پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

طراحی یک واسط ارتباطی بین انسان و رایانه بر پایه سیستم‌های فازی

توسط:

عفت جلائیان زعفرانی

اساتید راهنما:

دکتر محمد تشنه‌لب

دکتر مهدی علیاری شوره‌دلی

زمستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم

تقدیم به زیبا رویان خفته در خاک؛

دایی و عموی عزیزم، شهید احد رحیم‌زاده و
شهید اکبر جلائیان زعفرانی

تقدیم به پشتوانه‌های زندگی؛

مادر و پدر عزیزم

تقدیم به بهانه‌های زندگی،

خواهرهای عزیزم

تشکر و قدردانی

با تشکر از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر تشنه لب و جناب آقای دکتر علیاری شوره‌دلی که مشوق من در تمام مراحل انجام این پروژه بودند و با راهنمایی‌های خود مرا به دنیای زیبای مجموعه-های فازی رهنمون ساختند.

همچنین از جناب آقای دکتر Jerry M. Mendel که در ادامه راه دکتر لطفی‌زاده گام نهادند و در استفاده از روش‌های فازی مرا تشویق و راهنمایی کردند نهایت سپاس‌گذاری را دارم.

از دوست عزیزم فاطمه ابراهیم‌آبادی نیز کمال سپاس را دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه سعی بر آن بوده است تا عملکرد سیستم‌های فازی را در طبقه‌بندی چهار نوع تفکر حرکت در سیگنال EEG بررسی نماییم. با توجه به اینکه تفکرات، احساسات و حتی حالات روحی مختلف یک شخص به راحتی بر روی سیگنال مغزی او اثر می‌گذارد نیاز به طبقه‌بندی کننده‌ای که بتوان به کمک آن عدم قطعیت و ابهام در سیگنال مغزی را مدل کند دور از ذهن نخواهد بود. داده‌های مورد استفاده از چهارمین مسابقه جهانی BCI انتخاب شده‌اند که سیگنال‌های مربوط به چهار تصور حرکت دست چپ، دست راست، هر دو پا و زبان است. در ادامه انواع روش‌های استخراج ویژگی بر روی این داده‌ها اعمال شد و توسط روش‌های PCA ، GA و روش‌های آماری به کاهش بعد و انتخاب ویژگی پرداختیم. مشاهده شد که روش‌های آماری قابلیت بهتری در انتخاب ویژگی دارند چرا که این فرض وجود دارد اگر روش‌های آماری نتوانند قابلیت تفکیک‌پذیری خوبی بین دسته داده‌ها ایجاد کنند به احتمال زیاد طبقه‌بندی کننده مورد نظر نیز قادر به این کار نخواهد بود. همچنین ترکیبات خطی ایجاد شده توسط روش‌های آماری ANOVA و MANOVA قدرت تفکیک‌پذیری زیادی را بین ویژگی‌ها به وجود آورد. در نهایت از طبقه‌بندی کننده-های فازی نوع اول و فازی نوع دوم بازه‌ای جهت مقایسه و بدست آوردن میزان صحت استفاده شد. به دلیل حذف بیشتر نویز اندازه‌گیری در زمان ثبت داده‌ها و همچنین استفاده از محدوده فرکانسی مناسب بررسی داده‌های BCI که در باند فرکانسی میو و بتا می‌باشد، عدم قطعیت مربوط به ثبت سیگنال از بین می‌رود. اما همچنان نوع دیگر عدم قطعیت که در استنتاج طبقه‌بندی کننده مدل می‌شود، وجود دارد. نتایج نشان داد که سیستم فازی نوع دوم بازه‌ای قابلیت بیشتری را برای مدل کردن این نوع عدم قطعیت از خود نشان می‌دهد و این امر در میزان صحت بدست آمده قابل مشاهده است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی‌ای پیشنهاد شد که با استفاده از چند الگوریتم بهینه‌سازی سراسری و با به کارگیری مزایا و حذف معایب آن‌ها به آموزش پارامترهای سیستم فازی بپردازد.

