Journal of Systems Smartening and Data Processing
Vol. 1 - No. 1 - Spring 2023

Detection of Healthy and Unhealthy Cardiac Signals based on Deep Learning using Convolutional Neural Network

Alireza Nasrabadian[1], *M.Sc*, Mohammad Amin Ronaghi[2], *M.Sc*, Madiha Abbas Zadeh Barani[3], *M.Sc* , Mohammad Mahdi Moradi[4], *Assistant Professor*.

[1] Department of Electrical Engineering, Shahid Chamran University, Kerman, Iran
an3628@yahoo.com
[2] Department of Electrical Engineering, Shahid Bahonar Kerman University, Kerman, Iran
amin7sky@gmail.com
[3] Department of Electrical Engineering, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
madiha7sky@gmail.com
[4] Department of Biomedical Engineering, Shahid Chamran University, Kerman, Iran
moradi.m.mahdi@gmail.com

Received: 11 October 2023 **Revised:** 06 November 2023 **Accepted:** 25 November 2023

Abstract:

According to the statements of the World Organization, the most important factor threatening humans is cardiac arrhythmias. According to the latest global health statistics, nearly 50% of deaths are due to heart diseases. According to research, 25% of deaths due to heart diseases can be revived with timely and correct diagnosis.

The electrocardiogram signal is the most important and dependent signal related to the heart. Registration of this signal is low-cost, fruitful, and powerful in detecting arrhythmias. Feature extraction is the most important part of recognition and processing. Deep features based on convolutional neural networks are very powerful and can be done without manual intervention. In this article, deep features are extracted using deep learning based on a convolutional neural network. Then the classification results were calculated with an average accuracy of 99.3% and an average sensitivity of 99.1% with 10-fold cross-validation.

According to the obtained results, it can be said that the proposed method has the ability to classify cardiac arrhythmias with acceptable accuracy.

Keywords: Electrocardiogram signal, deep learning, healthy and unhealthy heart signal.

Corresponding Author: Dr. Mohammad Mahdi Moradi
Corresponding Author Address: Department of Electrical Engineering –Shahid Chamran University- Kerman, Iran.

تشخیص سیگنال سالم و ناسالم قلبی بر مبنای یادگیری عمیق با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن

علیرضا نصرآبادیان[۱]، ارشد، محمد امین رونقی[۲]، ارشد، مدیحا عباس‌زاده بارانی[۳]، ارشد، محمد مهدی مرادی[۴]، دکتری

۱- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید چمران، کرمان، ایران
an3628@yahoo.com
۲- گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
amin7sky@gmail.com
۳- دانشکده مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
madiha7sky@gmail.com
۴- گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه شهید چمران، کرمان، ایران
moradi.m.mahdi@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹ **تاریخ بازنگری مقاله:** ۱۴۰۲/۰۸/۱۵ **تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

