

به نام خدا

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک

مؤلف :

نجمه دهقانی قنات غستانی

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۵)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir



سرشناسه : دهقانی قنات غستانی، نجمه ، ۱۳۷۱
عنوان و نام پدیدآور : هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک / مولف نجمه دهقانی
قنات غستانی
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری : ۱۱۰ ص.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۲۷۴-۵
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : هوش مصنوعی - یادگیری ماشین - تحلیل سیگنال بیوالکتریک
رده بندی کنگره : TP ۹۸۳
رده بندی دیویی : ۵۵/۶۶۸
شماره کتابشناسی ملی : ۸۸۳۷۶۱۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک

مولف : نجمه دهقانی قنات غستانی

ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)

صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: محدثه فرهمند- الهام غفاری

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۵

چاپ: زبرجد

قیمت: ۱۹۰۰۰۰ تومان

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۲۷۴-۵

تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir



فهرست

پیشگفتار	۷
فصل اول : مبانی سیگنال‌های بیوالکتریک	۹
تعریف سیگنال‌های بیوالکتریک و اهمیت آن‌ها	۹
انواع سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۰
فیزیولوژی و منشاء سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۱
روش‌های اندازه‌گیری و ابزارهای ثبت سیگنال	۱۲
ویژگی‌ها و خصوصیات سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۳
نوسانات و نویز در سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۴
پیش‌پردازش سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۵
تشخیص و حذف نویز و اختلال‌ها	۱۶
فیلترینگ در سیگنال‌های بیوالکتریک	۱۷
تحلیل حوزه زمان و حوزه فرکانس سیگنال‌ها	۱۸
نمایش‌های گرافیکی سیگنال‌ها	۱۹
مفاهیم پایه در تحلیل داده‌های بیوالکتریک	۲۰
استانداردهای ثبت و تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک	۲۱
کاربردهای پزشکی و زیستی سیگنال‌های بیوالکتریک	۲۲
فصل دوم: مبانی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	۲۳
معرفی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	۲۳
تاریخچه و تحولات هوش مصنوعی	۲۴
انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین	۲۵
یادگیری نظارت‌شده و بدون نظارت	۲۶

۲۷.....	الگوریتم‌های رایج در یادگیری ماشین.....
۲۸.....	مفاهیم ویژگی و انتخاب ویژگی.....
۲۹.....	روش‌های کاهش ابعاد داده.....
۳۰.....	مدل‌سازی آماری و یادگیری ماشین.....
۳۱.....	ارزیابی مدل‌های یادگیری ماشین.....
۳۲.....	مباحث مربوط به بیش‌برازش و کم‌برازش.....
۳۴.....	اعتبارسنجی مدل و تقسیم داده‌ها.....
۳۵.....	یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی.....
۳۶.....	تفاوت بین یادگیری ماشین و یادگیری عمیق.....
۳۷.....	روش‌های بهبود عملکرد مدل‌ها.....
۳۹.....	فصل سوم : کاربرد یادگیری ماشین در تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک.....
۳۹.....	استخراج ویژگی از سیگنال‌های بیوالکتریک.....
۴۰.....	نمونه‌برداری و قالب‌بندی داده‌ها.....
۴۱.....	طبقه‌بندی و تشخیص الگوها.....
۴۳.....	تشخیص بیماری‌ها از طریق سیگنال‌ها.....
۴۴.....	تحلیل سیگنال‌های قلبی (ECG) با یادگیری ماشین.....
۴۵.....	تحلیل سیگنال‌های مغزی (EEG) با یادگیری ماشین.....
۴۶.....	کاربرد یادگیری ماشین در سیگنال‌های EMG.....
۴۸.....	تشخیص ناهنجاری‌ها و اختلالات با الگوریتم‌ها.....
۴۹.....	تحلیل زمان واقعی سیگنال‌ها.....
۵۰.....	کاربرد شبکه‌های عصبی در تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک.....
۵۱.....	الگوریتم‌های خوشه‌بندی و طبقه‌بندی در سیگنال‌ها.....
۵۲.....	یادگیری ماشین برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی بیماری‌ها.....
۵۳.....	فصل چهارم : یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی در سیگنال‌های بیوالکتریک.....