کلمات کلیدی – واسط ارتباطی مغز با رایانه، سیستم فازی نوع دوم بازه‌ای، الگوریتم بهینه‌سازی، الگوریتم EMD، استخراج ویژگی و الگوریتم تصمیم‌گیری.

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۴

۱-۲- تاریخچه ۴

۱-۳- شیوه‌های نوین ۵

۱-۳-۱- مثالهایی از سیستمهای ارتباطی مغز با رایانه موجود در دنیا ۶

۱-۴- هدف از انجام تحقیق ۸

۱-۵- نوآوری تحقیق ۸

۱-۶- ساختار پایاننامه ۹

فصل ۲- بررسی سیستم ارتباطی مغز با رایانه

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- سیگنالها و تصاویر کنترلی موجود ۱۲

۲-۳- طبقه‌بندی سیستمهای ارتباطی مغز با رایانه ۱۴

۲-۴- مسابقات سیستم ارتباطی مغز با رایانه ۱۴

۲-۴-۱- تاریخچه مسابقات سیستم ارتباطی مغز با رایانه ۱۵

۲-۵- موضوعات اخلاقی در رابطه با سیستمهای ارتباطی مغز با رایانه ۱۶

۲-۶- سیگنال مغزی ۱۷

۲-۷- تاریخچه الکتروانسفالوگرافی ۱۸

۲-۸- منشاء سیگنال ۱۹

۲-۹- ساختار مغز ۲۱
۲-۱۰- بررسی پتانسیل‌های مغزی در حوزه فرکانس ۲۲
۲-۱۰-۱- باند دلتا ۲۳
۲-۱۰-۲- باند تتا ۲۴
۲-۱۰-۳- باند آلفا ۲۴
۲-۱۰-۴- باند بتا ۲۵
۲-۱۰-۵- باند گاما ۲۶
۲-۱۰-۶- ریتم میو ۲۶
۲-۱۱- مکان الکترودهای ثبت EEG ۲۶
۲-۱۲- قوانین نامگذاری الکترودها در استاندارد ۲۰-۱۰ ..... ۲۷

فصل ۳- روش‌های استخراج و انتخاب ویژگی

۳-۱- استخراج ویژگی ۳۰
۳-۱-۱- مقدمه ۳۰
۳-۱-۲- ویژگیهای پارامتری ۳۱
۳-۱-۳- متوسط تفاوت دامنه‌های بین هر دو کانال ۳۲
۳-۱-۴- پراش تفاوت بین دامنه‌های هر دو کانال ۳۲
۳-۱-۵- نرم داده‌ها ۳۲
۳-۱-۶- آنتروپی ۳۳
۳-۱-۷- تبدیل موجک ۳۳
۳-۱-۸- فیلتر کالمن ۳۴
۳-۱-۹- هیستوگرام ۳۵
۳-۱-۱۰- تبدیل فوریه ۳۵
۳-۱-۱۱- الگوریتم EMD و کاربرد آن در پردازش سیگنال EEG ۳۶
۳-۱-۱۲- شباهتهای مکانی در کانالهای متقابل در دو نیمکره مغزی ۳۹
۳-۱-۱۳- فرکانس موضعی وزن یافته ۴۰
۳-۱-۱۴- انرژی متوسط امواج مغزی بتا و میو ۴۰

۳-۱-۱۵- انرژی ماکزیمم امواج مغزی بتا و میو ۴۱
۳-۱-۱۶- انرژی نسبی امواج مغزی بتا و میو ۴۱
۳-۱-۱۷- بعد فراکتال ۴۱
۳-۱-۱۸- پارامتر خود شباهت به کمک روش DFA ۴۲
۳-۲- روشهای انتخاب ویژگی ۴۴
۳-۲-۱- تحلیل مولفه اصلی ۴۴
۳-۲-۲- معرفی روشهای آماری در انتخاب ویژگیها ۴۵

