یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

تشخیص ضربان قلب با استفاده از کمپلکس QRS در سیگنال های ECG

بهزاد یثربی(نویسنده مسئول)[1]، لیلا ابراهیم پور[2]

[1]استادیار گروه مهندسی پزشکی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران B_yasrebi@iaut.ac.ir

[2] دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی پزشکی گرایش بیومکانیک، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، تبریز
Ebrahimpourle@gmail.com

چکیده

الکتروکاردیوگرافی، روشی برای سنجش شاخصهای قلبی در پزشکی است. در این روش، تغییرات پتانسیل الکتریکی که در اثر فعالیت الکتریکی عضله قلب به وجود میآید، ثبت میگردد. در یک نوار قلب معمولی، ابتدا موج تحریک الکتریکی دهلیز (P)و سپس موج تحریک الکتریکی بطن با کمپلکس QRS دیده میشود. هدف از این مقاله استخراج ضربان قلب با استفاده از تحلیل کمپلکس QRS می باشد که استفاده از آن می تواند باعث تسریع تشخیص انواع بیماری های زمینه ای و ناگهانی مانند سکته قلبی و کمک به تحلیل سیگنال های آفلاین قلبی شود. امروزه با توجه به تغییر سبک زندگی و مکانیزه شدن بیشتر امور، بیماری های قلبی شیوع بیشتری یافته اند و به یکی از رایج ترین علل مرگ و میر در دنیا تبدیل شده اند. لذا پایش عملکرد قلب در هر انسان می تواند تا مقدار زیادی از بروز مشکلات جدی برای آن فرد جلوگیری نماید. پایش سیگنال های قلب نیازمند تجهیزاتی است که سیگنال های قلبی را استخراج و تحلیل می نمایند که در این تحقیق از سیگنال های قلبی موجود در دیتاست سایت فیزیونت استفاده شده است. برای تحلیل و پردازش این سیگنال ها نیز از نرم افزار قدرتمند متلب استفده شده است. نتایج نشان داده است که وقوع هر گونه آریتمی می تواند زنگ هشداری برای فرد باشد تا با مراجعه به پزشک متخصص، از بروز بیماری های جدی تر جلوگیری نماید. با توجه نتایج چنین بنظر می رسد که استخراج ضربان قلب از سیگنال های قلبی می تواند کمک شایانی به تحلیل این سیگنال ها بصورت آفلاین نماید و همچنین در پایش بیماران زمینه ای قلبی بسیار کارآمد خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