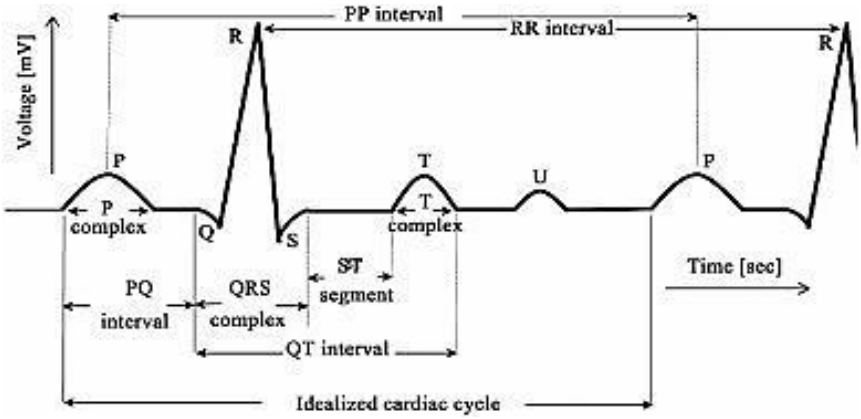
چکیده: طبق اظهارات سازمان جهانی، مهم‌ترین عامل تهدید کننده انسان آریتمی‌های قلبی می‌باشند. بر طبق آخرین آمار جهانی بهداشت نزدیک به ۵۰٪ موارد مرگ و میر بر اثر عارضه‌های قلبی می‌باشند. بر اساس تحقیقات ۲۵٪ موارد مرگ و میر بر اثر بیماری‌های قلبی، با تشخیص به موقع و صحیح قابل احیا می‌باشند. سیگنال الکتروکاردیوگرام مهم‌ترین و وابسته‌ترین سیگنال وابسته به قلب می‌باشد. ثبت این سیگنال کم هزینه و ثمربخش می‌باشد و در تشخیص آریتمی‌ها بسیار توانمند است. استخراج ویژگی‌ها مهم‌ترین قسمت برای تشخیص و پردازش می‌باشند. ویژگی‌های عمیق بر مبنای شبکه عصبی کانولوشن بسیار توانمند بوده و بدون دخالت دست انجام می‌شود. در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده بر مبنای معماری الکس نت، ویژگی‌های عمیق استخراج می‌شوند. در این قسمت لایه‌های شبکه عصبی بهینه شده و لایه نهایی به صورت طبقه‌بند دوکلاسه تنظیم شده تا بتواند سیگنال‌ها را از هم تفکیک کند. در نهایت، نتایج طبقه‌بندی با صحت متوسط ۹۹٫۳٪ و حساسیت متوسط ۹۹٫۱٪ با اعتبارسنجی متقابل ۱۰ برابری محاسبه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که روش پیشنهادی، توانایی طبقه‌بندی آریتمی‌های قلبی را با صحت قابل قبول دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: سیگنال الکتروکاردیوگرام، یادگیری عمیق، سیگنال قلبی سالم و ناسالم

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد مهدی مرادی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: کرمان- دانشکده فنی شهید چمران – بخش مهندسی برق.

۱- مقدمه

الکتروکاردیوگرام (ECG) استانداردی برای تشخیص و تفکیک ریتم‌های قلبی است و یکی از موثرترین تکنیک‌های مورد استفاده در مطالعات برای بررسی وضعیت قلب و عروق و نظارت بر سلامت است [۱]. سلامت قلب و عروق در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، بررسی‌ها و تشخیص‌های سنتی دارای اشکالات متعدد و فراوانی مانند تشخیص دیر هنگام و میزان خطای بالا می‌باشد، در حالی که اختلالات قلبی عروقی نیازمند تشخیص، درمان و بهبودی زودهنگام می‌باشند [۲]. بیماری‌های قلبی عروقی عامل اصلی مرگ و میر در سراسر جهان بوده و همواره میزان مرگ و میر ناشی از آن در حال افزایش است [۳]. فعالیت‌های الکتریکی قلب در سیگنال ECG منعکس می‌شوند. در نتیجه، ریتم‌های غیرطبیعی قلب یا تغییرات در شکل موج ECG نشان‌دهنده مشکلات قلبی عروقی می‌باشند. شناسایی و طبقه‌بندی سیگنال‌های ECG برای بیماری‌های قلبی عروقی بسیار ضروری می‌باشد. تشخیص زودهنگام آریتمی به منظور درمان مناسب بسیار مهم است. نظارت طولانی مدت فعالیت الکتریکی قلب (بیش از ۲۴ ساعت) برای تشخیص زودهنگام اشکال خاصی از آریتمی گذرا، کوتاه مدت یا غیر معمول لازم است [۴]. دستگاه‌ها، جمع‌آوری داده‌ها و روش‌های تشخیص به کمک رایانه، همه به لطف رشد سریع صنعت دیجیتال بهبود یافته‌اند. امروزه یک سیستم خودکار کامپیوتری می‌تواند مشکلات قلبی مختلف را تشخیص داده و صحت بالایی را نیز بدست آورد [۵]. اخیراً شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) عملکرد قابل توجهی در کارهایی مانند طبقه‌بندی تصویر و تشخیص گفتار نشان داده‌اند و امیدهای زیادی برای بهبود مراقبت‌های بهداشتی و عملکردهای بالینی توسط این فناوری وجود دارد. این شبکه‌ها ممکن است با روش‌های پیشرفته [۶] برای سیگنال‌هایECGهای تک کانال کافی باشند و با مجموعه داده آموزشی کافی، بهتر از متخصصان قلب عمل کنند. ساختار کلی سیگنال ECG در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): موج‌های تشکیل‌دهنده سیگنال قلبی