۵۳	مقدمه‌ای بر یادگیری عمیق
۵۴	ساختار و عملکرد شبکه‌های عصبی
۵۵	شبکه‌های عصبی کانولوشنال (CNN) و کاربردشان
۵۷	شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) و LSTM
۵۸	مدل‌های یادگیری ماشین عمیق در تحلیل سیگنال
۵۹	کاربرد CNN در تحلیل سیگنال‌های ECG
۶۰	کاربرد شبکه‌های عصبی بازگشتی در تحلیل سیگنال‌های EEG
۶۱	بهینه‌سازی و آموزش شبکه‌های عمیق
۶۲	روش‌های تنظیم و جلوگیری از بیش‌برازش
۶۳	انتقال یادگیری و مدل‌های پیش‌آموزش
۶۴	شبکه‌های عمیق برای استخراج ویژگی خودکار
۶۶	شناسایی سیگنال‌های غیرطبیعی با یادگیری عمیق
۶۷	پردازش سیگنال چندکاناله با شبکه‌های عصبی
۶۸	مقایسه یادگیری عمیق با روش‌های کلاسیک یادگیری ماشین
۷۱	 فصل پنجم : نرم‌افزارها، ابزارها و پیاده‌سازی
۷۱	معرفی محیط‌های برنامه‌نویسی رایج
۷۲	زبان‌های برنامه‌نویسی مناسب برای تحلیل سیگنال
۷۴	کتابخانه‌های پرکاربرد یادگیری ماشین
۷۵	نرم‌افزارهای پردازش سیگنال بیوالکتریک
۷۶	پلتفرم‌های یادگیری عمیق و چارچوب‌ها
۷۷	پیاده‌سازی الگوریتم‌های پایه
۷۹	تحلیل و پیش‌پردازش داده‌ها با نرم‌افزار
۸۰	آموزش و ارزیابی مدل‌های یادگیری ماشین
۸۱	استفاده از داده‌های واقعی برای آموزش

۸۲.....	ابزارهای تصویری سازی سیگنال ها.....
۸۳.....	توسعه نرم افزار جهت سیستم های پزشکی.....
۸۴.....	آینده فناوری های نرم افزاری در تحلیل هوشمند سیگنال ها.....
۸۷.....	فصل ششم : چالش ها، آینده پژوهی و روندهای نوین.....
۸۷.....	مسائل اخلاقی و حریم خصوصی در تحلیل داده های پزشکی.....
۸۸.....	چالش های کیفیت و کمیت داده ها.....
۹۰.....	نقش هوش مصنوعی در پزشکی شخصی سازی شده.....
۹۱.....	فناوری های ترکیبی و یادگیری چند رسانه ای.....
۹۲.....	استفاده از داده های بزرگ و تحلیل چندمنبعی.....
۹۴.....	روندهای نوین در سیستم های هوشمند پزشکی.....
۹۵.....	اهمیت استاندارد سازی و مقررات.....
۹۶.....	نقش انسان و هوش مصنوعی در تصمیم گیری پزشکی.....
۹۸.....	آینده یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در پزشکی.....
۹۹.....	علت سنجی هوشمند و مدل های explainable AI.....
۱۰۰.....	کاربردهای نوآورانه سیگنال های بیوالکتریک.....
۱۰۲.....	تعامل هوش مصنوعی با تکنولوژی های دیگر (Wearable ,IoT).....
۱۰۴.....	سخن آخر.....
۱۰۷.....	منابع و مآخذ.....
۱۰۷.....	منابع فارسی.....
۱۰۹.....	منابع انگلیسی.....

پیشگفتار

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه‌های علوم زیستی، پزشکی و فناوری اطلاعات، مسیر تازه‌ای برای درک و تحلیل داده‌های پیچیده بیولوژیکی گشوده است. یکی از مهم‌ترین این داده‌ها، سیگنال‌های بیوالکتریک هستند که اطلاعات ارزشمندی از عملکرد سیستم‌های زیستی از جمله قلب، مغز و عضلات در اختیار قرار می‌دهند. این سیگنال‌ها به عنوان یکی از منابع کلیدی داده‌ای در تشخیص، درمان و پیش‌بینی بیماری‌ها شناخته شده‌اند و نقشی حیاتی در توسعه تشخیص‌های پزشکی دقیق و غیرتهاجمی ایفا می‌کنند.