سیگنال های قلبی، ضربان قلب، آریتمی، کمپلکس QRS

۱. مقدمه

بیماری های قلبی عروقی شایع ترین علت مرگ در بیشتر کشـــورهای جهان از جمله ایران و مهمترین عامل از کار افتادگی است. با وجود پیشرفت های سریع تشخیصی و درمانی هنوز یک سوم بیمارانی که دچار سکته قلبی می شوند فوت می کنند و دو سوم آنها که زنده می مانند، هرگز بهبودی کامل نمی یابند و به زندگی عادی بر نمی گردند. این بیماری ها، هزینه هنگفتی را بر نظام های بهداشتی درمانی کشورها تحمیل می کنند. با این همه، بیماری های قلبی عروقی یکی از قابل پیشگیری ترین بیماری های غیر واگیر انسان به شمار می آیند. قلب مهمترین عضو بدن ما و مرکز اصلی سیستم گردش خون می باشد که از طریق شبکه ای که به وسیله رگ ها شکل گرفته است، خون را که شامل اکسیژن و سایر مواد مغزی بوده و اندام های بدن برای سالم ماندن و درست کارکردن به آن نیاز دارند را به تمامی قسمت های بدن ارسال میکند. ضربان قلب یکی از پارامترهایی است که نقش مهمی در سلامت فرد و عملکرد درست سایر ارگان های بدن دارد. ضربان قلب طبیعی هر فرد، بستگی به عوامل مختلفی از قبیل سن، اندازه بدن، وضعیت قلب، مصرف دارو و اینکه فرد در حالت نشسته یا در حال دویدن است، دارد. علاوه بر این، احساساتی مانند: هیجان زدگی و ترسیدن نیز می‌توانند موجب افزایش ضربان قلب شوند. ضربان قلب نرمال باعث داشتن قلبی سالم می‌شود .علاوه بر ورزش کردن، موارد دیگری هم وجود دارد که به سالم ماندن قلب و ایجاد ضربان نرمال آن کمک می‌کند. عواملی مانند استرس، وزن و دخانیات تاثیر مهمی بر روی عملکرد قلب دارند. ضربان قلب در هنگام ورزش افزایش می‌یابد. حین ورزش، مهم است که فشار قلب بیش از حد زیاد نباشد. با این حال بیمار باید ضربان قلب خود را در زمان تمرین برای ارائه اکسیژن و انرژی بیشتر به سایر قسمتهای بدن افزایش دهد. با توجه به اینکه ضربان قلب به علت فعالیت بدنی بیشتر میشود، کاهش کلی ضربان قلب در طول زمان امکان دارد اتفاق بی افتد. این بدان معنی است که قلب برای ارسال مواد مغذی و اکسیژن لازم به قسمتها ی مختلف بدن کمتر کار میکند و باعث می‌شود کارایی بیشتری داشته باشد. تحرک قلب توسط میلیونها سلول که به امواج کوچک الکتریسیته واکنش نشان میدهند، انجام میگیرد. بیشتر علائم و سیگنالهای استخراجی با استفاده از اختلافات الکتریکی در بین ماهیچه های قلب بدست می آید. در صورتی که این سیگنالها از سطح بدن، بدون ارتباط مستقیم و فیزیکی با عضو قلب بدست بیایند، آنها را سطحی و غیرتهاجمی گوییم. حدود سه چهارم مرگ‌ومیرهای ناشی از بیماری‌های قلبی در کشورهایی با سطح اقتصادی پایین یا متوسط اتفاق می‌افتند. اغلب بیماری‌های قلبی عروقی قابل پیشگیری هستند و با توجه به عوامل خطری مانند مصرف دخانیات، رژیم غذایی نامناسب، چاقی و اضافه وزن، بی‌تحرکی و مصرف الکل می‌توان میزان مرگ‌ومیر ناشی از این بیماری‌ها را کاهش داد. بیماری‌های قلبی و عروقی که به اختصار به آنها بیماری قلبی نیز گفته می‌شود، به دسته‌ای از مشکلات اطلاق می‌شود که اغلب آنها به پروسه‌ای با عنوان آترواسکلروزیس مرتبطند. آترواسکلروزیس موقعی ایجاد می‌شود که کانون‌های تجمع چربی (پلاک) در دیواره سرخرگ‌ها ایجاد شود. ایجاد این پلاک‌ها باعث تنگ شدن عروق شده و موجب می‌گردد که خون به سختی در آن‌ها جریان یابد. با تشکیل لخته خون در نقطه تنگ‌شده، جریان خون به‌طور کامل قطع می‌شود. به این حالت سکته می‌گوییم که ممکن است در مغز یا قلب اتفاق بیفتد. در این مقاله به انواع شایع بیماری‌های قلبی و عروقی خواهیم پرداخت. نارسایی قلب که گاه به آن نارسایی احتقانی قلب نیز گفته می‌شود، بدان معناست که قلب، خون را آنگونه که باید پمپ نمی‌کند. نارسایی قلب به معنای کم شدن توان انقباضی قلب است. در این شرایط هم قلب به کار خود ادامه می‌دهد، ولی نمی‌تواند نیاز اکسیژن بدن را تامین کند بررسی کارکرد قلب در بدن به صورت معمول، ترکیبی از مفاهیم علم فیزیک و پزشکی را شامل میشود. هر سمت از قلب به دو حفره با نام های دهلیز[1] و بطن[2] تقسیم بندی میشود. وظیفه اصلی خون رسانی با ماهیچه های بطنی است و در کنار آنها حفره های دهلیزی به عنوان یک منبع ذخیره، راه ورود خون به بطن ها میباشند. در یک دوره گردش کامل، ابتدا خون از بطن راست برای گرفتن اکسیژن در یک گردش کوچک و به اصطلاح ششی به سمت شش ها رفته و خون اکسیژن دار به دهلیز چپ بازمی گردد. پس از انتقال خون از دهلیز چپ به بطن چپ، خون دارای اکسیژن از طریق شریان آئورت به تمام نقاط بدن پمپاژ میشود. به همین دلیل بطن چپ دارای ماهیچه هایی بزرگتر و حجیم تر از بطن راست است. وجود دیواره میانی نیز باعث عدم ترکیب شدن خون در بطن چپ و راست میشود و این موضوع به علت تمایز در وجود اکسیژن، ضروری