۲- کارهای مرتبط

لی و همکاران، یک روش عملیاتی برای الگوریتم ECG برای طبقه‌بندی آریتمی با استفاده از نمودار عود پیشنهاد کردند که می‌تواند در دستگاه‌های قابل حمل استفاده شود [۷]. تنوع مجموعه داده‌ها از پایگاه فیزیونت برای انجام مطالعه در نظر گرفته شد. روش پیشنهادی از طبقه‌بندی‌کننده‌های CNN استفاده می‌کند که ورودی از تقسیم‌بندی سیگنال‌های ECG سری زمانی تبدیل شده بود. دقت با ارائه طبقه‌بندی دو مرحله‌ای بهبود یافت. چندین مرحله برای این طبقه‌بندی آریتمی استفاده شد. تشخیص فیبریلاسیون بطنی با استفاده از ResNet-18 در مرحله اول انجام شد. انقباضات زودرس بطنی در مرحله دوم انجام شده بود. نتایج در این مقاله بر اساس اعتبار سنجی متقاطع پنج برابر با صحت ۹۷٪ و حساسیت ۹۶٪ محاسبه شده بود.

چن و همکاران [۸]، با هدف سیستمی را جهت طبقه‌بندی خودکار داده‌های ECG برای تشخیص آریتمی بدون استخراج ویژگی‌های دستی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین ارائه داده‌اند. در این کار روش‌های یادگیری ماشین تحت نظارت مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله نتایج بر روی پایگاه داده ECG با آریتمی‌هایی مانند NOR ، PVC، PAC، RBBB مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج صحت با صحت متوسط ۵ برابری به میزان ۹۶٪ بدست آمد.

در [۹] چان و همکارانش، روشی را با استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق برای طبقه‌بندی آریتمی ارائه نمودند. آن‌ها برای اعتبارسنجی روش از پایگاه داده فیزیونت شامل پایگاه داده آریتمی‌های قلبی MIT-BIH استفاده کردند. در این تحقیق با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق و بررسی داده‌ها با آموزش و آزمایش ۸۰٪ و ۲۰٪ انجام شد. نتایج بدست آمده برای شبکه عصبی کانولوشن به صحت ۹۹٪ رسید.

مطالعات ذکر شده در بالا نشان می‌دهد که شبکه عصبی کانولوشن می‌تواند به طور خودکار بیماری‌ها و تصاویر را طبقه‌بندی و شناسایی کند که در این مقاله نیز از شبکه عصبی کانولوشن استفاده شده است. اما مشکل روش‌های متداول سرعت کم آموزش و آزمایش در شبکه‌های عصبی کانولوشن می‌باشد که در این تحقیق برای کاهش بار محاسبات از شبکه عصبی کانولوشن با لایه‌های بهینه استفاده شده است.

اما مشکل دیگر سایر روش‌های ذکر شده این است که در اکثر روش‌های بیان شده از طبقه‌بندی‌کننده مجزا برای تشخیص استفاده شده است که در این مقاله از همان شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده برای استخراج ویژگی استفاده شده است و لایه انتهایی به صورت دو کلاسه تنظیم شده است که نیاز به طبقه‌بندی کننده دوم را از بین می‌برد.

۳- مواد و روش‌ها

در این مقاله تمامی مراحل با استفاده از نرم افزار متلب 2020b انجام گرفته است و نتایج با دقت بیان شده است.

۳-۱- پایگاه داده

در این تحقیق از سیگنال‌های الکتروکاردیوگرافی برچسب خورده پایگاه داده در دسترس آزاد آریتمی‌های فیزیونت استفاده شده است. این پایگاه داده دارای ۴۸ بیمار با سیگنال‌های ECG می‌باشد که ثبت‌ها با فرکانس ۳۶۰ نمونه بر ثانیه و با دقت یازده بیت در محدوده ده میلی ولت ذخیره شده‌اند. سیگنال‌ها دارای برچسب بیماری توسط متخصصان می‌باشند. در اینجا دو گروه سیگنال که شامل سیگنال سالم و سیگنال ناسالم مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله از یک کانال سیگنال ECG برای کاهش بار محاسبات استفاده شده است و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۲- پردازش داده

در این مقاله با توجه به [۱۳] که کانال AV بهترین قدرت تفکیک در تشخیص بیماری‌های قلبی را دارا می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است که این کار بار محاسباتی را به شدت کاهش می‌دهد.