فصل ۴- سیستم‌های فازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی

۴-۱- مقدمه‌ای بر تئوری فازی ۵۲
۴-۱-۱- مقدمه ۵۲
۴-۱-۲- زمینه‌های تحقیق عمده در تئوری فازی ۵۲
۴-۲- اساس سیستم فازی نوع اول ۵۳
۴-۲-۱- مقدمه ۵۳
۴-۲-۲- فازی ساز ۵۴
۴-۲-۳- پایگاه قواعد و موتور استنتاج ۵۵
۴-۲-۴- غیرفازیساز ۵۵
۴-۳- سیستمهای فازی نوع دوم ۵۶
۴-۴- استنتاج در سیستم فازی نوع دوم ۵۹
۴-۵- کاهش نوع ۶۱
۴-۶- سیستم فازی نوع دوم بازهای ۶۲
۴-۷- بررسی toolbox سیستم فازی نوع دوم ۶۴
۴-۸- خلاصه تعاریف مربوط به سیستمهای فازی ۶۵
۴-۹- روشهای خوشه‌بندی فازی ۶۸
۴-۹-۱- الگوریتم FCM ۷۱
۴-۹-۲- الگوریتم گوستافسون – کسل(GK) ۷۲
۴-۹-۳- الگوریتم FCRM ۷۴

۴-۹-۴- الگوریتم خوشه‌بندی کاهنده ۷۶
۴-۹-۵- الگوریتم خوشه‌بندی بردارهای همگرا ۷۷
۴-۱۰- روشهای بهینه‌سازی ۷۸
۴-۱۰-۱- مقدمه ۷۹
۴-۱۰-۲- الگوریتمهای ژنتیکی ۷۹
۴-۱۰-۳- روال: الگوریتمهای ژنتیکی ۸۰
۴-۱۰-۴- استراتژی تکاملی تفاضلی ۸۲
۴-۱۰-۵- استراتژی تکاملی ۸۳
۴-۱۰-۶- اساس بهینه‌سازی اجتماع ذرات ۸۶
۴-۱۰-۷- الگوریتمهای ژنتیک موازی ۸۸
۴-۱۰-۸- توپولوژی جزیره ۸۸
۴-۱۰-۹- الگوریتم پیشنهاد شده ۸۸

فصل ۵- نتایج و شبیه‌سازی

۵-۱- داده‌های مورد استفاده ۹۴
۵-۱-۱- مقدمه ۹۴
۵-۱-۲- اطلاعات دادههای مورد استفاده ۹۴
۵-۱-۳- ثبت داده ها ۹۶
۵-۱-۴- تشریح فایل داده ۹۷
۵-۱-۵- نتایج مرتبط با چهارمین مسابقه BCI ۹۸
۵-۲- استخراج ویژگی و انتخاب ویژگی ۱۰۱
۵-۲-۱- مقدمه ۱۰۱
۵-۲-۲- متوسط تفاوت دامنه‌های بین هر دو کانال ۱۰۱
۵-۲-۳- پراش تفاوت بین دامنه‌های هر دو کانال ۱۰۳
۵-۲-۴- هیستوگرام ۱۰۳
۵-۲-۵- نرم داده‌ها ۱۰۳
۵-۲-۶- تبدیل فوریه ۱۰۴

۵-۲-۷- تبدیل موجک ۱۰۵
۵-۲-۸- فیلتر کالمن ۱۰۵
۵-۲-۹- ماکزیمم انرژی باند بتا ۱۰۶
۵-۲-۱۰- ماکزیمم انرژی باند میو ۱۰۷
۵-۲-۱۱- انرژی متوسط باند بتا ۱۰۸
۵-۲-۱۲- انرژی متوسط باند میو ۱۰۹
۵-۲-۱۳- انرژی نسبی باند بتا ۱۱۰
۵-۲-۱۴- انرژی نسبی باند میو ۱۱۱
۵-۲-۱۵- پارامتر خودشباهت به کمک روش DFA ۱۱۲
۵-۲-۱۶- شباهتهای مکانی در کانالهای متقابل در دو نیمکره مغزی ۱۱۳
۵-۲-۱۷- بعد فرکتال به روش پتروشن ۱۱۸
۵-۲-۱۸- بعد فرکتال به روش هیگوچی ۱۱۹
۵-۲-۱۹- آنتروپی EMD ۱۱۹
۵-۲-۲۰- فرکانس وزنیافته ۱۲۰
۵-۳- روش انجام آزمایش ۱۲۱
۵-۳-۱- مقدمه ۱۲۱
۵-۳-۲- گام اول: بارگزاری دادهها ۱۲۱
۵-۳-۳- گام دوم: فیلتر میانگذر ۱۲۱
۵-۳-۴- گام سوم: استخراج پنج IMF اول سیگنال مربوط به هر کانال ۱۲۵
۵-۳-۵- گام چهارم: استخراج ویژگی از IMF های استخراج شده ۱۲۶
۵-۳-۶- گام پنجم: طراحی طبقهبندی کننده فازی ۱۲۷
۵-۳-۷- گام ششم: آموزش پارامترهای سیستم فازی ۱۳۰
۵-۳-۸- شبیهسازی ۱ ..... ۱۳۰
۵-۳-۹- شبیهسازی ۲ ..... ۱۳۸
۵-۳-۱۰- شبیهسازی ۳ ..... ۱۴۷