با رشد فناوری‌های نوین سخت‌افزاری، می‌توان سیگنال‌های بیوالکتریک را با دقت بالاتر و در شرایط متنوع‌تری ثبت و ذخیره کرد. اما این حجم بزرگ و پیچیده داده‌ها نیازمند فناوری‌های پیشرفته برای تحلیل دقیق و موشکافانه است که بتواند در میان نویزها و پیچیدگی‌های طبیعی سیگنال، اطلاعات دقیق را استخراج کند. در این راستا، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان ابزارهای قدرتمند ظهور کرده‌اند و به کمک آن‌ها می‌توان الگوهای نهفته در داده‌ها را کشف و درک کرد.

هوش مصنوعی، به ویژه روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، امکان استخراج خودکار ویژگی‌ها و تحلیل چندبعدی داده‌ها را فراهم می‌آورد. این فناوری‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته، فرآیند تفسیر داده‌ها را تسریع و دقت آن را به صورت چشمگیری افزایش داده‌اند. به‌علاوه، قابلیت یادگیری مداوم این الگوریتم‌ها سبب شده تا سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی بتوانند به مرور زمان و با افزایش داده‌ها، عملکرد خود را بهبود بخشند.

یکی از حوزه‌های کاربردی مهم فناوری یادگیری ماشین، تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک است. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های الکتروکاردیوگرام، الکتروانسفالوگرام، الکترومایوگرام و سایر سیگنال‌های پزشکی، امکان تشخیص سریع‌تر، دقیق‌تر و غیرتهاجمی بیماری‌ها را فراهم ساخته است. این کاربردها به ویژه در حوزه‌هایی نظیر تشخیص اختلالات قلب، حملات صرعی، بیماری‌های عصبی و اختلالات عضلانی تأثیرگذار بوده‌اند.

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر موجود، تحلیل سیگنال‌های بیوالکتریک همچنان چالش‌های متعددی را پیش روی پژوهشگران و مهندسان قرار داده است. این چالش‌ها شامل کیفیت نامناسب سیگنال‌ها، وجود نویزهای محیطی، پیچیدگی ساختار سیگنال‌ها و همچنین مشکلات ناشی از تنوع فردی در داده‌ها می‌شود. از سوی دیگر، مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین نیز برای کاربرد در محیط‌های بالینی نیازمند توسعه و ارزیابی مستمر هستند تا ضمن حفظ دقت، قابلیت تفسیر و اطمینان در تصمیم‌گیری‌های پزشکی فراهم شود.

این شرایط ضرورت آشنایی عمیق با اصول، روش‌ها و کاربردهای یادگیری ماشین در حوزه سیگنال‌های بیوالکتریک را بیش از پیش آشکار می‌سازد. لذا در این کتاب تلاش شده است تا دانش بنیادی در زمینه سیگنال‌های بیوالکتریک، مبانی یادگیری ماشین و کاربردهای عملی آن در تحلیل این سیگنال‌ها به زبانی ساده و دقیق ارائه شود. به طوری که خوانندگان بتوانند ضمن آشنایی با مباحث نظری، قادر به به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین در پروژه‌های عملی و تحقیقاتی خود باشند.

این کتاب سعی دارد تا خلأ موجود در منابع فارسی را در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی با تمرکز بر سیگنال‌های بیوالکتریک برطرف کند و پایه‌ای برای پژوهشگران، مهندسان، پزشکان و دانشجویان فراهم آورد. بنابراین خوانندگان با دانش پایه در حوزه‌های پزشکی یا مهندسی می‌توانند از این اثر استفاده کنند و دانش خود را در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین تخصصی‌تر کنند. همچنین، کتاب شامل نمونه‌ها و شرح مفصل الگوریتم‌ها و ابزارهای متداول بوده که به خواننده کمک می‌کند روش‌های مختلف را به خوبی درک و در پروژه‌های خود پیاده‌سازی نماید. توجه ویژه به مباحث تفسیرپذیری مدل‌ها و چالش‌های عملی نیز از ویژگی‌های این اثر است که آن را از منابع صرفاً آموزشی متمایز می‌کند.

در نهایت امید است که این کتاب بتواند به ارتقاء دانش و توانمندی‌های متخصصان ایرانی در حوزه هوش مصنوعی پزشکی یاری رساند و زمینه‌ساز ارائه خدمات بهداشتی با کیفیت‌تر و فناوری‌های نوین‌تر در ایران و جهان شود.