۳-۲-۱- شبکه عصبی کانولوشن

شبکه عصبی کانولوشن برای ورودی نیازمند تصویر می‌باشد که به دلیل استفاده از سیگنال در این مقاله، نیازمند تبدیل سیگنال به تصویر می‌باشیم. سیگنال‌های پزشکی که سیگنال‌های غیر ایستانی نیز می‌باشند، بهترین ویژگی‌ها و خصوصیات آن‌ها در حوزه زمان فرکانس سیگنال می‌باشد. به همین دلایل در این مقاله از تصویر دو بعدی سیگنال بر مبنای اسپکتوگرام استفاده شده است که هم سیگنال را در حوزه زمان فرکانس می‌برد و هم تصویری دو بعدی از سیگنال را ارئه می‌دهد. این تصویر دو بعدی به عنوان ورودی به شبکه عصبی کانولوشن وارد شده است.

۳-۲-۲- تصویر زمان فرکانس سیگنال

سیگنال‌های حیاتی غیر ایستا هستند و یکنواختی و ثبات در آن‌ها یعنی عدم وجود و برای همین تحلیل و تجزیه آن‌ها با سایر روش‌های معمول نمی‌تواند ویژگی‌های مهم را از سیگنال استخراج کند و به نتایج خوب برسد. بررسی و مطالعه چنین سیگنال‌هایی در حوزه زمان یا در حوزه فرکانس به تنهایی فایده ندارد و نتایج خوبی نمی‌دهد و کافی نیست. در تحلیل و بررسی همزمان زمان-فرکانس اطلاعات مفیدی را از رفتار سیگنال می‌توان بدست آورد که بسیار مفید و با اهمیت باشد [۱۵].

برای ساخت تصویر زمان-فرکانس سیگنال پیشنهادی، سیگنال‌های ECG در حوزه زمانی ابتدا طیف فرکانسی بر حسب زمان دو بعدی با استفاده از تبدیل فوریه کوتاه مدت (STFT) تبدیل می‌شود.

STFT یک معادله ریاضی پیشرفته مشتق شده از تبدیل گسسته فوریه (DFT)، برای کشف فرکانس و دامنه لحظه‌ای امواج می‌باشد. انرژی آن به عنوان اسپکتوگرام سیگنال مفروض است که در رابطه (۱) ذکر شده است.

$$SPEC(t.\omega) = |STFT(t.\omega|^2 \quad (۱)$$

نتایج بدست آمده با استفاده از STFT می‌تواند اطلاعاتی در مورد تکامل زمانی تغییر فرکانس سیگنال بدست آورد، زیرا بازه زمانی کامل به تعدادی از بازه‌های زمانی کوچک تقسیم می‌شود و سپس آن‌ها به تنهایی با استفاده از تبدیل فوریه تحلیل می‌شوند [۱۶].

ساختار شبکه عصبی کانولوشن دارای معماری‌های متعددی می‌باشد که همه آن‌ها دارای لایه‌های متعددی می‌باشند که این لایه‌ها بار محاسبات را به شدت افزایش می‌دهد. برای همین در این جا بر مبنای معماری الکس نت که یکی از معماری‌های پرکاربرد می‌باشد، معماری ما طراحی شده است.