فصل ۶- نتیجهگیری و پیشنهادات

۶-۱- نتایج مربوط به آموزش پارامترها ۱۵۶

۶-۲- نتایج بخش استخراج ویژگی ۱۵۶
۶-۳- نتایج بخش طبقه‌بندی کننده ۱۵۷
۶-۴- پیشنهادات ۱۵۸

فصل ۷- پیوست آ- توضیحات اضافه

۷-۱- تاریخچه سیستم فازی ۱۶۰
۷-۱-۱- دهه ۱۹۶۰- آغاز تئوری فازی ۱۶۰
۷-۱-۲- دهه ۱۹۸۰- کاربردهای بزرگ ۱۶۱
۷-۱-۳- دهه ۱۹۷۰- تئوری فازی رشد پیدا کرد و کاربردهای عملی ظاهر گردید ۱۶۱
۷-۲- چرا سیستم فازی؟ ۱۶۲
۷-۲-۱- دهه ۱۹۹۰:چالشها کماکان باقی است ۱۶۲
۷-۳- سیستمهای فازی چگونه سیستمهایی هستند؟ ۱۶۳
۷-۴- مثالهایی از سیستمهای فازی موجود در صنعت ۱۶۵
۷-۴-۱- ماشین شستشوی فازی ۱۶۵
۷-۴-۲- تثبیت کننده تصویر دیجیتال ۱۶۵
۷-۴-۳- کنترل فازی کوره سیمان ۱۶۶
۷-۴-۴- کنترل فازی قطار زیرزمینی ۱۶۶

فصل ۸ - پیوست ب- مقالات

فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: بلوک دیاگرام یک سیستم BCI با طبقه‌بندی کننده فازی ۸

شکل ۲-۱: نحوه اثر پتانسیل‌های پیش‌سیناپسی در پتانسیل پس‌سیناپسی (شکل A) و چگونگی جابجایی یونی آن (شکل B)..... ۲۰

