



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

گزارش پروژه پایانی درس یادگیری ماشین

نگارش:

امیرحسین اسدیان

شماره دانشجویی:

۹۶۱۰۱۱۸۷

استاد درس:

دکتر محمدزاده

۱۴۰۰/۰۴/۱۲

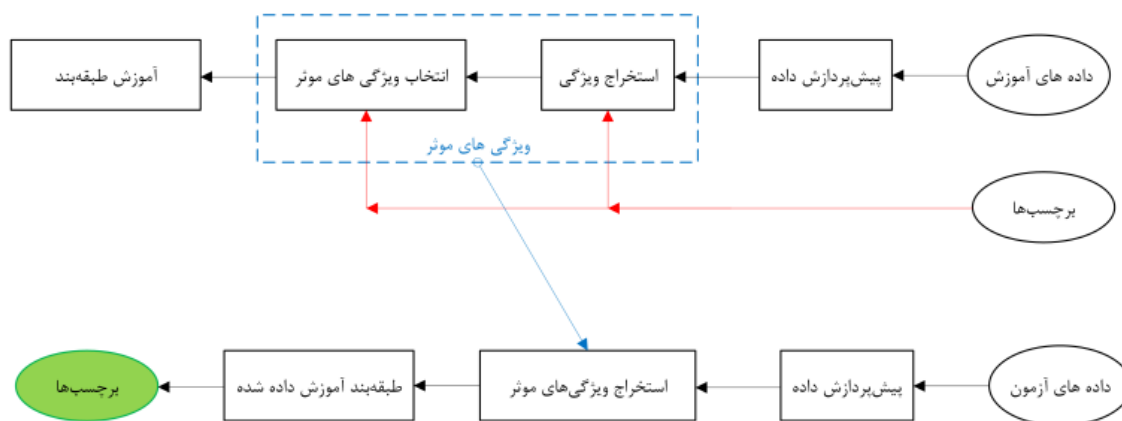
مقدمه

در این پروژه، به بررسی سیگنال ECG برای استفاده در فناوری بیومتریک پرداخته شده است. در سیگنال ECG جریان الکتریکی ایجاد شده با تپش های قلب ثبت می شود که به دلیل تفاوت در ساختارهای آناتومی بدن و قلب منجر به وجود آمدن تفاوت در ویژگی های مختلف این سیگنال در افراد می شود که می توان از همین ویژگی ها برای دسته بندی و شناسایی افراد استفاده کرد.

در این پروژه، داده مورد بررسی شامل ۱۶۱ نمونه برداری مختلف سیگنال قلبی از ۴۰ شخص مختلف می باشد که هر نمونه طی ۲۰ ثانیه با فرکانس نمونه برداری ۵۰۰ هرتز بدست آمده است. ۱۴۱ نمونه از ۱۶۱ نمونه دارای برچسب و ۲۰ نمونه دیگر بدون برچسب می باشد. هدف در این پروژه تشخیص برچسب ۲۰ نمونه باقی مانده می باشد.