---

[1] Atrium
[2] Ventricle

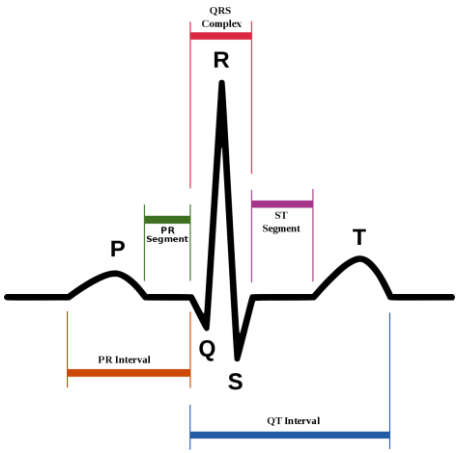
میباشد. مجموعه عملیات خون رسانی با مراحل پیچیده، باید در بازه های زمانی مشخصی اجرا شوند. عدم اجرا هر یک از قسمتهای انتقال خون و پمپاژ در دهلیزها و بطن ها باعث ایجاد بینظمی در ضربان قلب میشود. این بینظمی ها با نام آریتمی[3] شناخته میشوند. منشأ آریتمی ها ممکن است از قلب یا سایر اعضای بدن باشد که بدرستی کار نمیکنند. مستقل از علت وجود، آریتمی ها میتوانند در کار بدن اشکال ایجاد و در صورت تداوم در مواقعی باعث ایست قلبی و فوت انسان گردند. در تحقیقی در سال ۲۰۱۷، الگوریتمی برای تشخیص QRS مورد استفاده قرار گرفت. در این الگوریتم ابتدا سیگنال ECG نرمالیزه شده و سپس مقدار میانگین این سیگنال استخراج می شود. سپس QRS تشخیص داده می شود و پریود آن نرمالیزه می شود و سپس با تکنیک های خاصی خطاهای موجود از بین می رود [1]. در تحقیق دیگری در همین سال به بررسی مقاومت متد تشخیص QRS در سیگنال های ECG سنسورهای پوشیدنی پرداخته شد. این سیستم ها برای مانیتور نمودن آنلاین سیگنال های قلبی مورد استفاده قرار میگیرند. در این روش ابتدا ویژگی های سیگنال استخراج می شوند و سپس به تشخیص QRS پرداخته می شود [2]. در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۹، سیستم GPS نیز به سیستم های متداول اضافه شد تا با ترکیب داده های مکانی و سیگنال های قلبی راننده، بتوان به اصلاح خطاهای داده های مکانی پرداخت [3]. در همین سال در مقاله دیگری از شبکه های عصبی و یادگیری ماشین برای تشخیص QRS استفاده شد. دراین روش دیگر نیازی به پیش پردازش پیچیده سیگنال های ECG وجود نداشت [4]. در تحقیقی در سال ۲۰۲۰ به بررسی رخداد محور کمپلکس های توان پایین QRS پرداخته شد. در این تحقیق با توجه به اینکه استفاده از سیستم های بی سیم در پروژه های افزایش پیدا کرده است و در این پروژه ها بحث مصرف توان حرف اول را می زند، تمرکز روی کاهش انرژی مصرفی از طریق کاهش زمان پردازش اطلاعات شده است. بدین گونه که تا زمانی که رخداد غیر عادی در سیگنال های دریافت شده صورت نپذیرد، پردازش انجام نخواهد شد و این امر باعث کاهش مصرف توان می شود [5]. در سال ۲۰۲۰ در مقاله ای به تشخیص اتوماتیک QRS با استفاده از تبدیل فوریه و ترکیب ویژگی ها پرداخته شد که می توان از آن در پروژه های از راه دور پایش سیگنال های حیاتی اشخاص استفاده نمود[6] . در همان سال در تحقیق دیگری به بررسی آریتمی های قلبی با استفاده از تبدیل فوریه پرداخته شد که در آن نیز از کمپلکس های QRS برای تشخیص این امر استفاده شده بود [7]. در سال ۲۰۲۰ در مقاله ای از ترکیب سه روش مستقل برای تشخیص QRS استفاده شد. این روش بر روی دیتاهایی شامل اطلاعات دو میلیون ضربان قلب تست و پیاده سازی شد و قابلیت اطمینان آن محقق شد [8] . در این مقاله با استفاده از تحلیل سیگنال های ECG، که از دیتاست سایت فیزیونت استخراج شده اند، به بررسی و تحلیل آنها با استفاده از نرم افزار متلب پرداخته شده است. در نهایت هدف از تحلیل این سیگنال ها، استخراج ضربان قلب با تشخیص قله های سیگنال های موجود بوده است. این امر می تواند در سیستم هایی که فقط سیگنال های قلبی را بررسی می نمایند نقش مهمی را ایفا نماید و ضربان قلب را نیز در سایر تحلیل ها دخیل نماید.