شکل ۲-۲: دو نما از قسمت‌های مختلف قشر مغزی و اعمال منتسب به آن‌ها..... ۲۲

شکل ۲-۳: ریتم‌های فرکانسی سیگنال EEG..... ۲۳

شکل ۲-۴: ریتم دلتا ۲۴

شکل ۲-۵: ریتم تتا..... ۲۴

شکل ۲-۶: ریتم آلفا (چپ)، ریتم بتا (راست) ۲۵

شکل ۲-۷: ریتم آلفا(چپ) و ریتم میو (راست)..... ۲۶

شکل ۲-۸: محل قرارگیری الکترودهای Fz، Cz و Pz در استاندارد ۱۰– ۲۰ ..... ۲۷

شکل ۲-۹: سیستم الکترودگذاری ۲۰–۱۰..... ۲۷

شکل ۲-۱۰: سیستم ۱۰–۲ توسعه یافته ۲۸

شکل ۳-۱: بدست آوردن پوش بالا و پایین سیگنال ۳۸

شکل ۳-۲: مراحل الگوریتم EMD..... ۳۸

شکل ۳-۳: محل الکترودهای متقابل در دو نیمکره مغزی..... ۳۹

شکل ۳-۴: نمودار مستطیلی ۴۶

شکل ۴-۱: ساختار پایه یک سیستم فازی..... ۵۴

شکل ۴-۲: ساختار سیستم فازی نوع دوم ۵۷
شکل ۴-۳: (A)و(B) IT2FLS در صورتی که ورودی فازی منفرد باشد ولی استنتاج از نوع غیرمنفرد نوع دوم . (C)و(D) IT2FLS در صورتی که ورودی فازی غیرمنفرد نوع اول باشد و استنتاج از نوع غیرمنفرد نوع دوم . (E)و(F)IT2FLS در صورتی که ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم باشد و استنتاج از نوع غیرمنفرد نوع دوم ۵۸
شکل ۴-۴: به تصویر کشیدن ضرب و مینیمم در سیستم فازی نوع دوم. (A) مجموعه مقدم نوع دوم گوسی برای یک ورودی. عضویت ورودی قطعی X=4 در تابع عضویت اصلی نشان داده شده است. (B) مجموعه تالی متناظر با مجموعه مقدم نشان داده شده در A. (C) مجموعه تالی مقیاس بندی شده برای X=4 با استفاده از استنتاج ضرب. واضح است که تابع عضویت تالی مجموعه تالی متناسب با انحراف معیار درجه عضویت X تغییر میکند. (D) مجموعه تالی برش داده شده برای X=4 با استفاده از استنتاج مینیمم ۶۱
شکل ۴-۵: محتوای TOOLBOX سیستم فازی نوع دوم ۶۴
شکل ۴-۶: محتوای فایل IT2FLS در TOOLBOX سیستم فازی نوع دوم ۶۵
شکل ۵-۷: مثال پروانه ۶۸
شکل ۵-۸: خوشه‌های قطعی در مثال پروانه ۶۹
شکل ۵-۹: درجات عضویت داده‌ها در خوشه سمت چپ مثال پروانه ۶۹
شکل ۵-۱۰: درجات عضویت داده‌ها در خوشه سمت راست مثال پروانه ۶۹
شکل ۴-۱۱: فلوچارت روش بهینه‌سازی پیشنهاد شده ۹۰
شکل ۵-۱: شماتیک زمانی یک جلسه ثبت داده ۹۵
شکل ۵-۲: لیست تمام فایلها شامل دسته داده‌ها، دسته دادههای ارزیابی خط خورده بعد از زمان مسابقه در دسترس قرار خواهند گرفت ۹۵
شکل ۵-۳: شماتیک زمانی نحوه ثبت داده‌ها ۹۵
شکل ۵-۴: (چپ) نحوه قرارگیری الکترودهای EEG متناسب با استاندارد ۱۰-۲۰. (راست) نحوه قرارگیری سه الکترود تک قطبی برای EOG ۹۶
شکل ۵-۵: تفاوت دامنه در دو کانال ۱و۲ مربوط به کلاس فعالیت ذهنی حرکت دست چپ (شکل بالا-چپ)، تفاوت دامنه در دو کانال ۱و۲ مربوط به کلاس فعالیت ذهنی حرکت دست راست (شکل بالا-

راست)، تفاوت دامنه در دو کانال ۱و۲ مربوط به کلاس فعالیت ذهنی حرکت دو پا (شکل پایین- چپ)و تفاوت دامنه در دو کانال ۱و۲ مربوط به کلاس فعالیت ذهنی حرکت زبان (شکل پایین- راست)..... ۱۰۲
شکل ۵-۶: متوسط تفاوت دامنه‌های دو کانالهای مجاوز به ازای هر کلاس فعالیت ذهنی. ۱۰۲
شکل ۵-۷: پراش تفاوت دامنه‌های دو کانالهای مجاوز به ازای هر کلاس فعالیت ذهنی. ۱۰۳
شکل ۵-۸: نرم داده‌های هر کانال به ازای یک آزمایش ۱۰۴
شکل ۵-۹: ماکزیمم دامنه طیف فرکانسی در هر کانال..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۰: بررسی آماری ویژگی ماکزیمم انرژی باند بتا.شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۰۶
شکل ۵-۱۱: بررسی آماری ویژگی ماکزیمم انرژی باند میو. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۰۷
شکل ۵-۱۲: بررسی آماری ویژگی انرژی متوسط باند بتا. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۰۸
شکل ۵-۱۳: بررسی آماری ویژگی انرژی متوسط باند میو. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۰۹
شکل ۵-۱۴: بررسی آماری ویژگی انرژی نسبی باند بتا. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۱۰
شکل ۵-۱۵: بررسی آماری ویژگی انرژی نسبی باند میو. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۱۱
شکل ۵-۱۶: بررسی آماری ویژگی پارامتر خودشباهت به کمک DFA شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۱۲