فرآیند حل مسئله

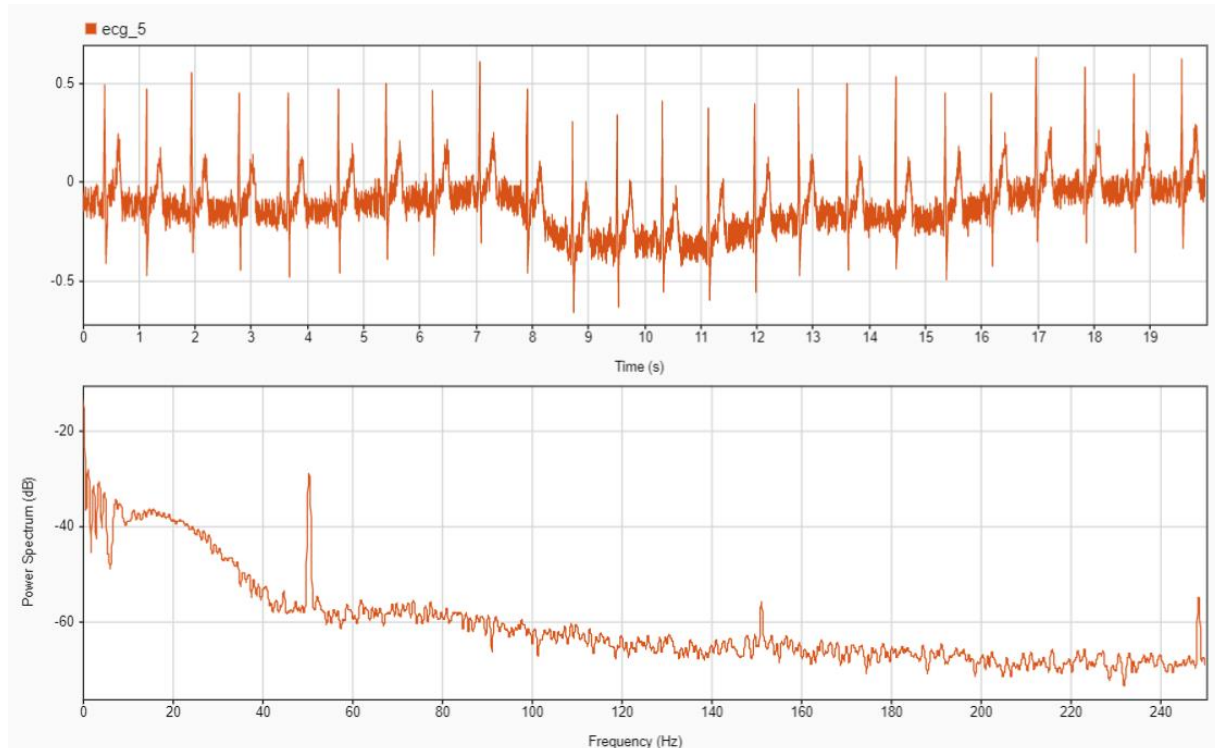
فرآیند پیشنهادی برای حل این مسئله در شکل ۱- بیان شده است:



شکل ۱- فرآیند حل مسئله

پیش پردازش داده

در این مرحله ۳ نویز و تداخل متداول در سیگنال های ECG شناسایی و تضعیف شده است. این کار بوسیله عمل فیلتر کردن انجام شده است. یکی از سیگنال های مورد بررسی به کمک نرم افزار MATLAB در شکل-۲ به همراه طیف توان آن نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمونه سیگنال ECG به همراه طیف توان آن.

همانطور که در این شکل مشاهده می شود اغتشاش خط مبنا، نویز فرکانس بالا و همچنین نویز برق شهر تاثیر زیادی روی سیگنال مورد نظر گذاشته است. طریقه حذف و جزئیات فیلترهای استفاده شده در این خصوص در ادامه ذکر می شود. در قسمت پیش پردازش از نرم افزار MATLAB برای این کار استفاده شده است که کد مربوطه در فایل preprocess.m قابل دسترس است.

۱. اغتشاش خط مبنا: این نویز به دلایل مختلف مانند حرکت بیمار، نفس کشیدن و تفاوت امپدانسی بین پوست و الکتروود رخ می دهد. برای حذف آن به دلیل ماهیت فرکانس پایین آن می توان از یک فیلتر بالاگذر استفاده کرد. فیلتر بالاگذر استفاده شده در این قسمت دارای مشخصات زیر است:

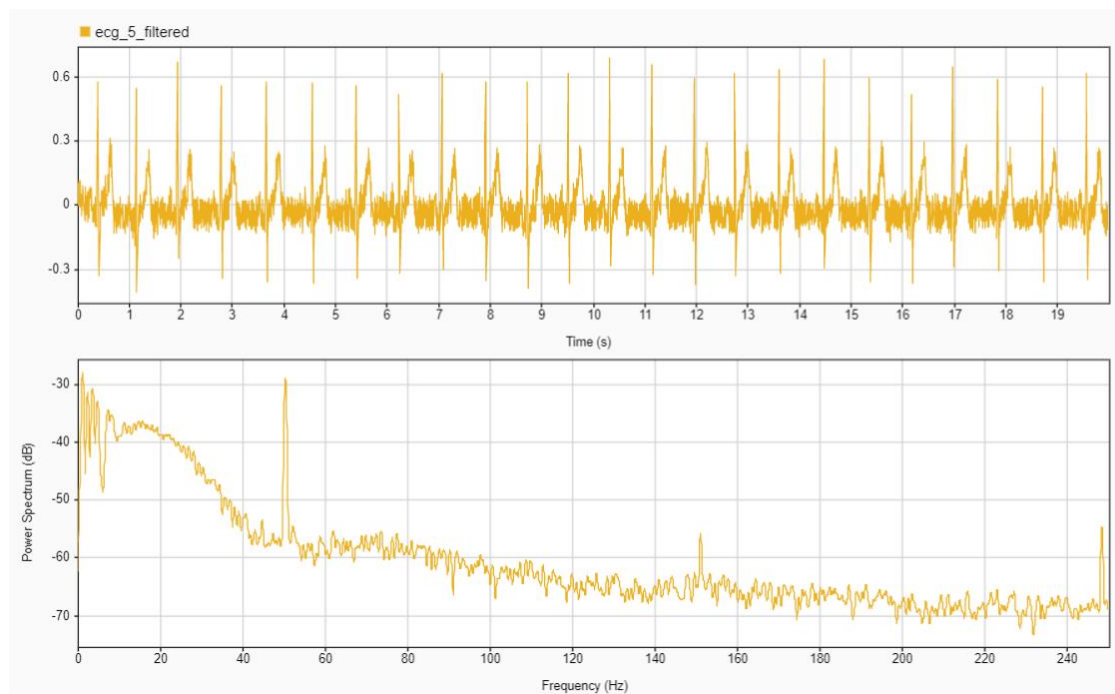
نوع فیلتر: IIR Butterworth،

مرتبه: ۱۲،

فرکانس قطع: ۰.۵ هرتز،

فرکانس نمونه برداری: ۵۰۰ هرتز.

در شکل-۳ تصویر سیگنال به همراه طیف توان آن به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می شود اغتشاش خط مبنا در این سیگنال حذف شده است:



شکل ۳- نمونه سیگنال ECG با حذف اغتشاش خط مبنا به همراه طیف توان آن.

۲. نویز برق شهر: این نویز به دلیل تداخل سیگنال های برق شهر در حدود فرکانسی ۵۰ تا ۶۰ هرتز (در این ثبت، حدود ۵۰ هرتز) رخ می دهد. برای حذف این نویز می توان از یک فیلتر باند توقف استفاده کرد. فیلتر باند توقف استفاده شده در این قسمت دارای مشخصات زیر است:

نوع فیلتر: IIR Butterworth،

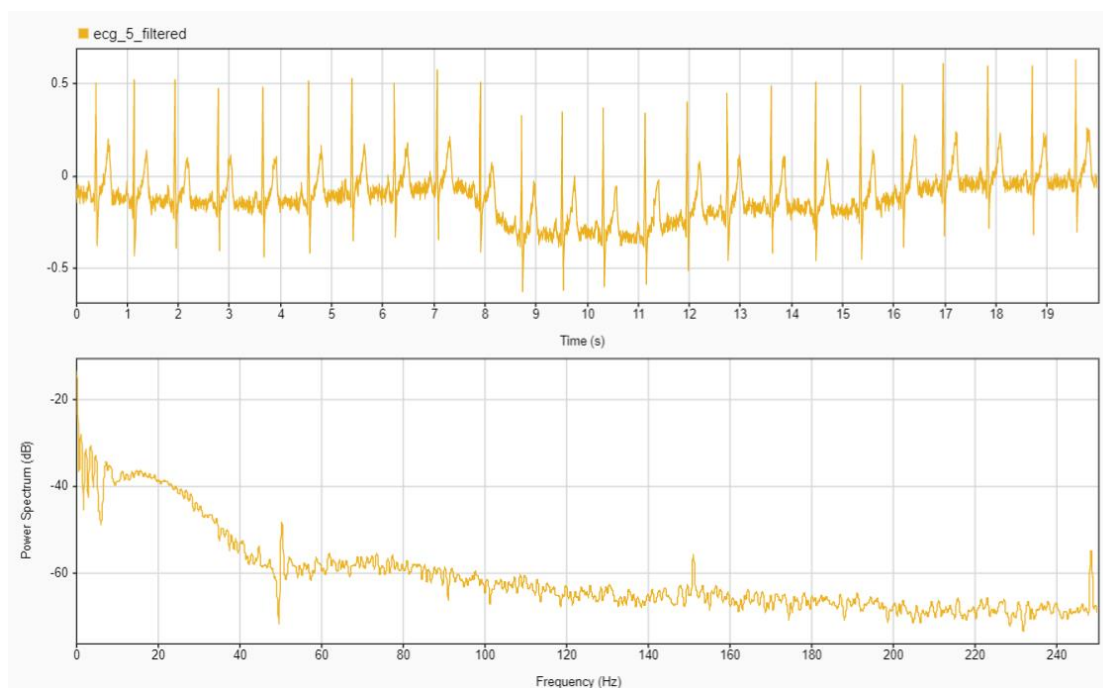
مرتبه: ۲،

فرکانس قطع ۱: ۴۹ هرتز،

فرکانس قطع ۲: ۵۱ هرتز،

فرکانس نمونه برداری: ۵۰۰ هرتز.