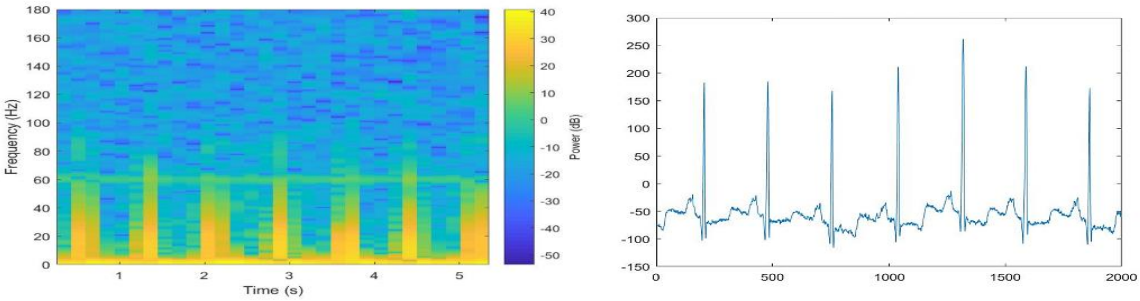
لایه ورودی که از لایه متداول بدون تغییر استفاده شده است. اما لایه‌های ۲ تا ۶ که ۵ لایه مشابه و پشت سر هم بودند با هم ادغام شده و فیلتر ۲*۲ آن‌ها به یک فیلتر ۸*۸ تغییر پیدا کرد. سپس ۱۰ لایه کاملا متصل انتهایی به سه لایه کاهش داده شد. در نهایت لایه انتهایی را با دو نورون تنظیم کرده تا دو گروه را از هم تفکیک کند. شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده مورد استفاده دارای ۸ لایه می‌باشد که ورودی تصویر اسپکتوگرام بوده و شبکه به صورت خودکار ویژگی‌ها را بررسی و دو کلاس سالم و ناسالم را از هم تفکیک می‌کند.

در قسمت انتهایی معماری، طبقه‌بندی‌کننده قرار داده شده است. در شکل (۲) ساختار شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده بر مبنای الکس نت دیده می‌شود.

شکل (۲): ساختار و لایه‌های شبکه عصبی کانولوشن مورد استفاده

۴- نتایج

داده‌ها طبق نیاز تحقیق از سایت فیزیونت دانلود و مورد مطالعه قرار گرفتند. ۴۰۰۰ نمونه سیگنال ECG در دو گروه سالم و ناسالم در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۳) نمونه‌ای از سیگنال و اسپکتوگرام سیگنال مورد استفاده شده را ملاحظه می‌کنید.



شکل (۳): نمونه سیگنال قلبی مورد استفاده و اسپکتوگرام سیگنال محاسبه شده

۴-۱- اسپکتوگرام سیگنال

اسپکتروگرام یک نمایشی از طیف فرکانسی سیگنال در طول زمان است. اسپکتروگرام یک نقشه رنگی هست که برحسب زمان و فرکانس نمایش داده می‌شود و کمک می‌کند تا طیف فرکانسی سیگنال در طول زمان به چه صورت تغییر می‌کند. در تحلیل سیگنال‌های حیاتی بسیار از اسپکتروگرام استفاده می‌شود.

همانگونه که قبلا ذکر شد در این تحقیق، تصاویر وارد شبکه عصبی کانولوشن شده و سپس دو گروه از هم تفکیک می‌شوند. در این جا نتایج با استفاده از ماتریس کانفیوژن که معتبرترین روش برای محاسبه صحت و دقت و حساسیت طبقه‌بندی‌کننده می‌باشد، محاسبه شده است. این مقادیر بر مبنای رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه شده‌اند. روش محاسبات حساسیت و صحت هر کلاس با استفاده از معادلات زیر محاسبه شده است:

$$\text{صحت} = (\text{TN} + \text{TP})/(\text{TN} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TP})) \times 100 \quad (۲)$$

$$\text{حساسیت} = ((\text{TP})/(\text{TP} + \text{FN})) \times 100 \quad (۳)$$

در جدول (۲) و (۳) نتایج صحت و حساسیت متوسط طبقه‌بندی‌کننده را ملاحظه می‌کنید.