شکل ۵-۱۷: بررسی آماری ویژگی شباهت مکانی همزمان در تمامی کانالهای متقابل در باند بتا. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان..... ۱۱۷
شکل ۵-۱۸: بررسی آماری ویژگی شباهت مکانی همزمان در تمامی کانالهای متقابل در باند میو. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان..... ۱۱۷
شکل ۵-۱۹: بررسی آماری ویژگی بعد فرکتال پتروشن. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۱۸
شکل ۵-۲۰: بررسی آماری ویژگی بعد فرکتال هیگوچی. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ نمودار مقایسه اولین ترکیب خطی نسبت به دومین ترکیب خطی، شکل سوم مقدار سطح اطمینان. ۱۱۹
شکل ۵-۲۱: بررسی آماری ویژگی آنتروپی EMD. نمودار MANOVA1،..... ۱۲۰
شکل ۵-۲۲: بررسی آماری ویژگی فرکانس وزنیافته. شکل سمت راست نمودار MANOVA1، شکل سمت چپ مقدار سطح اطمینان. ۱۲۰
شکل ۵-۲۳: پاسخ دامنه فیلتر میانگذر ۱۲۲
شکل ۵-۲۴: تنظیمات لازم در FDATOOL برای طراحی فیلتر میانگذر..... ۱۲۲
شکل ۵-۲۵: اعمال فیلتر میانگذر به کانال اول – الکترود Fz – در هر چهار کلاس (شکل بالا سمت چپ مربوط به کلاس دست چپ، شکل بالا سمت راست مربوط به کلاس دست راست، شکل پایین سمت چپ مربوط به کلاس پا و شکل پایین سمت راست مربوط به کلاس زبان است) ۱۲۳
شکل ۵-۲۶: پاسخ فرکانسی یک کانال از سیگنال نسبت به تغییرات درجه فیلتر میانگذر..... ۱۲۴
شکل ۵-۲۷: پاسخ فرکانسی یک کانال از سیگنال به تغییرات محدوده فرکانسی باند بتا..... ۱۲۴
شکل ۵-۲۸: اولین ترکیب خطی ویژگی DFA..... ۱۳۰
شکل ۵-۲۹: ورودی دو بعدی سیستم فازی (اولین دو ترکیب خطی ویژگی همبستگی کانالهای متقابل در باند میو) ۱۳۹
شکل ۵-۳۰: ورودی دو بعدی سیستم فازی (اولین دو ترکیب خطی از ویژگی DFA) ۱۴۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: مقایسه افزایش شرکت کنندگان در سه مسابقه جهانی متوالی BCI ۱۵

جدول ۵-۱: لیست انواع وقایع (ستون اول شامل نوع دهدهی و ستون دوم شامل نوع مبنای ۱۶ میباشد)..... ۹۷

جدول ۵-۲: نتایج مربوط به طبقه‌بندی داده‌های 2A که در چهارمین مسابقه BCI مورد استفاده قرار گرفت ۹۸

جدول ۵-۳: بررسی آماری ویژگی شباهت مکانی در کانالهای متقابل در باند بتا و میو..... ۱۱۳

جدول ۵-۴: تصاویر مربوط به پنج IMF اولیه سیگنال FZ ۱۲۵

جدول ۵-۵: بررسی سطح اطمینان روشهای مختلف استخراج ویژگی..... ۱۲۶

جدول ۵-۶: ترکیب قوانین سیستم فازی نوع دوم بازهای..... ۱۳۱

جدول ۵-۷: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ، TRAINING EPOCK=100)..... ۱۳۲