۲. مواد و روش تحقیق

با توجه به اینکه برای استخراج ویژگی های عملکرد قلب باید از سیگنال های قلبی نمونه برداری کرد، در این مقاله از سیگنال های ECG به عنوان مواد تحقیق استفاده شده است. این سیگنال به عنوان روشی غیرتهاجمی و در عین حال سریع، اطلاعات بسیار مفیدی را از وضعیت عملکرد قلب بیمار به پزشک نشان میدهد. سیگنال ECGکه بیان کننده مجموعه فعالیتهای الکتریکی سلولهای قلب میباشد، دارای ۱۲ اشتقاق بوده که ۶ سیگنال از آن بصورت پیشانی و ۶ سیگنال دیگر آن بصورت افقی اختلافات الکتریکی را نمایش میدهند. نمایش ECG بیانگر یک نقشه الکتریکی از کارکرد ماهیچهای قلب است. این نقشه در هر دوره ضربان تکرار میشود. تحریک الکتریکی ضربان قلب، از مکانی در بالای دهلیز راست با نام گره سینوسی آغاز میگردد. این گره در واقع تنظیم و کنترل ضربان قلب را بر عهده دارد. این تحریک شروع موج P در نمودار ECG است. با این تحریک دهلیز راست و بعد از آن دهلیز چپ، شروع به انقباضی آرام مینمایند. این پدیده در اثر دپلاریزاسیون سلولهای قلب با نام میوکارد میباشد. این سلولها در حالت استراحت پولارایز میباشند. جمع شدن دهلیز راست،

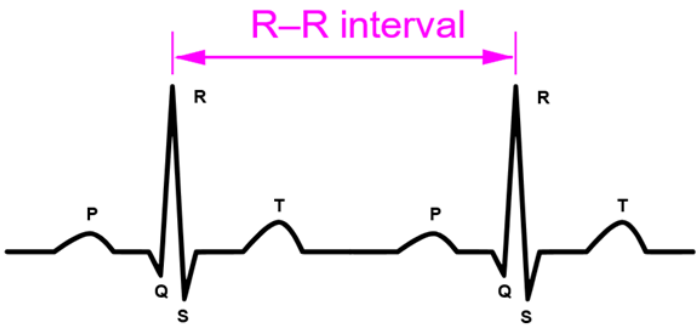
[3] Arrhythmia

باعث رسیدن تحریک گره سینوسی به گره دهلیزی-بطنی میشود. برخلاف انقباض تدریجی دهلیزها، به علت وجود سیستم عصبی پورکینژ، انقباض بطنی بسیار سریع و پرفشار است. مجموعه QRSدر شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل بیانشده، در هر بار ضربان قلب با زمانبندی مناسب، توسط گره سینوسی تکرار میگردد. بر روی سیگنال ECG بازه هایی تعریف میشود؛ طول این بازههای زمانی، بیان کننده سلامت کارکرد قلب است و تغییر در محدود زمانی یا طول آنها نشان دهنده هشداری جدی به پزشک، مبنی بر عدم سلامت قلب یا دیگر اعضای وابسته به آن میباشد. در ادامه سیگنال، ECG بازهای با نام QRS Interval را مشاهده مینمایید. این بازه بیان کننده زمان انبساط بطن ها میباشد. افزایش طول این بازه، نشان دهنده عدم وجود ضربانی پرقدرت و کارا است. زیرا این افزایش بازه در ، QRS Interval بیان کننده این امر است که جمع شدن ماهیچه های بطنی به صورت تدریجی با فشاری کم بودهاست. آخرین بازه در یک دوره ضربان، S-T Interval نام دارد که بیان کننده زمان استراحت و پولاریزه شدن مجدد سلولهای قلب است.



شکل ۱. کمپلکس QRS

بازه دیگری که دارای اهمیت ویژهای در تحلیل ضربان قلب بوده و بررسی تغییرات آن، بسیار مهم و حیاتی است. نام این بازه RR Interval است و بدین صورت تعریف میشود: فاصله زمانی بیشینه یا اوج R از یک ضربان تا ضربان بعدی. بازه RR Interval بیانگر فاصله زمانی بین تپش های قلب است و در صورت تپش سریع قلب همچون آریتمی های تنددلی، این فاصله های زمانی کوتاه شده و نیز در صورت تپش کند قلب، این بازه گسترش می یابد. شکل ۲ این بازه را نشان می دهد.



شکل ۲. بازه R-R

ضربان قلب نیز با استفاده از فرمول (۱) قابل محاسبه است.