فصل اول:

مبانی سیگنال‌های بیوالکتریک

تعریف سیگنال‌های بیوالکتریک و اهمیت آن‌ها

سیگنال‌های بیوالکتریک جریان‌های الکتریکی کوچکی هستند که در بافت‌ها و سلول‌های موجودات زنده تولید می‌شوند. این جریان‌ها به علت فعالیت‌های فیزیولوژیکی داخل بدن ایجاد می‌شوند و می‌توانند اطلاعات فراوانی درباره وضعیت بدن و عملکرد سیستم‌های زیستی ارائه دهند. وجود این سیگنال‌ها بیانگر فعالیت الکتریکی در سلول‌های مختلف مانند نورون‌ها، سلول‌های عضلانی و قلب است که نقش کلیدی در هماهنگی عملکرد اندام‌ها دارند.

تحلیل این سیگنال‌ها به دلیل بازتاب‌دهنده بودن فرآیندهای بیولوژیکی پیچیده، از اهمیت فراوانی برخوردار است. با بررسی تغییرات و الگوهای این جریان‌ها می‌توان به تشخیص بیماری‌ها و اختلالات مختلفی مانند بیماری‌های قلبی، مغزی، یا عضلانی پرداخت که در بسیاری از موارد پیش از بروز علائم بالینی قابل شناسایی هستند. بنابراین استفاده از سیگنال‌های بیوالکتریک به عنوان ابزار تشخیصی غیرتهاجمی توانمندی قابل توجهی در پزشکی دارد.

از سوی دیگر سیگنال‌های بیوالکتریک به پژوهش‌های علمی در حوزه‌های مختلفی مانند علوم اعصاب، فیزیولوژی و حتی روانشناسی کمک می‌کنند. این سیگنال‌ها می‌توانند به روشنی کارکرد مغز، قلب و سایر اعضا را تحت شرایط مختلف تبیین نمایند و بینش عمیقی نسبت به نحوه کارکرد سیستم‌های زیستی ایجاد کنند. علم پزشکی مدرن بدون تحلیل این سیگنال‌ها پیشرفت زیادی نمی‌توانست داشته باشد.

سیگنال‌های بیوالکتریک علاوه بر کاربردهای بالینی، نقش مهمی در طراحی و توسعه دستگاه‌های پزشکی و تکنولوژی‌های کمکی همانند پروتزهای هوشمند و سیستم‌های کنترل بیونیک دارند. با استفاده از این سیگنال‌ها دستگاه‌ها قادرند پاسخ‌های مناسبی به نیازهای فرد ارائه دهند و کیفیت زندگی بیماران را بهبود بخشند. این خصوصیت‌ها باعث اهمیت و گستردگی روزافزون کاربرد سیگنال‌های بیوالکتریک در علوم مهندسی پزشکی شده است.

درک و استخراج اطلاعات از سیگنال‌های بیوالکتریک نیازمند روش‌های پیشرفته پردازش داده است چرا که نویزهای متعددی بر روی این سیگنال‌ها وجود دارد و تغییرات طبیعی در بدن حجم وسیعی

از داده‌ها را شکل می‌دهد. به همین دلیل، روش‌های نوین مانند هوش مصنوعی برای تحلیل این داده‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند تا بتوانند اطلاعات دقیق و مفیدی را از بین حجم بزرگی از داده‌ها استخراج کنند.

به طور کلی شناخت سیگنال‌های بیوالکتریک و ارزش تشخیصی آن‌ها یکی از پایه‌های توسعه علوم پزشکی و مهندسی محسوب می‌شود و با پیشرفت فناوری‌های اندازه‌گیری و تحلیل سیگنال، افق‌های نوینی برای درمان بیماری‌ها و بهبود سلامت انسان ایجاد شده است.

انواع سیگنال‌های بیوالکتریک

سیگنال‌های بیوالکتریک انواع متنوعی دارند که از اندام‌ها و سیستم‌های مختلف بدن تولید می‌شوند و ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند. یکی از اصلی‌ترین و پرکاربردترین این سیگنال‌ها سیگنال‌های حاصل از فعالیت قلبی هستند که اغلب با دستگاه الکتروکاردیوگرام ثبت می‌شوند. این سیگنال‌ها وضعیت ضربان و سلامت قلب را نشان می‌دهند و در تشخیص بیماری‌های قلبی کاربرد بسیار وسیعی دارند.