جدول ۵-۸: بررسی نتایج تغییرات MSE نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=16 ،TRAINING EPOCK=100)..... ۱۳۲

جدول ۵-۹: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی غیرمنفرد نوع اول در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ،TRAINING EPOCK=100) ۱۳۳

جدول ۵-۱۰: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی غیرمنفرد نوع اول در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ،TRAINING EPOCK=100 RULES=16)..... ۱۳۳

جدول ۵-۱۱: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100 ، NUM. OF RULES=4) ۱۳۴

جدول ۵-۱۲: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100، NUM. OF RULES=16) ۱۳۵

جدول ۵-۱۳: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100، NUM. OF RULES=4) ۱۳۵

جدول ۵-۱۴: بررسی نتایج تغییرات MSE نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100، NUM. OF RULES=16) ۱۳۶

جدول ۵-۱۵: بررسی نتایج تغییرات صحت در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (MAX GENERATION=100 ، NUM. OF RULES=4) ۱۳۷

جدول ۵-۱۶: بررسی نتایج تغییرات صحت در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (MAX GENERATION=100 ، NUM. OF RULES=16) ۱۳۷

جدول ۵-۱۷: ترکیب قوانین ۱۳۹

جدول ۵-۱۸: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100 ، NUM. OF RULES=4) ۱۴۰

جدول ۵-۱۹: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100 ، NUM. OF RULES=64) ۱۴۰

جدول ۵-۲۰: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی غیرمنفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100 ، NUM. OF RULES=4) ۱۴۱

جدول ۵-۲۱: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی غیرمنفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (TRAINING EPOCK=100 ، NUM. OF RULES=64) ۱۴۱

جدول ۵-۲۲: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ، TRAINING EPOCK=100) ۱۴۲

جدول ۵-۲۳: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ، TRAINING EPOCK=100) RULES=64 ..... ۱۴۳

جدول ۵-۲۴: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. ، TRAINING EPOCK=100) OF RULES=4 ..... ۱۴۴

جدول ۵-۲۵: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. ، TRAINING EPOCK=100) OF RULES=64 ..... ۱۴۴

جدول ۵-۲۶: بررسی نتایج تغییرات MSE در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ، MAX GENERATION=100) RULES=4 ..... ۱۴۵

جدول ۵-۲۷: بررسی نتایج تغییرات MSE در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ، MAX GENERATION=100) RULES=64 ..... ۱۴۶

جدول ۵-۲۸: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ، TRAINING EPOCK=100) ۱۴۹

جدول ۵-۲۹: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=64 ، TRAINING EPOCK=100) ۱۴۹

جدول ۵-۳۰: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی غیرمنفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ، TRAINING EPOCK=100) .. ۱۵۰

جدول ۵-۳۱: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع اول با ورودی فازی غیرمنفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=64 ، TRAINING EPOCK=100) ۱۵۰

جدول ۵-۳۲: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=4 ، TRAINING EPOCK=100).. ۱۵۱

جدول ۵-۳۳: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF RULES=64 ، TRAINING EPOCK=100)... ۱۵۱

جدول ۵-۳۴: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. ، TRAINING EPOCK=100) OF RULES=4 ..... ۱۵۲

جدول ۵-۳۵: بررسی نتایج تغییرات صحت نسبت به تغییرات گام آموزشی پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی غیرمنفرد نوع دوم در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. ، TRAINING EPOCK=100) OF RULES=64 ..... ۱۵۲

جدول ۵-۳۶: بررسی نتایج تغییرات صحت در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ، MAX GENERATION=100) RULES=4 ..... ۱۵۳

جدول ۵-۳۷: بررسی نتایج تغییرات صحت در روش پیشنهاد شده برای آموزش پارامترهای سیستم فازی نوع دوم بازهای با ورودی فازی منفرد در ۱۰ بار اجرای برنامه (NUM. OF ، MAX GENERATION=100) RULES=64 ..... ۱۵۳