



به نام خدا



رابطهای مغز و رایانه

BRAIN-COMPUTER
INTERFACES

نیم سال اول ۱۴۰۱-۱۴۰۰

یکشنبه و سه شنبه ۱۵:۳۰-۱۳:۳۰

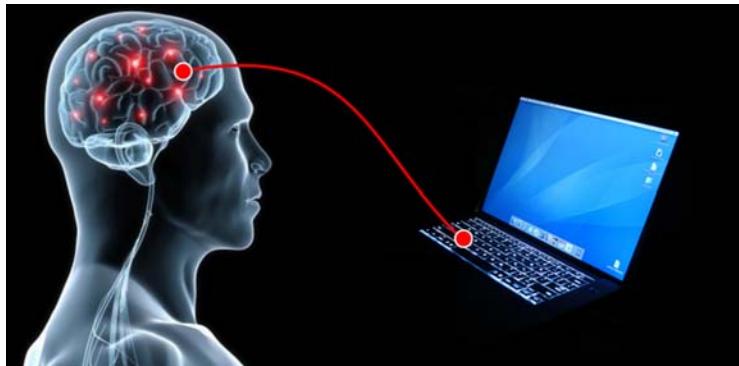
شماره درس: ۲۵۶۳۰

مقدمه



2

- رابطهای مغز-رایانه (BCI):
- سیستم‌هایی برای ترجمه الگوهای فعالیت مغزی کاربر به پیامها یا دستورات متناظر در یک کاربرد تعاملی.
- به طور مثال، یک BCI می‌تواند کاربر را قادر سازد که یک نشانگر را با تصور حرکت دست راست و چپ، روی صفحه به سمت راست یا چپ حرکت دهد.
- مفهوم BCI اولین بار توسط Vidal در ۱۹۷۳ عنوان شد.
- طراحی اولین سیستم BCI بلاذرنگ در دهه ۹۰



رابط مغز-رایانه



3

- دو فاز اصلی طراحی و استفاده از یک سیستم BCI:
- فاز آموزش آفلاین برای کالیبره کردن سیستم
- فاز کاری آنلاین که در آن سیستم الگوهای فعالیت مغزی را تشخیص داده و به دستورات لازم برای کامپیوتر ترجمه می‌کند.