در شکل-۴ تصویر سیگنال به همراه طیف آن به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می شود نویز برق شهر (۵۰ هرتز) در این سیگنال بسیار تضعیف شده است:



شکل ۴- نمونه سیگنال ECG با حذف نویز برق شهر به همراه طیف توان آن.

۳. نویز فرکانس بالا: نویز فرکانس بالا در سیگنال های ECG ثبت شده مشاهده می شود. از آنجا که فرکانس های اصلی در سیگنال ECG مقادیر کم تر از ۳۰ هرتز دارند در این قسمت از فیلتر پایین گذاری با مشخصات زیر استفاده شده است:

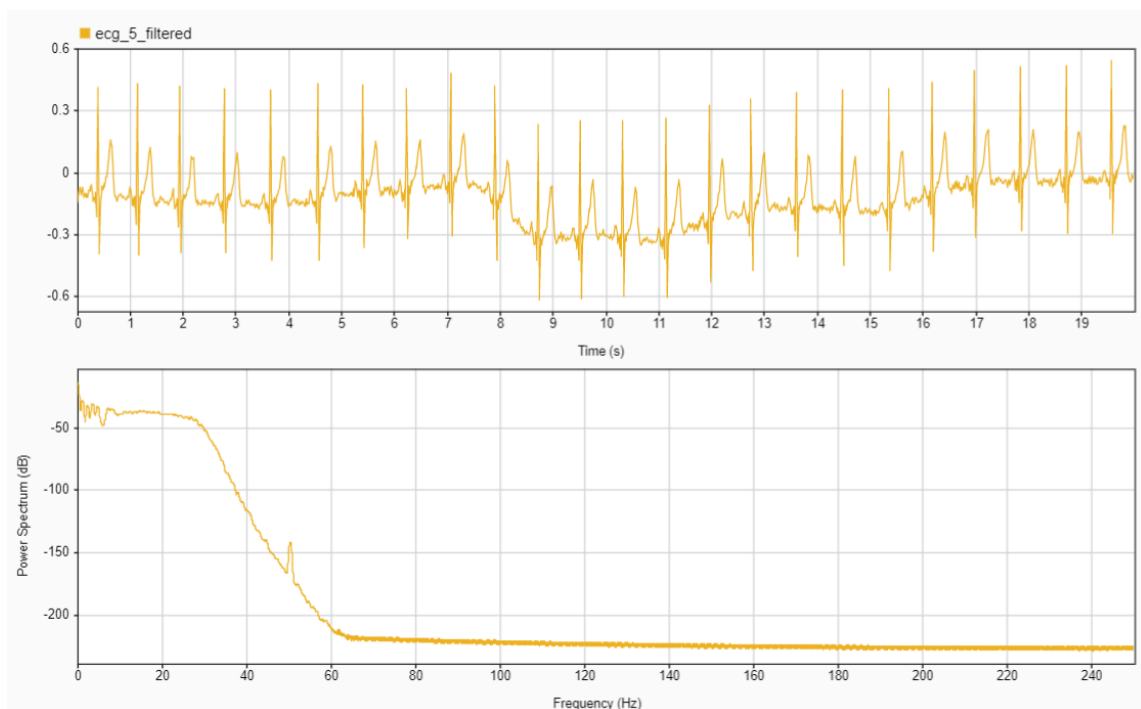
نوع فیلتر: IIR Butterworth،

مرتبه: ۱۲،

فرکانس قطع: ۳۰ هرتز،

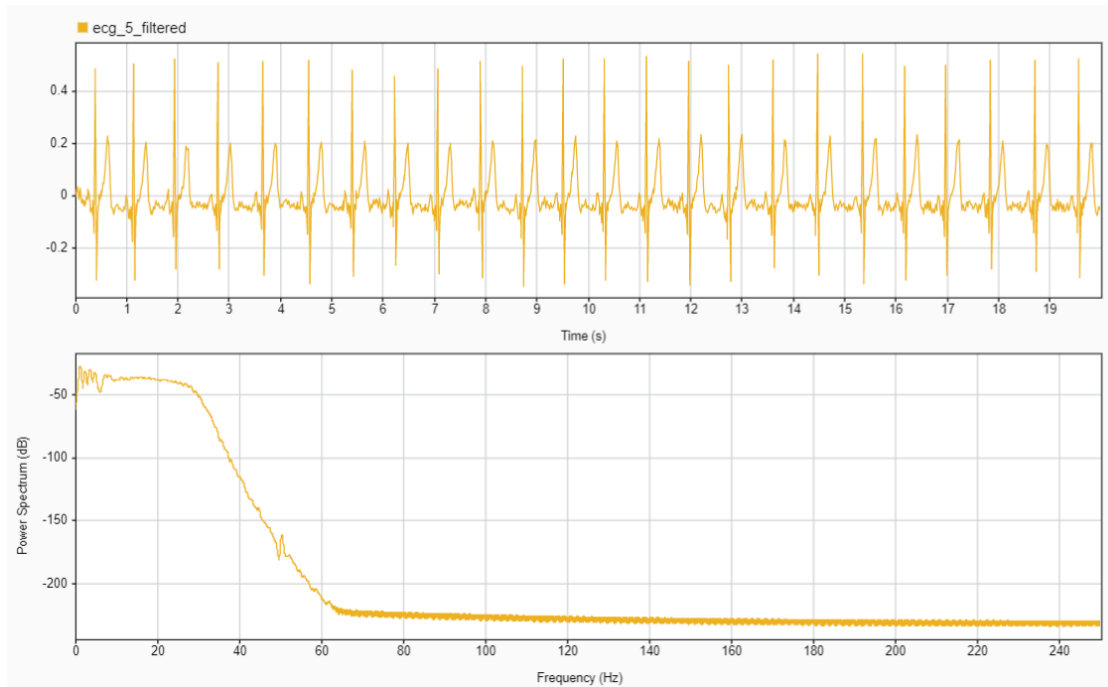
فرکانس نمونه برداری: ۵۰۰ هرتز.

در شکل-۵ تصویر سیگنال به همراه طیف توان آن به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می شود نویز فرکانس بالا در این سیگنال حذف شده است:



شکل ۵- نمونه سیگنال ECG با حذف نویز فرکانس بالا به همراه طیف توان آن.

سیگنال پس از عبور از فیلتر باند توقف، فیلتر پایین گذر و فیلتر بالاگذر برای مراحل بعدی آماده شده است. یک نمونه از سیگنال فیلتر شده در شکل ۶- قابل مشاهده است:



شکل ۶- سیگنال ECG پس از عبور از فیلترهای قسمت پیش پردازش به همراه طیف توان آن.

استخراج ویژگی

در این قسمت ویژگی های مختلف سیگنال ECG استخراج گردیده است. این ویژگی ها شامل ویژگی های آماری و همچنین مربوط به نقاط PQRST سیگنال می باشد. مقالات مختلفی در خصوص ویژگی های موثر برای سیگنال های ECG نوشته شده است و از ابزارهای دیگری مثل تبدیل wavelet نیز در آن ها استفاده شده است. ویژگی های آماری مربوطه در جدول ۱ آورده شده است:

نام ویژگی	تعریف
میانگین	$\mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n])$
واریانس	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \mu)^2$
هیستوگرام دامنه	چگالی دامنه در بازه های معین
فرکانس بیشینه	فرکانسی که بیشترین فراوانی را در طیف توان داشته باشد

جدول ۱- ویژگی های آماری استخراج شده برای سیگنال های ECG.