Rate= 60*sampling rate/ (R-R interval) فرمول (۱)

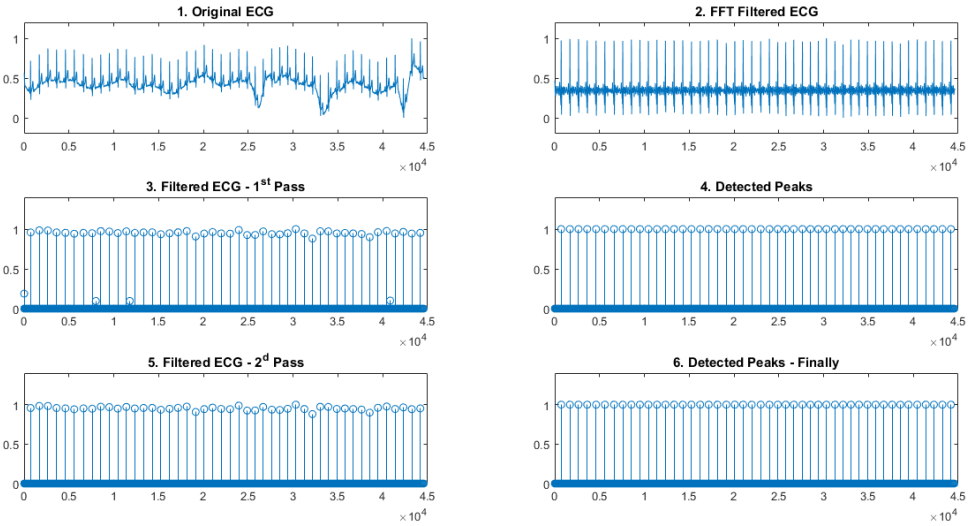
با توجه به موارد اشاره شده متغیر های مورد استفاده در این مقاله سیگنال های قلبی و کمپلکس QRS می باشد که تحلیل آنها و استخراج ویژگی های آنها مورد مطالعه بوده است. سیگنال های مورد نیاز برای این تحلیل ها از دیتاست های موجود در پایگاه فیزیونت استخراج شده اند که پایگاهی مناسب و معتبر برای دستیابی به سیگنال های فیزیولوژیکی می باشد. روش پیاده سازی بدین صورت است که ابتدا اجزا فرکانس پایین را از سیگنال جدا می کنیم. این بخش خود شامل سه مرحله است که عبارتند از انتقال به حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه، جداسازی اجزا فرکانس پایین و انتقال به حوزه زمان با عکس تبدیل فوریه. در مرحله بعد از الگوریتم، قله های محلی در سیگنال را با اعمال فیلتر پیدا خواهیم کرد. سپس مقادیر کوچک را حذف خواهیم کرد و بقیه مقادیر مناسب را ذخیره خواهیم نمود. در مرحله پایانی نیز اندازه پارامترهای فیلتر را تغییر خواهیم داد و مراحل دو و سه را تکرار خواهیم نمود.

۳. نتایج حاصله و بحث

با توجه به بررسی های انجام گرفته و توضیحات ارائه شده، تحلیل سیگنال های قلبی و استخراج ویژگی ها و اطلاعات آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. ضربان قلب و تعداد آن، یکی از پارامترهایی است که می توان از سیگنال های قلبی استخراج نمود و اطلاعات موجود در آن نیز از اهمیت بالایی در تشخیص و پیشگیری انواع بیماری های قلبی دارد. ضربان قلب اصطلاحی است که به هر بار انبساط، انقباض و پمپاژ خون توسط این اندام، گفته می‌شود. اگر تعداد این ضربان از حد استاندارد بیشتر شود تپش قلب رخ داده است. علاوه بر اختلال در تعداد، ممکن است در ریتم ضربان نیز اختلال ایجاد شود که به آن آریتمی قلبی می‌گویند. میزان استاندارد برای این ضربان این‌گونه در نظر گرفته می‌شود که اگر یک فرد بالغدر حال استراحت باشد و البته قلب سالمی هم داشته باشد، قلب وی باید بین ۵۵ تا ۱۰۰ بار در دقیقه ضربان داشته باشد. در نتیجه مراحل ضربان قلب به ترتیب به شکل زیر است.

