دانشکده برق و رباتیک

گروه الکترونیک

کلاسه‌بندی سیگنال‌های EEG ناشی از تصور حرکتی در کاربردهای BCI بکمک ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس

حبیبه قاهری

استاد راهنما:

دکتر علیرضا احمدی‌فرد

استاد مشاور:

دکتر هادی گرایلو

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتي شاهرود

دانشكده :

گروه :

پايان نامه كارشناسي ارشد آقاي/ خانم .....

تحت عنوان:

در تـاريخ ..... توسـط كميتـه تخصصـي زيـر جهـت اخـذ مـدرک كارشناسـي ارشـد مورد ارزيابي و با درجه ..... مورد پذيرش قرار گرفت.

اساتيد راهنما	امضاء	اساتيد مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگي :		نام و نام خانوادگي :	
نام و نام خانوادگي :		نام و نام خانوادگي :	

اساتيد داور	امضاء	نماينده تحصيلات تكميلي	امضاء
نام و نام خانوادگي :		نام و نام خانوادگي :	
نام و نام خانوادگي :			
نام و نام خانوادگي :			
نام و نام خانوادگي :			

تقدیم با تمام وجود

به پدر و مادرم

سپاس

خداوند عالمیان را

که اوست هدایتگر بی‌همتا

تشکر فراوان از

آقای دکتر احمدی‌فرد

به خاطر زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغشان

و

تمامی آنهایی که مرا راهنمای زندگی بوده‌اند

تعهد نامه

اینجانب ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته .....

دانشکده..... دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه .....

.....تحت راهنمائی.....متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

یکی از موضوعاتی که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است، سیستم-های واسط مغز و رایانه[1] (BCI) می‌باشد. BCI سیستمی است که به کمک سیگنال‌های مغزی نظیر الکتروآنسفالوگرام (EEG) ، ارتباط بین شخص و وسایل جانبی مثل دست مصنوعی را برقرار نماید.

در BCI مبتنی بر تصور حرکتی از شخص خواسته می‌شود تا تصور کند که بخشی از بدن خود را حرکت می‌دهد. در نتیجه تصور حرکت رخدادهایی در مغز اتفاق می‌افتد. وظیفه سیستم BCI این است که این رخدادها را از سیگنال‌های EEG استخراج نموده و براساس آنها نوع حرکت را تشخیص دهد.

هدف از این پایان‌نامه کلاسه‌بندی داده‌های EEG ناشی از چهار نوع تصور حرکتی دست چپ، دست راست، دو پا و زبان در مغز می‌باشد. در این پایان‌نامه از مجموعه 2a از پایگاه داده مسابقه چهارم BCI که در سال ۲۰۰۸ برگزار شده استفاده شده است. در این پایان نامه چهار روش برای کلاسه‌بندی داده‌های این مجموعه داده پیشنهاد شده است.

یکی از موفق‌ترین روش‌ها در تشخیص تصور حرکتی روش CSP[2] می‌باشد. این روش به کمک ماتریس کواریانس داده‌ها در کلاس‌های مختلف فیلترهای فضایی استخراج می‌کند تا داده‌های ورودی را کلاسه‌بندی نماید. مشکل CSP این است که ساختار زمانی سیگنال‌های EEG را در نظر نمی‌گیرد. از طرفی نویز یک نمونه زمانی می‌تواند تأثیر مخربی بر نتیجه این روش داشته باشد.

روش بهبود یافته LTCSP [3]ساختار زمانی داده‌ها را در نظر گرفته و تأثیر نویز در نتیجه آن کمتر از CSP است. این روش اولین بار برای کلاسه‌بندی داده‌های دو کلاسه مطرح شده که در این پایان-نامه توسط تکنیک OVR[4] به مسئله چهار کلاسه تعمیم یافته است.