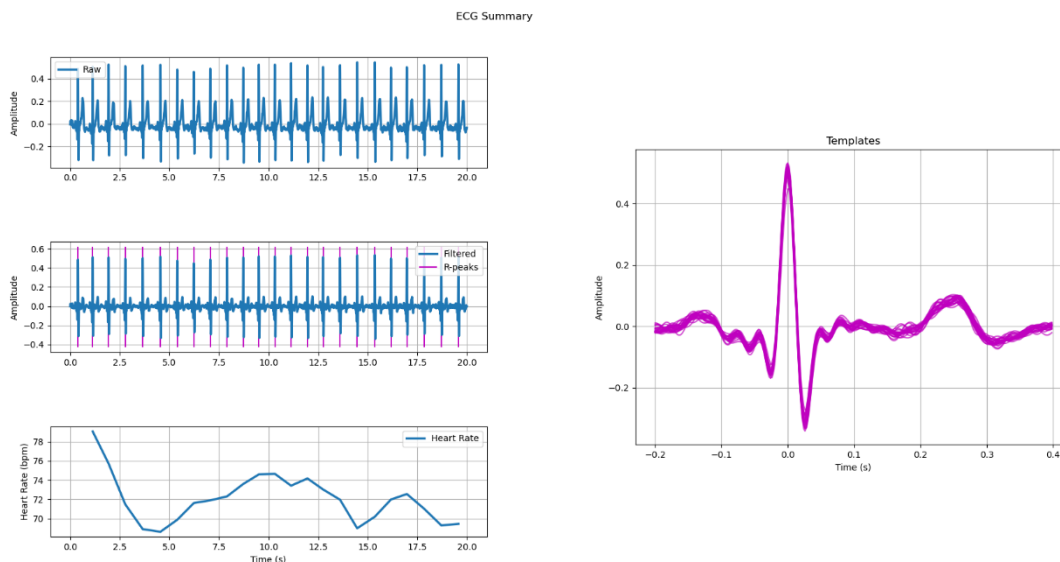
دیگر ویژگی های استخراج شده مربوط به نقاط PQRST و ضربان قلب است. این ویژگی ها بوسیله دو تولباکس های biosppy و NeuroKit بدست آمده اند. توضیحات مربوط به این تولباکس ها و اطلاعات استخراج شده در ادامه ذکر می شود.

۱. تولباکس biosppy [1]: ماژول ECG از این تولباکس خروجی های ذکر شده در جدول ۲- را می دهد:

خروجی	توضیح
Ts	داده های زمان مربوط به سیگنال
Filtered	سیگنال فیلتر شده (این ماژول خود عمل پیش پردازش را انجام می دهد. در این پروژه عمل پیش پردازش با استفاده از فیلترهای توضیح داده شده در بخش پیش پردازش انجام شده است.)
Rpeaks	شماره درایه مربوط به نقاط R سیگنال ECG
Template_ts	داده های زمان مربوط به تمپلیت سیگنال ECG
Templates	آرایه ای از سیگنال ECG که از کنار هم قرار گرفتن بخش های مختلف این سیگنال بدست آمده است.
Heart_rate_ts	داده های زمان مربوط به heart rate
Heart_rate	آرایه ای از مقادیر نبض محاسبه شده در بازه های زمانی متفاوت

جدول ۲- خروجی های ماژول ecg مربوط به تولباکس biosppy به همراه توضیحات آن ها.

این ماژول می تواند یک سیگنال ECG را نیز رسم و نمودارهای مربوط به تمپلیت این سیگنال و نبض را نیز خروجی دهد. نمودارهای مربوطه در شکل ۷- نمایش داده شده است:

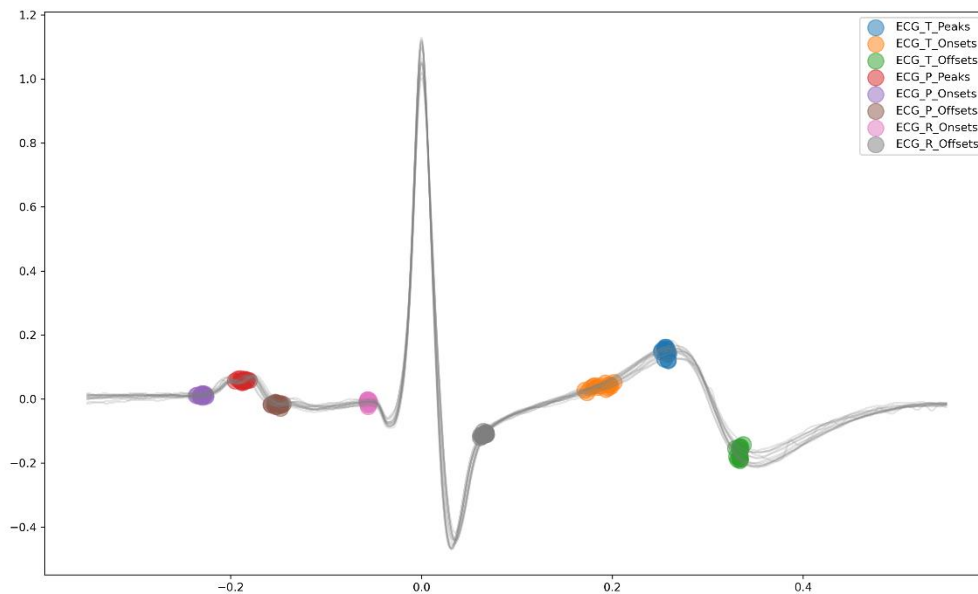


شکل ۷- خروجی نمودارهای ماژول ecg از تولباکس biosppy.

