۰,۶ - ۱
فاصله PR	۰,۱۲ - ۰,۲۰
فاصله QT	۰,۳۲ - ۰,۴۴
مدت زمان QRS	< ۰,۱۲

همانطور که از شکل دیده می شود، چرخه سیگنال ECG سیگنال در حالت ثابت بیشتر از حالت متحرک است، زیرا که فرد در حال حرکت معمولاً است ریتم سینوسی سریع تری دارد. با این حال، هیچ تفاوت آشکاری وجود ندارد بین دامنه های دو سیگنال وجود ندارد، زیرا دامنه سیگنال ECG عمدتاً به مقاومت از بدن انسان و همچنین فاصله بین هر الکتروود مربوط می شود، که در دو حالت خیلی متفاوت نیست.

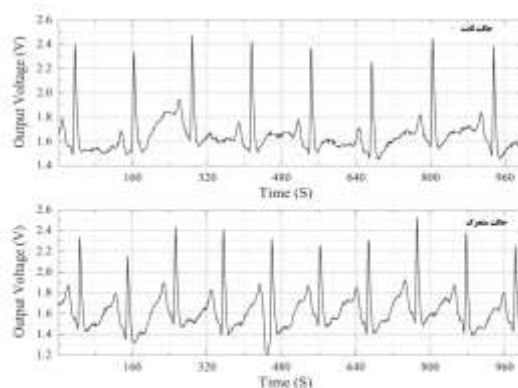


(a) بخشی از سیگنال ECG اندازه گیری شده.



(b) ویژگی های کلیدی سیگنال ECG اندازه گیری شده.

شکل ۸ داده جمع آوری شده توسط سیستم مانیتورینگ ECG پوشیدنی



شکل ۹ مقایسه سیگنال های ECG در دو حالت متمایز

نتیجه گیری

ما یک سیستم مانیتورینگ ECG را بر اساس تکنیک های پیشرفته IoT طراحی و اجرا کردیم. معماری سیستم مانیتورینگ ECG در ابتدا ارائه شد. شبکه های حسگر ECG معمول از جمله Wi-Fi، بلوتوث و Zigbee معرفی و مقایسه شدند. بر اساس معماری پیشنهادی، سیستم مانیتورینگ ECG مبتنی بر IoT را پیاده سازی کردیم. از طریق یک گره مانیتورینگ پوشیدنی با سه الکتروود، سیگنال های ECG در زمان واقعی را می توان با دقت رضایت بخشی جمع آوری کرد. داده های جمع آوری شده با استفاده از Wi-Fi به ابر IoT، انتقال داده شد که از نرخ داده بالاتر و مناطق پوشش گسترده تری پشتیبانی می کند. ابر IoT مسئول نمایش داده های ECG به کاربران و ذخیره سازی این داده های با ارزش برای تحلیل بیشتر است، که در سه سرور، یعنی سرور HTTP، سرور MQTT و سرور ذخیره سازی پیاده سازی شد. با حذف نیاز به برنامه های کاربردی موبایل، GUI مبتنی بر وب، ابزارهای متعددی را بدون وابستگی به هر پلت فرم OS تلفن همراه برای کاربران جهت دسترسی به داده های ECG فراهم می آورد. مطالعات بیشتر درباره مانیتورینگ ECG هنوز در آینده مورد نیاز است. به عنوان مثال، دقت نتایج تشخیصی بر اساس سیگنال ECG باید بهبود یابد تا برای تشخیص بیماری قابل اطمینان تر باشد. اعتقاد بر این است که مانیتورینگ ECG طولانی مدت و کاربر پسند، می تواند تا حدود زیادی به کاهش مشکلات موجود در مراقبت های بهداشتی کمک کند.

منابع:

- ۱-. Tseng, C., Coordinator traffic diffusion for data-intensive ZigBee transmission in real-time electrocardiography monitoring. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 60:3340–3346, ۲۰۱۳. doi:10.1109/TBME.2013.2266373.
- ۲-. Zhang, Y., and et al., Health-CPS: Healthcare cyber-physical system assisted by cloud and big data. Accepted by *IEEE Systems Journal*. doi:10.1109/jsyst.2015.2460747, 2015.
- 3-. Zhang, Y., Chen, M., Huang, D., and et al., I Doctor: Hersonalized and professionalized medical recommendations based on hybrid matrix factorization. *Fut. Gener. Comput. Syst.* 66:30–35, 2017. doi:10.1016/j.future.2015.12.001.
- 4-Shneiderman, B., and Plaisant, C., Sharpening analytic focus to cope with big data volume and variety. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 35:10–14, 2015. doi:10.1109/mcg.2015.64.
- 5-. Zhang, Y., Chen, M., Mao, S., and et al., CAP: Community activity prediction based on big data analysis. *IEEE Netw.* 28:52–57, 2014. doi:10.1109/mnet.2014.6863132.
- 6-. Alonso-Atienza, F., Morgado, E., Fernandez-Martinez, L., and et al., Detection of life-threatening arrhythmias using feature selection and support vector machines. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 61:832–840, 2014. doi:10.1109/tbme.2013.2290800.
- 7-. Sharma, H., and Sharma, K., An algorithm for sleep apnea detection from single-lead ECG using Hermite basis functions. *Comput. Biol. Med.* 77:116–124, 2016. doi:10.1016/j.combiomed.2016.08.012.
- 8-. AD8283 Datasheet(PDF) - Analog Devices. In: *Alldatasheet.com*. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/418481/AD/AD8283.html>, 2016.
- 9-. Buenda⁻ Fuentes, F., Arnau-Vives, M., Arnau-Vives, A., and et al., High-bandpass filters in electrocardiography: Source of error in the interpretation of the ST segment. *ISRN Cardiol.* 2012:1–10, 2012. doi:10.5402/2012/706217.
- 10-. STM32F103RC Datasheet(PDF) - STMicroelectronics. In: *Alldatasheet.com*. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/231959/STMICROELECTRONICS/STM32F103RC.html>, 2016.
- 11-. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., and et al., Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 17:2347–2376, 2015. doi:10.1109/comst.2015.2444095.
- 12-. Phan, T., and et al., Cloud databases for Internet-of-things data. In: *Proceedings IEEE 2014 International Conference on Internet of Things (iThings)*, pp. 117–124. Taipei, 2014