نوع دیگری از سیگنال‌های مهم، سیگنال‌های تولید شده در مغز هستند که تحت عنوان الکتروانسفالوگرام شناخته می‌شوند. این سیگنال‌ها نمایانگر فعالیت نورون‌ها و فرآیندهای عصبی در مغز بوده و در زمینه‌های مختلفی مانند تشخیص صرع، بررسی خواب و اختلالات مغزی به کار می‌روند. به دلیل پیچیدگی بالای الگوهای مغزی، تحلیل این سیگنال‌ها چالش‌های خاص خود را دارد.

پتانسیل الکتریکی ایجاد شده توسط عضلات از دیگر انواع سیگنال‌های بیوالکتریک است که با استفاده از الکترومایوگرام ثبت می‌شود و نشان‌دهنده فعالیت‌های عضلانی می‌باشد. این سیگنال‌ها برای بررسی سلامت عضلات و همچنین در پروژه‌های توانبخشی کاربرد فراوانی دارند. تحلیل این سیگنال‌ها به جهت حافظت در برابر اختلالات حرکتی و بیماری‌های عصبی از اهمیت بالایی برخوردار است.

انواع دیگری از سیگنال‌های بیوالکتریک نیز وجود دارند مانند سیگنال‌های عصبی که فعالیت‌های الکتریکی عصب‌ها را نشان می‌دهند. این سیگنال‌ها در تحقیقات علوم اعصاب و همچنین در طراحی سیستم‌های تحریک عصبی و پروتزهای عصبی اهمیت دارند و به درک عمیق‌تر مکانیزم انتقال اطلاعات عصبی کمک می‌کنند.

این تنوع سیگنال‌های بیوالکتریک باعث شده است که هر کدام از آن‌ها به عنوان منابع مهمی برای اطلاعات تشخیصی و عملکردی مورد استفاده قرار گیرند. انواع مختلف سیگنال‌ها بر اساس ویژگی‌های زمانی، فرکانسی و شدت سیگنال‌ها دسته‌بندی می‌شوند و تحلیل دقیق آن‌ها مستلزم ابزارها و الگوریتم‌های مخصوصی است.

از جهتی دیگر، این انواع سیگنال‌ها هر کدام چالش‌های خاص در اندازه‌گیری، ثبت و تفسیر دارند که مهندسان و پزشکان به منظور استخراج بهترین اطلاعات از آن‌ها نیازمند بهبود تجهیزات و روش‌های پردازش می‌باشند. این شرایط دستاوردهای تحقیقاتی مختلفی را در حوزه پزشکی و مهندسی انگیزه است.

فیزیولوژی و منشاء سیگنال‌های بیوالکتریک

سیگنال‌های بیوالکتریک به دلیل فعالیت‌های الکتریکی سلول‌های زیستی تولید و منتشر می‌شوند و ریشه اصلی آن‌ها در تراکم یون‌ها و حرکت آن‌ها در غشاء سلولی نهفته است. سلول‌ها دارای غشاء نیمه‌تراوا هستند که به واسطه آن یون‌ها می‌توانند به صورت انتخابی وارد یا خارج سلول شوند و این حرکت یون‌ها باعث ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌شود. این امر اساس اصلی ایجاد سیگنال‌هایی است که در بافت‌های مختلف بدن ثبت می‌شوند.

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط، پتانسیل عمل است که در سلول‌های عصبی و عضلانی اتفاق می‌افتد. زمانی که یک سلول تحریک می‌شود، گذرگاه‌های یون به صورت موقت باز شده و یون‌های مثبت مثل سدیم وارد سلول می‌شوند، باعث تغییر سریع پتانسیل غشاء از حالت استراحت به حالتی که می‌توان آن را به طور الکتریکی اندازه گرفت می‌شود. این تغییرات لحظه‌ای اساس تولید سیگنال‌های بیوالکتریک را تشکیل می‌دهند.

پتانسیل‌های فعال تولید شده در نورون‌ها و عضلات به شکل موج‌های الکتریکی ثبت می‌شوند و این انتشار به صورت موجی از سلول‌های فعال در بافت‌ها پخش می‌شود. بنابراین، این سیگنال‌ها نمایانگر فعالیت هماهنگ میلیون‌ها سلول هستند که یک سیستم زیستی بزرگ‌تر مانند مغز، قلب یا عضلات را تشکیل می‌دهند. در حقیقت ترکیب سیگنال‌های کوچک سلولی به گونه‌ای است که می‌توان آن‌ها را از خارج بدن یا داخل بافت‌ها ثبت کرد.