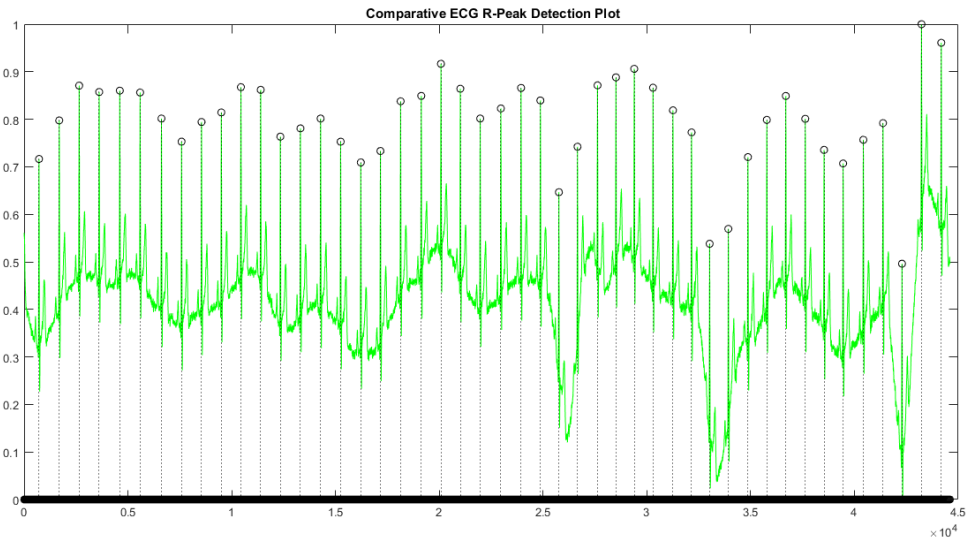
۱. انبساط عضله قلب، ورود خون به دهلیز و انتظاری کوتاه پشت دریچه بسته دهلیز.
۲. باز شدن دریچه و رانده شدن خون با فشار به داخل بطن زمانی که دریچه‌های خروجی بطن بسته هستند.
۳. بسته شدن دریچه بین دهلیز و بطن.
۴. انقباض عضله بطن و پمپ شدن خون به خارج از قلب آنگاه که درگاه‌های خروجی بطن باز شده‌اند.
۵. انبساط مجدد عضله قلب و آمادگی برای پر شدن از خون و آغاز سیکل بعد.

تمامی این مراحل در سیگنال های استخراجی قابل ملاحظه هستند که با الگوریتم های مختلف می توان آنها را استخراج نمود. در این مقاله با استفاده از روش پیشنهادی که در بخش قبل توضیح داده شد، ضربان قلب با تحلیل سیگنال های قلب استخراج شده است. شکل ۳ مراحل ذکر شده را نشان می دهد. این خروجی با اعمال دیتاهای موجود به نرم افزار متلب حاصل شده است.



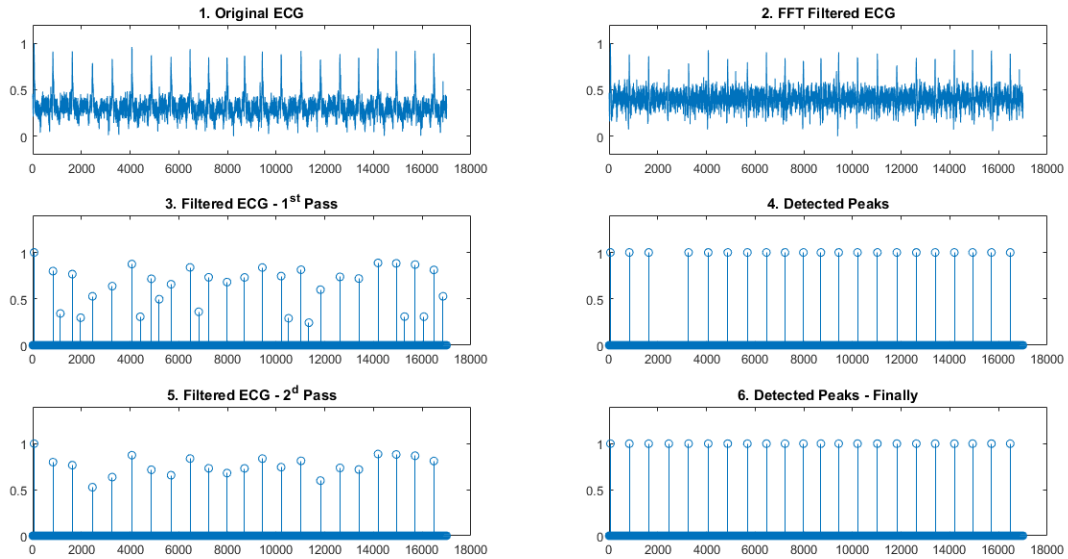
شکل ۳. مراحل تحلیل سیگنال ECG

شکل ۴ نیز تشخیص قله ها را برای R نشان می دهد.