[1] Brain Computer Interface
[2] Common Spatial Pattern
[3] Local Temporal Common Spatial Pattern
[4] One Versus the Rest

همچنین ما در این پایان‌نامه روشی به نام SEG-CSP-Var پیشنهاد داده‌ایم که در آن ابتدا سیگنال‌های EEG به قطعات زمانی شکسته شده و سپس بر روی هر قطعه زمانی روش CSP اعمال می‌شود. این روش پیشنهادی بطور متوسط نتایج بهتری از روش CSP دارد. نتایج این روش نشان می‌دهد که اهمیت کانال‌ها برای جداسازی کلاس‌ها در قطعات زمانی مختلف متفاوت است.

در روش پیشنهادی دیگر با نام SEG-CSP-BP به جای ویژگی واریانس از توان در باندهای فرکانسی متفاوت به عنوان ویژگی استفاده می‌شود. در این روش از تکنیک گسسته‌سازی چند بازه‌ای به عنوان کلاسه‌بند و از تکنیک رتبه‌بندی ویژگی‌ها به منظور کاهش ابعاد بردار ویژگی استفاده شده است.

عملکرد بهتر روش OVR-SEG-CSP-BP نسبت به روش OVR-CSP، OVR-LTCSP، OVR-SEG-CSP-Var و حتی برنده مسابقه ۲۰۰۸ در کلاسه‌بندی داده‌های EEG چهار کلاسه حاکی از آن است که استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس در کنار هم می‌تواند منجر به نتایج مطلوبی شود. بنابراین در انتهای پایان‌نامه روشی پیشنهاد داده‌ایم که در آن از توزیع زمان-فرکانس کانال‌ها در روش CSP استفاده می‌شود. در این روش تابع چگالی احتمال مؤلفه‌ها در حوزه زمان-فرکانس توسط مخلوط توابع گوسی بدست می‌آید. این روش نیز نتایج بهتری نسبت به روش CSP داشته است.

کلمات کلیدی: واسط مغز و رایانه، سیگنال‌های الکتروآنسفالوگرام، روش CSP، روش LTCSP، الگوریتم OVR، قطعه‌بندی زمانی، گسسته‌سازی چند بازه‌ای در داده‌های با مقادیر پیوسته، تکنیک رتبه‌بندی ویژگی‌ها، مدل مخلوط توابع گوسی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. قاهری ح و احمدی فرد ع.ر، (۱۳۹۰)، "توسعه الگوریتم LTCSP جهت کلاسه‌بندی داده‌های EEG ناشی از تصور حرکتی چهار کلاسه"، هفتمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ۱۳۹۰، ایران، تهران.

2. H. Ghaheri and A.R. Ahmadyfard, (2011), "Local Temporal Common Spatial Patterns for Multi-Class Motor Imagery Classification", SIP 2011, korea. Jeju Island.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- مختصری از ساختار مغز و سیستم اعصاب ۴