نقش کانال‌ها و پمپ‌های یونی در حفظ تعادل یون‌ها بسیار حیاتی است. این ساختارهای تخصصی در غشاء سلول‌ها به طور پیوسته یون‌ها را منتقل می‌کنند و اجازه می‌دهند که غلظت یون‌ها درون و

بیرون سلول به طور مداوم در حالت تعادل پویا حفظ شود. همین فرایندها باعث ایجاد و پایداری اختلاف پتانسیل الکتریکی شده که سیگنال‌های بیوالکتریک را شکل می‌دهند.

سیستم عصبی، قلب و عضلات با استفاده از این پدیده‌های الکتریکی، پیام‌های خود را منتقل می‌کنند و حرکات و واکنش‌های بدن را تنظیم می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که سیگنال‌های بیوالکتریک بیان‌گر فرایندهای زیستی اساسی و کنترل‌کننده فعالیت‌های حیاتی بدن هستند و بدون آن‌ها زندگی و عملکردهای روزمره امکان‌پذیر نیست.

کارکرد هماهنگ این ساختارها به صورت زنجیروار باعث می‌شود که سیگنال‌های بیوالکتریک نه تنها نشانگر فعالیت داخلی بلکه واسطه برقراری ارتباط سریع بین قسمت‌های مختلف بدن باشند که این نکته اهمیت بسیار بالایی در روند درمان و پژوهش دارد.

روش‌های اندازه‌گیری و ابزارهای ثبت سیگنال

اندازه‌گیری سیگنال‌های بیوالکتریک نیازمند تجهیزات تخصصی و حساس است چرا که این سیگنال‌ها دارای دامنه کوچک و اغلب تحت تأثیر نویزهای محیطی قرار دارند. یکی از روش‌های متداول در این حوزه استفاده از الکترودها است که وظیفه آن‌ها ثبت پتانسیل‌های الکتریکی از سطح پوست یا مستقیماً در داخل بافت‌ها می‌باشد. بسته به نوع سیگنال و محل اندازه‌گیری، انواع مختلفی از الکترودها به کار گرفته می‌شوند.

الکترودهای سطحی معمولاً برای ثبت سیگنال‌هایی مانند ECG و EEG به کار می‌روند که به صورت غیرتهاجمی و بدون نیاز به نفوذ به داخل بدن قابل استفاده هستند. این الکترودها از جنس فلزات خاص مانند نقره یا طلا ساخته می‌شوند و باید به خوبی به پوست متصل شوند تا کیفیت آرایه ثبت افزایش یابد. استفاده از ژل‌ها و مواد رسانا در این فرآیند نقش مهمی دارد.

در مواردی که نیاز به دریافت سیگنال با کیفیت بالاتر و عمق بیشتر است، الکترودهای نفوذی به کار می‌روند که مستقیماً در بافت مورد نظر قرار می‌گیرند. این روش‌ها معمولاً در آزمایش‌های پژوهشی یا درمانی با دقت بالا استفاده می‌شوند و به دلیل تهاجمی بودن، نیازمند شرایط خاص و مراقبت‌های پزشکی دقیق هستند.

پس از ثبت سیگنال‌ها، پردازش اولیه برای حذف نویزهای محیطی و تقویت سیگنال انجام می‌شود که این مرحله نقش بسیار مهمی در حفظ کیفیت و صحت داده‌ها دارد. تجهیزاتی مانند

پیش تقویت‌کننده‌ها و فیلترهای خاص به کار گرفته می‌شوند تا سیگنال واقعی از بین داده‌های اضافی جدا شود.

دستگاه‌های ثبت سیگنال بیوالکتریک متنوع هستند و معمولاً شامل قسمت‌های مختلفی مانند تقویت‌کننده، فیلتر، مبدل آنالوگ-به-دیجیتال و سیستم‌های ذخیره‌سازی می‌شوند. این تجهیزات باید توانایی کار در شرایط بیمارستانی و آزمایشگاهی را داشته باشند و استانداردهای ایمنی و دقت بالایی را رعایت کنند.