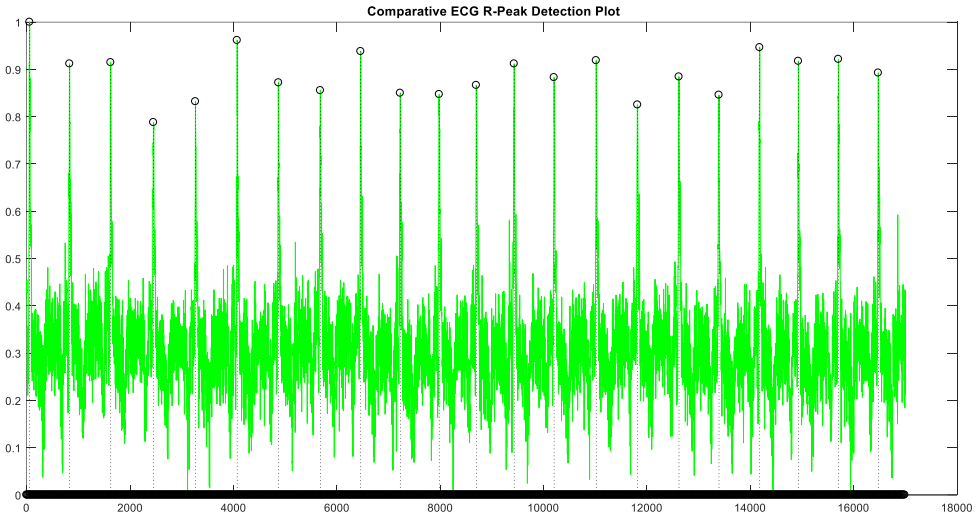


شکل ۴. تشخیص بیشینه R

برای این سیگنال های پس از تحلیل و با اعمال در فرمول ذکر شده در بخش های قبل، تعداد ضربان قلب ۶۴ توسط نرم افزار متلب استخراج شد. شکل های ۵ و ۶ تحلیل یک سیگنال دیگر را نشان می دهد که تفاوت هایی در الگوی کلی با سیگنال قبل دارد.



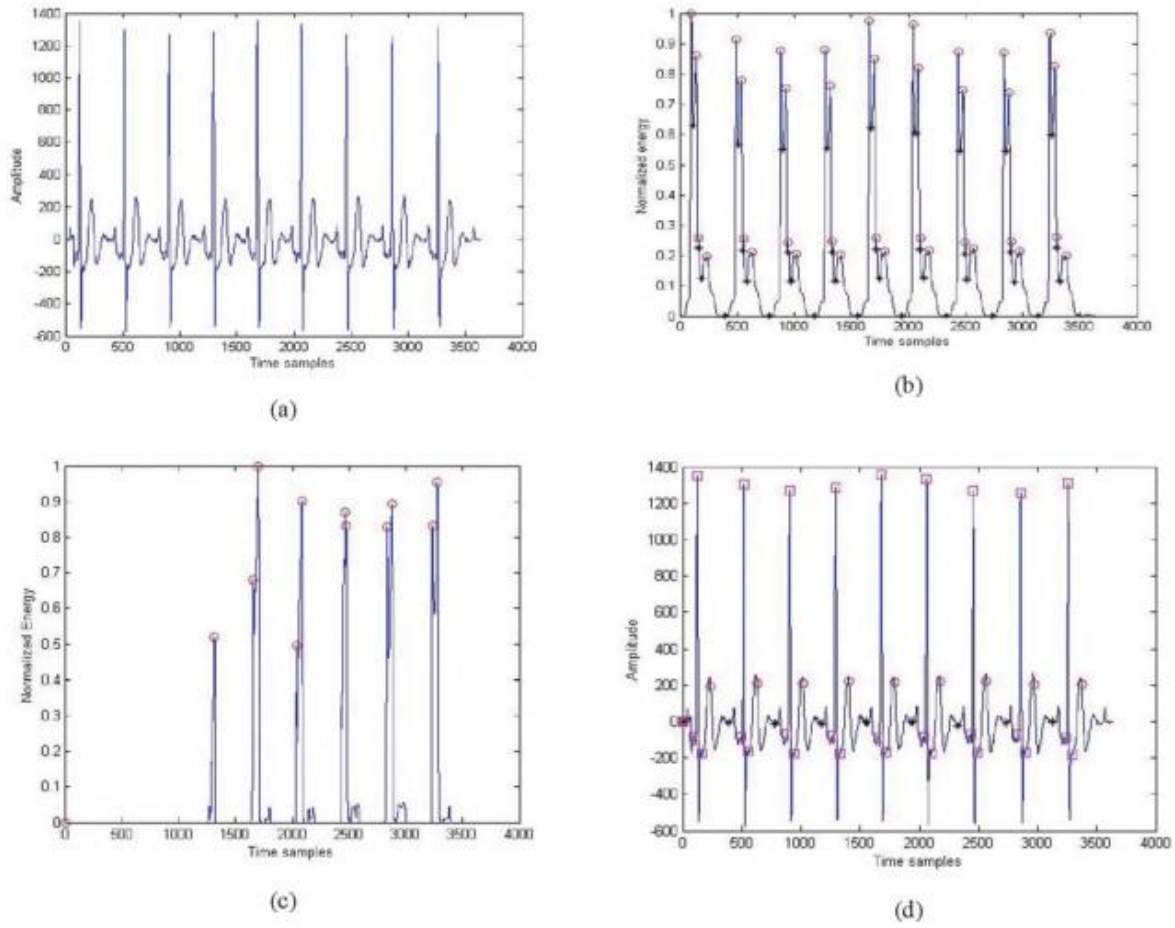
شکل ۵. مراحل تحلیل سیگنال ECG برای سیگنال دوم