۱-۲-۱- نورون ۷

۱-۲-۲- ساختار مغز ۸

۱-۲-۳- امواج مغز در فعالیت‌های طبیعی ۱۴

۱-۲-۴- سیستم ۲۰-۱۰ ..... ۱۶

۱-۳- سیستم‌های BCI ۱۸

۱-۳-۱- قسمت‌های مختلف یک سیستم BCI ۱۸

۱-۳-۱-۱- بدست آوردن سیگنال ۱۸

۱-۳-۱-۲- استخراج ویژگی ۱۹

۱-۳-۱-۳ کلاسه‌بندی ویژگی‌ها ۲۰

۱-۳-۱-۴- وسایل خروجی ۲۲

۱-۳-۱-۵- پروتکل‌های کاربردی ۲۲

۱-۳-۲- BCI های موجود ۲۳

۱-۳-۲-۱- پتانسیل‌های رخداد بینایی ۲۳

۱-۳-۲-۲- پتانسیل‌های آرام کرتکس (SCP) ۲۳

۱-۳-۲-۳- پتانسیل رخداد P300 ..... ۲۴

۱-۳-۲-۴- امواج میو و بتا و سایر فعالیت‌های کرتکس حسی- حرکتی ۲۵

۱-۳-۲-۵- نورون‌های کرتکس ۲۸

۱-۴- موضوع تحقیق ۲۹

فصل دوم: مروری بر روش‌های انجام شده ۳۴
۲-۱- نگاهی به BCI به عنوان یک سیستم شناسایی الگو ۳۵
۲-۱-۱- استخراج ویژگی ۳۶
۲-۱-۲- کلاسه‌بندی ۳۷
۲-۱-۲-۱- کدام کلاسه‌بندها برای کلاسه‌بندی داده‌های EEG مناسبند؟ ۳۷
۲-۲- مروری بر مهمترین تحقیقات انجام شده ۴۱
۲-۲-۱- استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان ۴۱
۲-۲-۱-۱- روش CSP ۴۲
۲-۲-۱-۲- تعمیم CSP به مسئله چند کلاسه ۴۶
۲-۲-۱-۳- روش LTCSP ۵۰
۲-۲-۲- استفاده از ویژگی‌های حوزه فرکانس ۵۵
۲-۲-۳- استفاده از تلفیق ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس ۶۱
فصل سوم: پایگاه داده و روش‌های انجام شده بر روی این داده‌ها ۶۵
۳-۱- پایگاه داده ۶۶
۳-۲- معیار ارزیابی ۶۹
۳-۳- روش و نتایج دو گروه برتر مسابقه ۷۰
۳-۳-۱- گروه برتر مسابقه ۷۰
۳-۳-۲- گروه دوم مسابقه ۷۱
۳-۳-۳- بعد از سال ۲۰۰۸ ..... ۷۲
۳-۴- پردازش اولیه داده‌ها ۷۴
۳-۵- کلاسه‌بند مورد استفاده در روش‌های پیشنهادی ۷۵
۳-۶- اجرای روش CSP متداول بر روی پایگاه داده ۷۶

فصل چهارم: روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان ۷۸
۴-۱- روش پیشنهادی اول: تعمیم روش LTCSP به مسائل چهار کلاسه ۷۹
۴-۱-۱- OVR-LTCSP ۸۰
۴-۱-۱-۱- روند اجرای روش OVR-LTCSP ۸۰
۴-۱-۱-۲- نتایج روش OVR-LTCSP ۸۲
۴-۲- روش پیشنهادی دوم: استفاده از قطعه‌بندی زمانی در روش CSP ۸۵
۴-۲-۱- روش قطعه‌بندی زمانی در CSP برای مسائل دو کلاسه ۸۸
۴-۲-۱-۱- مرحله آموزش ۸۸
۴-۲-۱-۲- مرحله ارزیابی ۹۰
۴-۲-۲- نتایج روش SEG-CSP-Var برای جداسازی دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۹۱
۴-۲-۳- مقایسه نتایج روش SEG-CSP-Var روش CSP معمول ۹۵
۴-۲-۴- تعمیم قطعه‌بندی زمانی در روش CSP به مسائل چهار کلاسه ۹۹
۴-۲-۵- نتایج روش OVR-SEG-CSP-Var در حل مسئله چهار کلاسه ۱۰۰
فصل پنجم: روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان-فرکانس ۱۰۷
۵-۱- روش اول: استفاده از الگوریتم گسسته‌سازی چند بازه‌ای و تکنیک رتبه‌بندی ویژگی‌ها ۱۰۹
۵-۱-۱- گسسته‌سازی چند بازه‌ای برای داده‌های پیوسته ۱۱۰
۵-۱-۲- رتبه‌بندی ویژگی‌ها ۱۱۲
۵-۱-۳- استفاده از تکنیک گسسته‌سازی چند بازه‌ای و رتبه‌بندی ویژگی‌ها برای کلاسه‌بندی دو کلاس تصور حرکتی ۱۱۳
۵-۱-۳-۱- مرحله آموزش ۱۱۴
۵-۱-۳-۲- مرحله ارزیابی ۱۱۶
۵-۱-۴- نتایج روش SEG-CSP-BP برای کلاسه‌بندی دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و راست ۱۱۶