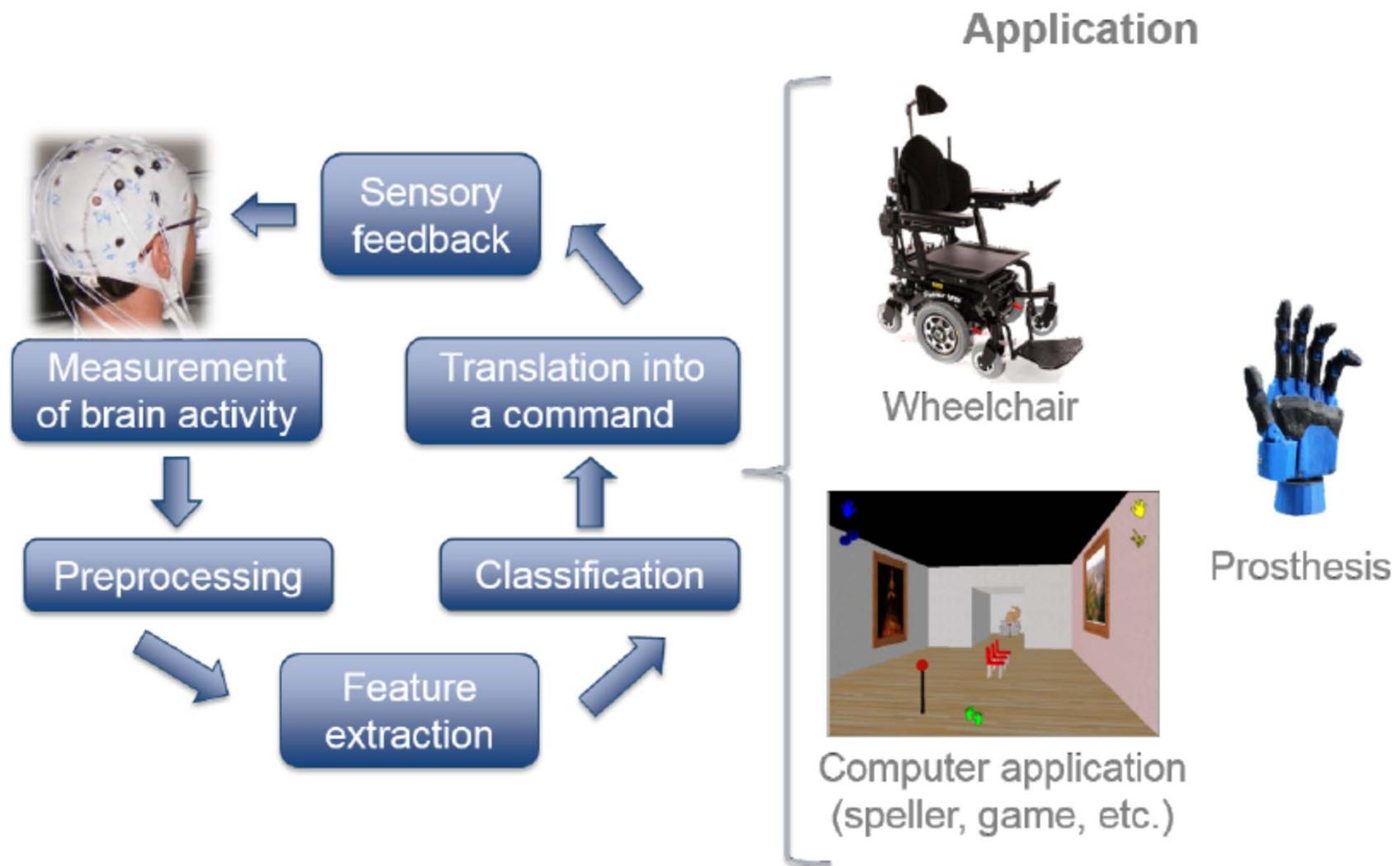


رابط مغز-رایانه



4

یک سیستم BCI آنلайн به صورت یک سیستم حلقه بسته □



رابط مغز-رایانه



5

مرحله آفلاین BCI:

- در این مرحله، الگوریتم طبقه‌بندی کالیبره شده و ویژگی‌های بهینه استخراج می‌شوند.
- برای این کالیبراسیون، نیاز است یک مجموعه داده آموزشی از کاربر ثبت شود.
- در واقع، از آنجا که سیگنال‌های EEG به شدت منحصر به کاربر هستند، بیشتر سیستم‌های BCI کنونی به طور خاص برای هر کاربر کالیبره می‌شوند.
- این مجموعه داده آموزشی بایستی شامل سیگنال‌های EEG ثبت شده از کاربر در حین انجام تکالیف ذهنی مورد نظر باشد که چندین بار بر اساس دستورالعمل‌های داده شده ثبت شده‌اند.
- محققان حوزه BCI به دنبال راه حل‌هایی برای کاهش زمان کالیبراسیون مورد نیاز قبل از راه اندازی BCI هستند.
- در حال حاضر معمولاً مرحله کالیبراسیون برای کارکرد قابل اعتماد یک سیستم BCI لازم بوده و معمولاً به صورت آفلاین انجام می‌شود.

رابط مغز-رایانه



6

□ محدودیت‌های سیستم‌های BCI:

- پایداری و قابلیت اطمینان نسبتاً کم این سیستم‌ها در واقع، بیشتر BCI‌ها به ندرت صحت ۱۰۰٪ دارند.
- برخی کاربرها کاملاً در استفاده از یک نوع از BCI ناتوانند.
- هرچند برخی BCI‌ها در شرایط آزمایشگاهی نسبتاً پایدارند، کارایی آنها در دنیای واقعی، محیط‌های پیچیده، زمان‌های طولانی و زمان‌هایی که کاربر حرکت می‌کند، به شدت کاهش می‌یابد.
- قابلیت اطمینان BCI‌ها زمانی که توسط کاربران معلوم حرکتی استفاده می‌شوند، به شدت کاهش می‌یابد.
- BCI‌ها معمولاً به زمان کالیبراسیون نسبتاً طولانی نیاز دارند و ممکن است به زمان آموزش انسانی طولانی یا بسیار طولانی نیاز داشته باشند.

الگوهای اصلی فعالیت مغزی



7

- سه الگوی اصلی فعالیت مغزی که برای طراحی سیستم‌های BCI مبتنی بر EEG استفاده می‌شوند:
 - سنکرون‌سازی/ناسنکرون‌سازی وابسته به رخداد Event Related Desynchronization/Synchronization
 - پتانسیل‌های وابسته به رخداد Event Related Potentials
 - پتانسیل‌های برانگیخته حالت دائم Steady State Evoked Potentials