شکل ۶. تشخیص بیشینه R برای سیگنال دوم

برای سیگنال دوم نیز پس از تحلیل، تعداد ضربان ۸۰ در نرم افزار متلب محاسبه شد. مشاهده می شود که در دو سیگنال اعمال شده به نرم افزار، پس از اعمال فیلتر (نمودار ۳)، قله هایی نیز به غیر از قله های اصلی وجود دارند. مخصوصا این قله ها در شکل ۶ واضح تر و بیشتر می باشند. پس از اعمال فیلتر و ادامه الگوریتم، مشاهده می شود که در نمودار ۴، قله هایی که به غیر از قله های اصلی می باشند حذف شده اند و این امر نشان دهنده عملکرد صحیح فیلتر اعمالی می باشد. در سال ۲۰۲۰، والیا و کائول در تحقیقی به تشخیص QRS

با استفاده از تبدیل فوریه پرداختند. در این تحقیق سیگنال های ECG مورد بررسی قرار گرفت و از تبدیلات فوریه برای تشخیص آن استفاده شد. شکل ۷ خروجی تحقیق آنها را نشان می دهد [7] .



شکل ۷. تشخیص قله ها در QRS

با تجه به شکل ۶ و ۷ مشاهده می شود که در هر دو سیگنال پس از پردازش، QRS و قله های آن تشخیص داده می شوند. در شکل ۷ بخش d، کمپلکس QRS تشخیص داده شده است که قله های سیگنال نیز مشخص شده اند که در شکل ۶ نیز با تحلیل های انجام شده، این قله ها مشخص شده اند. نتایج نشان می دهد که الگوریتم پیاده سازی در این مقاله با مقاله های مشابه و مقالات رفرنس مشابهت دارد و می توان از این الگوریتم برای بدست آوردن ضربان قلب از روی سیگنال ECG استفاده نمود.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله به تشخیص ضربان قلب با استفاده از کمپلکس QRS در سیگنال های ECG پرداخته شد. از چالش های پیش روی در این تحقیق، نرمال سازی سیگنال، تشخیص بیشینه R و استخراج ضربان قلب از روی سیگنال بود که با استفاده از الگوریتم اشاره شده در قسمت های قبل، به نحو احسنت مرتفع شدند. با توجه به نتایج بدست آمده بنظر می رسد می توان از سیستم طراحی شده در تکنولوژی های پوشیدنی نیز بهره برد و بصورت آنلاین، سیگنال های قلبی افراد تحت درمان را پایش نمود. همچنین برای ادامه کار می توان سیستم انتقال اطلاعات وایرلس به برنامه نوشته شده اضافه نمود و ضربان قلب نیز به همراه سایر سیگنال های حیاتی به سرور پردازشی اصلی انتقال یابد. همچنین در سیستم هایی که فقط داده های آفلاین موجود را پردازش می نمایند و دسترسی به داده ضربان قلب ندارند، سیستم طراحی شده می تواند کاربرد بسیار کلیدی داشته باشد و ضربان قلب را از سیگنال ها استخراج نماید.

منابع

[1] I. Soussi and M. Ouslim, 2017. The use of an efficient QRS detection algorithm for the compression of ECG signals with large QRS waves, First International Conference on Embedded & Distributed Systems (EDiS), pp. 1-6
[2] P. Sangketkit and S. Wongsa, 2017. Robustness evaluation of a dual-threshold QRS detection method for wearable ECG recorders, 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 230-233
[3] E. Žunić, S. Delalić, K. Hodžić and Z. Tucaković, 2019. Innovative GPS Data Anomaly Detection Algorithm inspired by QRS Complex Detection Algorithms in ECG Signals, IEEE EUROCON 18th International Conference on Smart Technologies, pp. 1-6
[4] X. Wang and Q. Zou, 2019. QRS Detection in ECG Signal Based on Residual Network, IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), pp. 73-77
[5] S. Zanoli, T. Teijeiro, F. Montagna and D. Atienza, 2020. An Event-Based System for Low-Power ECG QRS Complex Detection, Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), pp. 258-263
[6] A. Biran and A. Jeremic, 2020. Automatic QRS Detection and Segmentation Using Short Time Fourier Transform and Feature Fusion, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), pp. 1-4
[7] A. Walia and A. Kaul, 2020. QRS Detection using Dual Window Fourier Transform, 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), pp. 314-318
[8] L. Smital, L. Marsanova, R. Smisek, A. Nemcova and M. Vitek, 2020. Robust QRS Detection Using Combination of Three Independent Methods, Computing in Cardiology, pp. 1-4