۵-۱-۴- تعمیم روش SEG-CSP-BP به مسئله چهار کلاسه ۱۱۹
۵-۱-۵- نتایج روش OVR-SEG-CSP-BP برای مسئله چهار کلاسه ۱۲۰
۵-۲- استفاده از مدل مخلوط توابع گوسی (GMM) برای تشخیص داده‌های EEG ناشی از تصور حرکتی..... ۱۲۳
۵-۲-۱- مدل مخلوط توابع گوسی (GMM) ۱۲۴
۵-۲-۲- روش CSP-GMM برای کلاسه‌بندی داده‌های EEG دو کلاسه ۱۲۶
۵-۲-۲-۱- مرحله آموزش..... ۱۲۶
۵-۲-۲-۲- مرحله ارزیابی ۱۳۳
۵-۲-۲-۳- نتیجه کلاسه‌بندی دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست..... ۱۳۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده ۱۳۸
نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده..... ۱۳۹
۶-۱- پیشنهاد کار های آینده ۱۴۶
مراجع ۱۴۸

فهرست شکل‌ها

فصل اول: مقدمه

شکل (۱-۱): ساختار نورون [۳] ۷

شکل (۱-۲): سه قسمت اصلی مغز انسان ۹

شکل (۱-۳): لایه های مخ ۱۰

شکل (۱-۴): مسئولیت نواحی مختلف کرتکس حسی – حرکتی [۳] ۱۱

شکل(۱-۵): لب‌های مخ [۳] ۱۲

شکل (۱-۶): نواحی مختلف کرتکس[۳] ۱۳

شکل (۱-۷): سیستم ۲۰-۱۰ [۴] ۱۷

شکل (۱-۸): سیستم ۱۰-۱۰ [۴] ۱۷

شکل(۱-۹): سیستم BCI [۴] ۱۸

شکل (۱-۱۰): نمایشی از پتانسیل‌های SCP برای انتخاب دو حالته [۴] ۲۴

شکل (۱-۱۱ شکل (۱-۱۱): نمونه‌ای از ماتریس حروف در سیستم BCI مبتنی بر P300 [۴] ۲۵

شکل (۱-۱۲): نمونه ای از کاربرد باندهای میو و بتا در حرکت مکان‌نمابه دو جهت بالا و پایین [۴] ۲۶

شکل (۱-۱۳): متوسط توزیع زمان فرکانس کانال‌های C3، C4 و Cz در طول چند آزمایش از یک شخص مربوط به ۴ نوع تصور حرکتی دست چپ، دست راست، دو پا و زبان [۷] ۲۷

فصل دوم: مروری بر روش‌های انجام شده

شکل (۲-۱): نمونه‌ای از فیلترهای فضایی در روش CSP ۴۴

شکل (۲-۲): مرحله ارزیابی در روش SBCSP [۲۵] ۵۶

شکل (۲-۳): مراحل انجام روش FBCSP [۲۶] ۵۷

فصل سوم: پایگاه داده و روش‌های انجام شده بر روی این داده‌ها

شکل (۳-۱): (الف) مکان الکترودهای کانال‌های EOG (ب) مکان الکترودهای EEG در پایگاه داده 2a از مسابقه ۲۰۰۸ ..... ۶۷

شکل (۳-۲): روند اجرای آزمایشات در مجموعه داده 2a از مسابقه ۲۰۰۸ در زمینه BCI [۹] ۶۸

شکل (۳-۳): داده‌های EEG مربوط به تصور حرکتی دست چپ شخص ۱ ..... ۶۸

فصل چهارم: روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان

شکل (۴-۱): روند اجرای مرحله آموزش در روش OVR-LTCSP ۸۱

شکل (۴-۲): روند اجرای مرحله ارزیابی در روش OVR-LTCSP ۸۲

شکل شکل (۴-۳): مقایسه نتایج روش OVR-LTCSP، OVR-CSP و نفرات اول مسابقه چهارم BCI ۸۴