میانگین heart rate، بیشینه heart rate، مقدار peak تا peak نمودار template، زمان رخداد نقاط PQRST در نمودار template ویژگی هایی هستند که با استفاده از این ماژول بدست آمده اند. برای محاسبه زمان رخداد نقاط PQRST بیشینه نمودار نقطه R، کمینه آن نقطه S، بیشینه پس از نقطه S، T، کمینه پیش از نقطه R، Q و بیشینه قبل از نقطه R، P در نظر گرفته شده است.

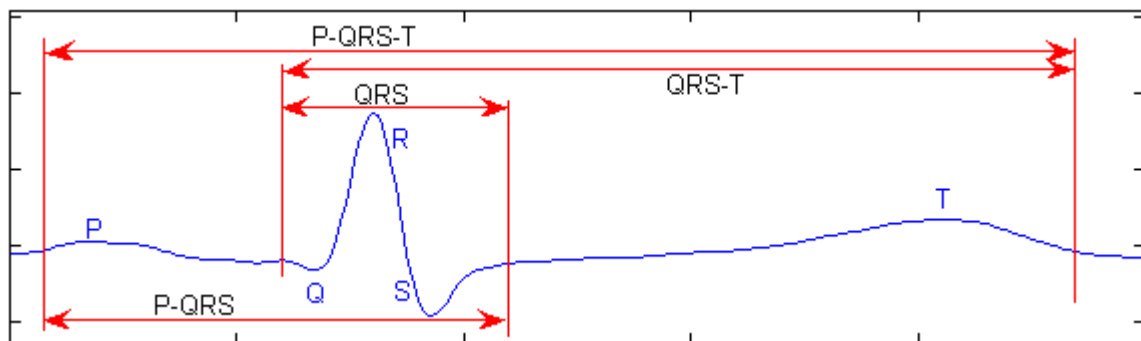
نقاط R در این تولباکس با استفاده از روش های مختلفی بر طبق مقالات متفاوت بدست می آید.

۲. تولباکس NeuroKit [2]: ماژول `ecg_peaks` نقاط R و ماژول `ecg_delineate` نقاط مربوط به قبل و بعد از نقاط P و R و T را خروجی می دهند. شکل-۸ نمایش خوبی از نقاط ذکر شده در سیگنال `ecg` است:



شکل ۸- نمایش خروجی های ماژول `ecg_delineate` بر روی یک دوره `ecg`.

به کمک این تولباکس ویژگی های زمانی مربوط به نقاط PQRST بدست آمده است. میانگین فاصله بین نقاط R، میانگین دامنه نقاط R، PQRST، QRS، PQRST، بازه T و بازه P ویژگی های استخراج شده توسط خروجی های این ماژول در این پروژه است. این ویژگی ها در (Lugovaya, 2005) ذکر شده است. شکل-۹ بخش های مختلف سیگنال ECG را نشان می دهد:

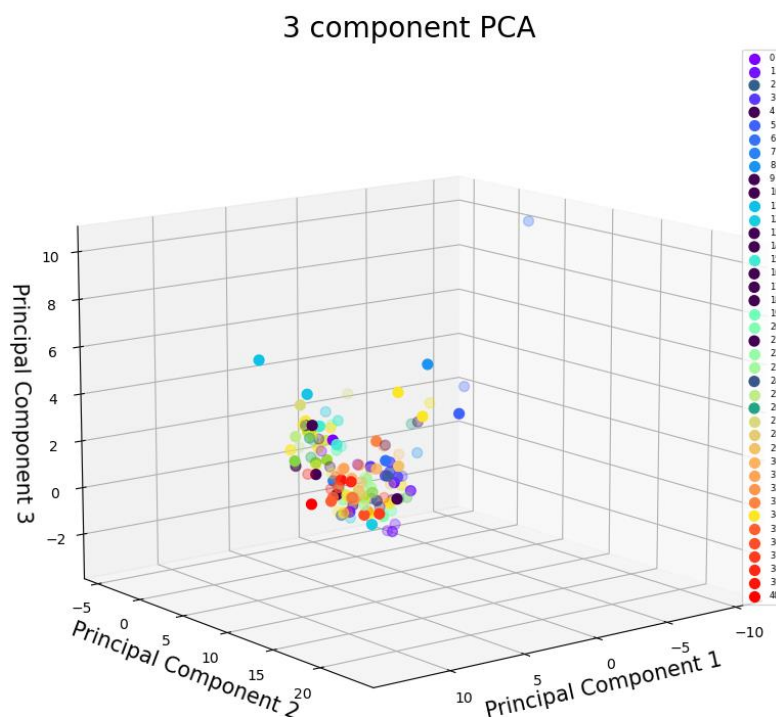


شکل ۹- بخش های مختلف سیگنال ECG [3].

روش PCA

در این پروژه ۳۱ پروژه طبق آنچه بیان شد استخراج شدند. این ویژگی ها سپس نرمالایز شده و با استفاده از روش PCA، ابعاد موثر انتخاب گردید. دقت گزارش شده با استفاده از روش PCA با ۳۱ مولفه برابر ۷۶.۶۵ درصد و بدون استفاده از روش PCA و با ۳۱ ویژگی ذکر شده برابر ۷۳.۸۱ درصد بوده است. با انتخاب روش PCA برای ۹۵ درصد واریانس ۱۷ مولفه انتخاب و دقت طبقه بندی ۶۷.۴۶ درصد گزارش شده است. به دلیل آنکه تعداد ویژگی ها خیلی زیاد نبوده است، طبقه بندی با تمام مولفه های روش PCA انجام شده است.

در شکل ۱۰- کلاس های مختلف داده های آموزش در فضای ۳ بعدی مربوط به ۳ مولفه اساسی روش PCA (۳ مولفه با بیشترین واریانس) به نمایش در آمده اند.



شکل ۱۰- نمایش کلاس های مختلف با استفاده از ۳ مولفه اساسی روش PCA.

آموزش طبقه‌بند

در این پروژه طبقه‌بندهای مختلف آموزش داده شده در کلاس درس در این مرحله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طبقه‌بند های مورد بررسی عبارت اند از: KNN, Logistic Regression, SVM, Decision Tree, Random Forest و LDA.

پارامترهای طبقه‌بند های KNN و SVM توسط تابع Grid Search پایتون از بین مقادیر زیر تعیین شده است.

طبقه‌بند KNN: تعداد همسایه ها از مقادیر عددی بین ۰ تا ۴۰

طبقه بند SVM:

- کرنل RBF با گاما ۱۰ به توان منفی ۳ و گاما ۱۰ به توان منفی ۴ و C بین مقادیر ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰
- کرنل خطی با C بین مقادیر ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰
- کرنل چند جمله ای با درجه بین مقادیر ۰ تا ۹

بیشینه عمق درخت ها در Decision Tree و Random Forest برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

طبقه‌بند های ذکر شده با استفاده از روش 5-fold cross validation بر روی داده های آموزش، اعمال شده اند و دقت آن ها بر حسب معیار accuracy در جدول ۳- گزارش شده است.

نام طبقه‌بند	Accuracy (درصد)
KNN	58.20
Logistic Regression	61.00
SVM	66.62
Decision Tree	14.85
Random Forest	30.51
LDA (LinearDiscriminantAnalysis)	76.65

جدول ۳- دقت طبقه‌بندهای مختلف استفاده شده.

همانطور که گزارش شد طبقه بند LDA بهترین عملکرد را با دقت ۷۶.۶۵ درصد روی داده های آموزش داشته است. در انتها با تمام داده های آموزش طبقه بند LDA آموزش داده شد و مراحل استخراج ویژگی، نرمالیزه کردن ویژگی ها و استفاده از روش PCA مطابق داده های آموزش برای داده های تست انجام شد و برچسب های داده های تست تعیین گردید.

- 1- BioSPPy, toolbox for biosignal processing written in Python [Internet].
Available from: <https://biosppy.readthedocs.io/en/stable/>
- 2- NeuroKit, toolbox for biosignal processing written in Python [Internet].
Available from: <https://neurokit2.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- 3- Lugovaya T.S. Biometric human identification based on electrocardiogram.
[Master's thesis] Faculty of Computing Technologies and Informatics,
Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russian Federation;
June 2005.