جدول (۲): نتایج صحت متوسط طبقه‌بندی‌کننده

طبقه‌بندی کننده	صحت متوسط کل
شبکه عصبی کانولوشن	۹۹,۳

جدول (۳): نتایج دقت متوسط طبقه‌بندی‌کننده

طبقه‌بندی کننده	دقت متوسط کل
شبکه عصبی کانولوشن	۹۹,۱

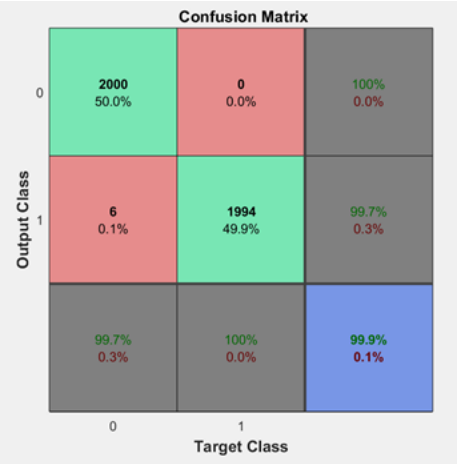
در شکل (۴) ماتریس کانفیوژن را برای حالت بیشترین صحت و حساسیت ملاحظه می‌کنید.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از سیگنال‌های الکتروکاردیوگرافی برچسب خورده پایگاه داده فیزیونت استفاده شده است. این پایگاه داده معتبرترین پایگاه داده سیگنال‌های پزشکی می‌باشد. در این تحقیق از ۴۰۰۰ سیگنال برای بررسی نتایج استفاده شده است. در اینجا دو گروه سیگنال که شامل سیگنال سالم و سیگنال ناسالم می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است.

در سیستم‌های تشخیص و خودکار چندین ملاک ارزیابی وجود دارد که یکی از آن‌ها زمان محاسبات و پیچیدگی سیتم می‌باشد که این کار با کاهش تعداد کانال سیگنال می‌توان بدست آورد. در این مقاله از سیگنال ECG تک کانال برای کاهش بار محاسبات استفاده شده است و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مقاله با توجه به [۱۳] که کانال AV بهترین

قدرت تفکیک را در تشخیص بیماری‌های قلبی دارا می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است که این کار بار محاسباتی را به شدت کاهش می‌دهد.



شکل (۴): ماتریس کانفیوژن

همچنین یکی دیگر از نیازهای سیستم‌های تشخیص زمان حقیقی بودن آن است که با کاهش بار محاسبات می‌توان به این امر دست یافت. که در این مقاله با کاهش کانال‌ها بدون کاهش صحت می‌توان به این امر به شدت نزدیک شد و مهم‌ترین ملاک یک سیستم ایده‌آل صحت نتایج آن می‌باشد که این مقاله به صحت بالا و قابل قبول ۹۹٪ رسیده است. سیگنال‌های حیاتی که سیگنال‌های غیر ایستا می‌باشند، ویژگی‌ها و خصوصیات آن‌ها در حوزه زمان-فرکانس بهتر نمایان می‌شود و توانایی تفکیک بهتری را شامل می‌شود. به همین دلایل در این مقاله از تصویر دو بعدی سیگنال بر مبنای اسپکتوگرام استفاده شده است که هم سیگنال را در حوره زمان-فرکانس می‌برد و تصویری دو بعدی از سیگنال را ارئه می‌دهد. این تصویر که تمام اطلاعات مفید سیگنال را شامل می‌شود به عنوان ورودی به شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده وارد می‌شود.

شبکه عصبی کانولوشن مورد استفاده بر مبنای معماری الکس نت که یکی از معماری‌های پرکاربرد می‌باشد، استفاده شده است. اما این معماری دارای ۲۵ لایه می‌باشد و ۱۰۰۰ ویژگی عمیق را استخراج می‌کند تا بتوان از آن برای طبقه‌بندی استفاده نمود. در این مقاله لایه بهینه و ادغام شدند به این صورت که لایه‌های ۲ تا ۶ که ۵ لایه مشابه و پشت سر هم بودند با هم ادغام شدند و فیلتر ۲*۲ آن‌ها به یک فیلتر ۸*۸ تغییر پیدا کرد. سپس ۱۰ لایه کاملا متصل انتهایی به سه لایه کاهش داده شد. در نهایت لایه انتهایی با دو نورون تنظیم شد تا دو گروه را از هم تفکیک کند. شبکه عصبی کانولوشن بهینه شده مورد استفاده دارای ۸ لایه می‌باشد که ورودی تصویر اسپکتوگرام می‌باشد و شبکه به صورت خودکار ویژگی‌ها را بررسی و دو کلاس سالم و ناسالم را از هم تفکیک می‌کند.

سپس نتایج بر مبنای ماتریس کانفیوژن با اعتبارسنجی متقابل ۱۰ برابری محاسبه گردید. نتایج با سایر مقالات مشابه در جدول (۴) مقایسه شده است.