شکل (۴-۴): اسپکتوگرام دو کانال C3 و C4 در سه آزمایش تصور حرکتی دست چپ مربوط به شخص ۱ ..... ۸۶

شکل (۴-۵): (الف) روندنمای اجرای روش SEG-CSP-Var (الف) مرحله آموزش (ب) مرحله ارزیابی ۸۸

شکل (۴-۶): طریقه قطعه‌بندی زمانی در روش SEG-CSP-Var ۸۹

شکل (۴-۷): طریقه بدست آوردن بردار ویژگی برای هر داده EEG در روش SEG-CSP-Var ۹۰

شکل (۴-۸): مقایسه روش SEG-CSP-Var و روش CSP در کلاسه‌بندی داده‌های تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۹۷

شکل (۴-۹): دو فیلتر فضایی اول و آخر مربوط به ۴ قطعه متوالی مرتبط با شخص ۱ در روش قطعه‌بندی زمانی در مسئله دو کلاسه. هر ستون مربوط به یک قطعه است. سطر بالا فیلتر اول و سطر پایین فیلتر دوم مربوط به قطعات است. ۹۸

شکل (۴-۱۰): مقایسه نتایج روش OVR-SEG-CSP-Var، OVR-CSP و دو نفر برتر مسابقه در حل مسئله چهار کلاسه ۱۰۴

فصل پنجم: روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس

شکل (۵-۱): مثالی از گسسته‌سازی چند بازه‌ای برای یک ویژگی ۱۱۲

شکل (۵-۲): روند اجرای مرحله آموزش در روش SEG-CSP-BP ۱۱۵

شکل (۵-۳): مقایسه نتایج روش CSP، SEG-CSP-Var و SEG-CSP-BP در کلاسه‌بندی تصور حرکتی دست چپ و دست راست..... ۱۱۸

شکل (۵-۴): مقایسه نتایج روش‌های OVR-CSP، OVR-SEG-CSP-Var، OVR-SEG-CSP-BP و دو نفر برتر مسابقه ۲۰۰۸ در کلاسه‌بندی داده‌های EEG ناشی از تصور حرکتی چهار کلاسه..... ۱۲۲

شکل (۵-۵): TFD یک کانال فیلتر شده توسط فیلترهای فضایی مربوط به تصور حرکتی دست چپ شخص۱ ..... ۱۲۷

شکل (۵-۶): TFD یک کانال فیلتر شده توسط فیلترهای فضایی مربوط به تصور حرکتی دست چپ شخص۱ بعد از کاهش تعداد نمونه‌های زمانی..... ۱۲۸

شکل (۵-۷): (الف) نمونه‌ای از ماتریس P مربوط به تصور حرکتی دست چپ (ب) شکل (الف) در دو سطح باینری (ج) شکل (الف) در ۵ سطح..... ۱۲۹

شکل (۵-۸): روند اجرای مرحله آموزش روش CSP-GMM..... ۱۳۱

شکل (۵-۹): (الف) PDF تخمین زده شده توسط روش GMM با تعداد ۸ گوسی مربوط به کل داده‌های آموزشی تصور حرکتی دست راست برای شخص ۱. (ب) کانتور شکل (الف)..... ۱۳۲

شکل (۵-۱۰): (الف) PDF تخمین زده شده توسط روش GMM با تعداد ۸ گوسی مربوط به کل داده¬های آموزشی تصور حرکتی دست راست برای شخص ۱. (ب) کانتور شکل (الف)..... ۱۳۲

شکل (۵-۱۱): نتایج روش CSP-GMM، CSP-BP و CSP در کلاسه‌بندی داده‌های EEG دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست..... ۱۳۶

فهرست جدول‌ها

فصل سوم: پایگاه داده و روش‌های انجام شده بر روی این داده‌ها

جدول (۳-۱): ضریب کاپا بدست آمده توسط نفرات برتر مجموعه داده 2a از مسابقه چهارم BCI ۷۰