امروزه دستگاه‌های ثبت سیگنال بیوالکتریک به صورت دیجیتال و با قابلیت اتصال به کامپیوتر و نرم‌افزارهای پیشرفته تحلیل ارائه می‌شوند که امکان تحلیل دقیق، ذخیره داده‌های طولانی مدت و کار با حجم بالای داده‌ها را فراهم می‌آورند. این پیشرفت‌ها نقش بسیار مهمی در بهبود تشخیص و پژوهش در حوزه‌های پزشکی دارند.

ویژگی‌ها و خصوصیات سیگنال‌های بیوالکتریک

سیگنال‌های بیوالکتریک دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که آن‌ها را از سیگنال‌های دیگر متمایز می‌کند. یکی از مهم‌ترین خصوصیات این سیگنال‌ها، غیرخطی و غیرایستا بودن آن‌ها است. یعنی الگوهای این سیگنال‌ها به طور مداوم در طول زمان تغییر می‌کنند و نمی‌توان مدل ساده و ثابتی برای توصیف کامل آن‌ها ارائه داد. این ماهیت باعث شده تحلیل آن‌ها چالش‌برانگیز و در عین حال جذاب باشد.

ویژگی بعدی مربوط به دامنه سیگنال است که معمولاً بسیار کوچک و در حدود میکروولت تا میلی‌ولت است. این دامنه کم باعث می‌شود که سیگنال به راحتی تحت تأثیر عوامل مخرب قرار گیرد و نیاز به دستگاه‌های حساس و تقویت‌کننده‌های دقیق داشته باشد. همچنین، دامنه سیگنال ممکن است بسته به وضعیت فیزیولوژیکی و محیط اندازه‌گیری به طور قابل توجهی تغییر کند.

خصوصیت دیگر سیگنال‌های بیوالکتریک، زمان‌مند بودن آن‌ها است، یعنی اطلاعات در قالب امواج الکتریکی در بازه‌های زمانی مشخصی ثبت می‌شوند و این تغییرات زمانی حامل پیام‌های زیستی هستند. بنابراین تحلیل در حوزه زمان و همچنین حوزه فرکانس ضرورت پیدا می‌کند تا بتوان ساختارهای زمان‌متغیر سیگنال را بهتر درک کرد.

سیگنال‌های بیوالکتریک اغلب شامل اجزای فرکانسی مختلف هستند که از فرکانس‌های پایین تا بالا گسترده می‌شود. این تنوع فرکانسی نشانگر ترکیب پیچیده فعالیت‌های زیستی است و فیلترگذاری

مناسب بر اساس نوع سیگنال و هدف تحلیل اهمیت بالایی دارد. برای مثال، در ECG بیشتر فرکانس‌های پایین اهمیت دارند ولی در EEG، فرکانس‌های بالا نیز باید مورد توجه قرار گیرند. سیگنال‌های بیوالکتریک حقیقی معمولاً پیچیده و چند بعدی هستند. این به معنای وجود ویژگی‌هایی نظیر تأخیرهای زمانی، همبستگی بین سیگنال‌های ثبت شده از مناطق مختلف و همچنین تغییرات فضایی و زمانی می‌باشد که اطلاعات فراوانی درباره عملکرد سیستم‌های زیستی ارائه می‌کند. ماهیت تعاملی و وابسته به شرایط محیطی این سیگنال‌ها بسیار مهم است. سیگنال‌های بیوالکتریک تحت تأثیر فشارهای روانی، وضعیت جسمانی، یا مصرف داروها تغییر می‌کنند و این امر تحلیل و تفسیر آن‌ها را پیچیده‌تر و در عین حال ارزشمندتر می‌سازد.

نوسانات و نویز در سیگنال‌های بیوالکتریک

سیگنال‌های بیوالکتریک همواره دچار نوسانات و نویزهای متنوعی هستند که بخش مهمی از چالش‌های تحلیل سیگنال محسوب می‌شود. این نوسانات می‌توانند ناشی از عوامل طبیعی بدن مانند تنفس، حرکات عضلانی غیرارادی و یا تغییرات محیطی باشند. همچنین منابع نویز خارجی مانند تجهیزات الکترونیکی اطراف، میدان‌های مغناطیسی و حتی تماس نامناسب الکترودها تأثیرگذار هستند.