جدول (۴): مقایسه روش پیشنهادی با مقالات دیگر

صحت گزارش شده	مرجع
۹۲,۳	[۱۱]
۹۸	[۱۰]
۹۵,۵	[۹]
۹۹,۳	**روش پیشنهادی**

با توجه به گزارشات و نتایج می‌توان به این نتیجه رسید که روش پیشنهادی برای تشخیص سیگنال سالم و دارای آریتمی دارای قابلیت اطمینان خوبی است و می‌توان آن را انتخاب نمود.

References

مراجع

[1] E. Jose, S. Luza, W. Robson, G. Cámara and D. Menottiac, "ECG- based heartbeat classification for arrhythmia detection: a survey", *Journal of Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 127, pp. 144-164, April 2016.

[2] G. Sannino and G. De Pietro, "A deep learning approach for ECG-based heartbeat classification for arrhythmia detection", *Journal of Future Generation Computer Systems*, vol. 3, pp. 446-455, 2018.

[3] S. Savalia and V. Emamian, "Cardiac arrhythmia classification by multi-layer perceptron and convolution neural networks", *MPDI bioeng*, vol. 5, no. 2, pp. 5-12, 2018.

[4] G. Smaoui, A. Young and M. Abid, "Single scale CWT algorithm for ECG beat detection for a portable monitoring system", *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 37, pp. 132-139, 2019.

[5] S.H. Jambukia, V.K. Dabhi and H.B. Prajapati, "Classification of ECG signals using machine learning techniques: a survey", *2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, Ghaziabad, India, pp. 714-721, 2015.

[6] M. Alfaras, M.C. Soriano and S. Ortín, "A fast machine learning model for ECG-based heartbeat classification and arrhythmia detection", *Frontiers in Physics*, vol. 7 p. 98-103, 2019.

[7] M. Padmanabhan, P. Yuan, G. Chada, H.V. Nguyen, "Physician-friendly machine learning: a case study with cardiovascular disease risk, prediction", *J. Clin. Med*., vol. 8, no. 7, pp. 1050-1064, 2019.

[8] A. Ribeiro and G. Paixão, "Automatic diagnosis of the 12-lead ECG using a deep neural network", *Nature Communications*, vol. 11, pp. 1760-1771, 2020.

[9] S. Bhekumuzi, M. Mathunjwa, Y. Lin and C. Hung , "ECG recurrence plot-based arrhythmia classification using two-dimensional deep residual CNN features", *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1660-1672, 2022.

[10] S. Mohamed, Y. Jabrane, A. Hajjam and E. Hassani, "An automated system for ECG arrhythmia detection using machine learning techniques", *J. Clin. Med*., vol. 10, no. 22, pp. 5450-5464, 2021.

[11] W. Ullah, I. Siddique, R. Muhammad, M. Mahtab Alam, I. Ahmad and U. Ahmad Raza, "Classification of arrhythmia in heartbeat detection using deep learning", *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, p. 13, 2021.

[12] S. Aziz, S. Ahmed and M.Alouini, "ECG-based machine-learning algorithms for heartbeat classification", *Scientifc Reports*, vol. 11:18738, Sep. 2021.

[13] M. Wu, Y. Lu, W. Yang and S. Yuong, "A study on arrhythmia via ECG signal classification using the convolutional neural network", *Frontiers in Computational Neuroscience*, vol 14, Jan. 2021.

[14] F. Ibrahem and M. Younes, "Analysis and classification of heart diseases using heartbeat features and machine learning algorithms", *Journal of Big Data*, vol. 6:81, Aug. 2019.

[15] M.M. Moradi, M.H. Fatehi, H. Masoumi and M. Taghizadeh, "Deep neural network method for classification of sleep stages using spectrogram of signal based on transfer learning with different domain data", *Scientia Iranica*, vol. 29, no. 4, p. 1898-1903, 2022.

[16] M.M. Moradi, M.H. Fatehi, H. Masoumi and M. Taghizadeh, "Deep Learning Method for Sleep Stages Classification by Time-Frequency Image", *Signal Processing and Renewable Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 67-83, 2022.

[17] M.M. Moradi, M.H. Fatehi, H. Masoumi and M. Taghizadeh, "Adaptive neuro-fuzzy method for sleep stages detection by PPG signal", *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*, vol. 10, pp. 13-21, Jan-Mar. 2020.