جدول (۳-۲): نتایج روش پیشنهاد شده در مرجع [۵۳] و مقایسه با نتایج برتر مسابقه ۷۳

جدول (۳-۳): نتایج روش OVR-CSP متداول در مسئله چهار کلاسه ۷۷

فصل چهارم:روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان

جدول (۴-۱): ضرایب کاپا حاصل از روش LTCSP به ازای m، τ و c متغیر مربوط به شخص ۱ ..... ۸۴

جدول (۴-۲): ضریب کاپا ناشی از روش OVR-LTCSP به همراه مقادیر بهینه (m و τ و c) ۸۵

جدول (۴-۳): نتایج روش بازه‌بندی زمانی در CSP به منظور کلاسه‌بندی تصور حرکتی دست چپ و راست ۹۳

جدول (۴-۴): بهترین نتایج برحسب درصد درستی در کلاسه‌بندی به روش قطعه‌بندی زمانی در CSP ۹۶

جدول (۴-۵): نتایج کلاسه‌بندی تصور حرکتی دست چپ و راست مربوط به ۹ شخص به ازای طول بازه ۰/۵ ثانیه وm متغیر در روش CSP ۹۷

جدول (۴-۶): نتایج روش CSP معمول برحسب درصد درستی به ازای طول بازه و m متغیر ۹۷

جدول (۴-۷): نتایج قطعه‌بندی زمانی در روش CSP در مسئه چهار کلاسه ۱۰۲

جدول (۴-۸): بهترین نتایج بدست آمده از قطعه‌بندی زمانی در روش CSP به همراه پارامترهای بهینه آن در کلاسه‌بندی چهار کلاس تصور حرکتی ۱۰۵

فصل پنجم: روش‌های پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس

جدول (۵-۱): جدول (۵-۱): نتایج روش SEG-CSP-BP به ازای طول بازهای متفاوت در کلاسه‌بندی تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۱۱۷

جدول (۵-۲): نتایج سه روش CSP، SEG-CSP-BP، SEG-CSP-Var در کلاسه‌بندی دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۱۱۸

جدول (۵-۳): نتایج روش OVR-SEG-CSP-BP به ازای طول بازه‌های متفاوت در کلاسه‌بندی داده‌های چهار کلاس تصور حرکتی ۱۲۱

جدول (۵-۴): بهترین نتایج بدست آمده از روش OVR-SEG-CSP-BP به همراه طول بازه مربوطه در کلاسه-بندی چهار کلاس تصور حرکتی ۱۲۱

جدول (۵-۵): نتایج روش CSP-GMM به ازای تعداد تابع گوسی متغیر (K) در کلاسه‌بندی داده‌های EEG دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۱۳۵

جدول (۵-۶): نتایج روش CSP-GMM، CSP-BP و CSP در کلاسه‌بندی داده‌های EEG دو کلاس تصور حرکتی دست چپ و دست راست ۱۳۶

لغات و اصطلاحات

AAR	Linear Adaptive Autoregressive
ALS	Amyotrophic Lateral Sclerosis; a form of motor neuron disease
AR	Autoregressive
BCI	Brain Computer Interface
CSP	Common Spatial Pattern
EEG	Electroencephalography; measurement of electrical brain activity
EMG	Electromyography; measurement of electrical muscle activity
EOG	Electrooculargraphy; measurement of electrical ocular activity
ERD	Event Related Desynchronization
ERS	Event Related Synchronization
FBCSP	Filter Bank Common Spatial Pattern
GMM	Gaussian Mixture Models
HMM	Hidden Markov Model
JAD	Joint Approximate Diagonalization
LDA	Linear discriminant analysis
LTCSP	Local Temporal Common Spatial Pattern
MI	Motor Imagery
MIBIF	Mutual Information based Best Individual Feature
MLP	Multi-Layer Perceptron
MSJAD	Multisegment JAD
NBPW	Naïve Bayesian Parzen Window
NMF	Nonnegative Matrix Factorization
OVR	One Versus the Rest
SVM	Support Vector Machine
TFD	Time Frequency distribution
TDNN	Time Delay Neural Network

فصل اول

مقدمه