یکی از اصلی‌ترین منابع نویز، نویز حرکتی است که در هنگام حرکت بدن یا جابجایی الکترودها ایجاد می‌شود و غالباً باعث تغییراتی ناخواسته و غیرطبیعی در سیگنال می‌گردد. این نوع نویز در ثبت سیگنال‌هایی مانند ECG و EEG بسیار چالش‌زا است و رفع آن نیازمند تکنیک‌های پیشرفته حذف نویز و فیلترینگ است.

نویز دیگری که به طور گسترده مشاهده می‌شود، نویز شبکه برق است که معمولاً فرکانسی در حدود ۵۰ یا ۶۰ هرتز دارد. این نویز به دلیل محیط‌های بیمارستانی و آزمایشگاهی که شامل تجهیزات الکتریکی زیادی هستند ایجاد می‌شود و در داده‌ها به صورت پالسی یا اختلالات دوره‌ای ظاهر می‌شود. از سوی دیگر، نویزهای داخلی سیستم ثبت نیز می‌توانند به وجود آیند که ناشی از عوامل الکترونیکی مانند تقویت‌کننده‌ها، کابل‌ها و مبدل‌های دیجیتال است. این نویزها معمولاً بسیار کوچک ولی مداوم بوده و نیاز به طراحی سیستم‌های دقیق و بهینه دارد.

همچنین تغییرات طبیعی در بدن مانند نوسانات ضربان قلب، فشار خون، و تغییرات دمای بدن خود از عوامل نوسان سیگنال محسوب می‌شوند که بخشی از سیگنال واقعی هستند ولی تحلیلگر باید آن‌ها را از نویز مخرب تفکیک نماید.

روش‌های مختلفی برای مقابله و کاهش نویزها وجود دارد که شامل فیلترهای دیجیتال، حذف مؤلفه‌های فرکانسی خاص، تکنیک‌های آماری و الگوریتم‌های هوشمند است. انتخاب مناسب روش‌ها بستگی به نوع نویز و ویژگی‌های سیگنال دارد که در نهایت منجر به بهبود دقت و قابلیت اطمینان در تحلیل می‌شود.

پیش‌پردازش سیگنال‌های بیوالکتریک

پیش‌پردازش سیگنال‌های بیوالکتریک مرحله‌ای مهم و گریزناپذیر در فرایند تحلیل است که هدف آن آماده‌سازی داده‌ها برای استخراج اطلاعات دقیق و کاربردی می‌باشد. این مرحله شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها است که جهت بهبود کیفیت سیگنال‌های ثبت شده اعمال می‌شوند و به حذف یا کاهش تاثیر عوامل مزاحم کمک می‌کنند. از آنجا که سیگنال‌های زیستی بسیار حساس و دارای دامنه کوچک هستند، پیش‌پردازش صحیح برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد بسیار ضروری است.

ابتدایی‌ترین گام در پیش‌پردازش، فیلترینگ سیگنال است که به وسیله انواع فیلترهای دیجیتال و آنالوگ اعمال می‌شود. این فیلترها می‌توانند فرکانس‌های ناخواسته مانند نویز شبکه برق یا فرکانس‌های خارج از باند سیگنال اصلی را حذف کنند. فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر، باندگذر و باندحذف از جمله پرکاربردترین نوع‌ها می‌باشند که متناسب با نوع سیگنال و هدف استخراج ویژگی انتخاب می‌شوند.

یکی دیگر از مراحل حیاتی در پیش‌پردازش، نرمال‌سازی سیگنال است که باعث تنظیم دامنه داده‌ها به محدوده‌ای استاندارد می‌شود. این کار به یکسان‌سازی مقیاس سیگنال‌ها کمک می‌کند تا الگوریتم‌های تحلیل بهتر و دقیق‌تر عمل کنند، خصوصاً زمانی که داده‌ها از منابع مختلف یا چندین بیمار جمع‌آوری می‌شوند.

افزایش وضوح سیگنال و حذف داده‌های اضافی نیز جزو وظایف دیگر پیش‌پردازش به شمار می‌آید که در آن تکنیک‌هایی مانند تازه‌سازی داده‌ها با روش‌های ریاضی یا تبدیل‌های ریاضی مانند تبدیل موجک یا تبدیل فوریه به کار گرفته می‌شود. این روش‌ها امکان جداسازی بهتر ساختارهای فرکانسی و زمانی را فراهم می‌آورند.