سنکرون‌سازی/فاسنکرون‌سازی وابسته به رخداد

8

Event Related Desynchronization/Synchronization (ERD/ERS) □

- رویدادهایی وجود دارند که می‌توانند نوسانات موجود در سیگنال EEG را بلوکه کنند. پتانسیل‌های ناشی از این رویدادها باعث تغییراتی در فرکانس‌های مشخص سیگنال EEG می‌گردند. این تغییرات به صورت افزایش یا کاهش توان در باند فرکانسی مشخص در سیگنال EEG خود را نشان می‌دهند.
- افزایش توان را سنکرون‌سازی وابسته به رخداد (ERS) و کاهش آن را ناسنکرون‌سازی وابسته به رخداد (ERD) می‌نامند.
- یکی از ویژگی‌های اصلی اندازه‌گیری ERD/ERS‌ها در این است که توان سیگنال EEG در فرکانس مشخص به صورت نسبی نسبت به توان همان سیگنال EEG در زمان پایه (چند ثانیه قبل از وقوع رخداد) محاسبه می‌شود.
- از آنجایی که لازم است که زمان مشخصی بگذرد تا تغییرات ناشی از رویداد در سیگنال EEG ایجاد و یا از بین بروند، لازم است که میان دو رویداد متوالی حداقل چند ثانیه سپری شود.

سنگرون سازی / فاسنکرون سازی وابسته به رخداد



9

رویدادهای تولیدکننده :ERD/ERS

انجام تکالیف حرکتی

تصورات حرکتی

تصورات ذهنی

مزایای BCI‌های مبتنی بر ERD/ERS

می‌توانند به صورت طبیعی استفاده شوند. کاربر برای ارسال دستورات کنترلی فقط باید یک تکلیف خاص را تصور کند.

به تحریک حسی خاصی نیاز ندارند. کاربر را قادر می‌سازد که همه توجه حسی‌اش را به فیدبک سیستم BCI معطوف کند.

می‌توانند به صورت خود به خود استفاده شوند، یعنی کاربر می‌تواند تکلیف (و در نتیجه دستور متناظر با آن) را با خواست خود انجام دهد.

سنگرون‌سازی/فاسنگرون‌سازی وابسته به رخداد



10

□ معایب BCI‌های مبتنی بر ERD/ERS:

- نیاز به آموزش قابل توجه در سمت کاربر برای پیدا کردن استراتژی درست تصور که منجر به بیشترین تمایز در ERD/ERS شود.
- برای اطمینان از یک کارایی مناسب، این نوع BCI معمولاً با حداکثر ۳ یا ۴ تکلیف تصورات ذهنی قابل استفاده است. با تعداد تکلیف بیشتر، صحت طبقه‌بندی به شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه کارایی سیستم BCI به شدت کم می‌شود.

پتانسیل‌های وابسته به رخداد



11

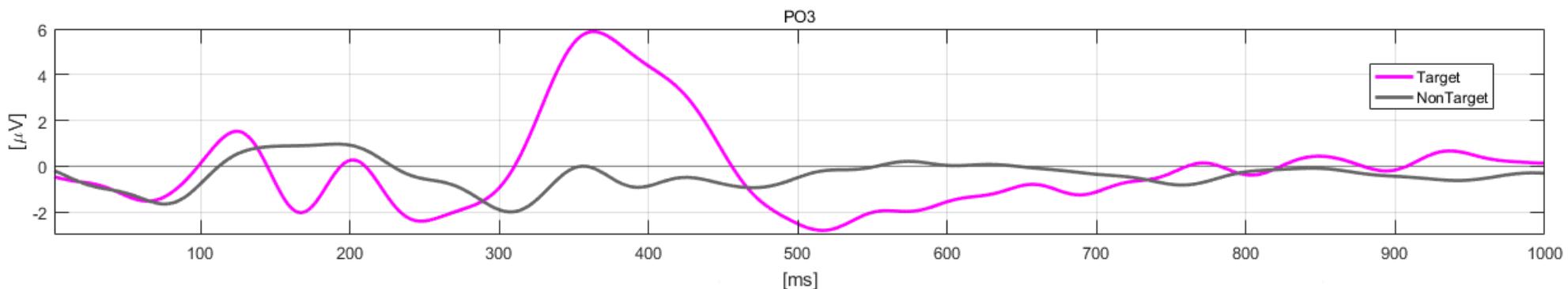
- پتانسیل وابسته به رخداد (Event Related Potential (ERP))
- به سیگنال‌هایی که به طور مرتبط با یک رخداد تولید می‌شوند، پتانسیل‌های وابسته به رخداد می‌گویند.
- دامنه این پتانسیل‌ها در مقایسه با EEG زمینه کوچک است.
- برای بررسی آنها نیاز به افزایش میزان سیگنال به نویز از طریق روش‌های مختلف است.
- معمول‌ترین راه برای استخراج ERP‌ها و تفکیک آنها از EEG، متوسط‌گیری همزمان از سیگنال‌های مغزی ثبت شده طی مرتبه‌های تکرار شده است.
- در این حالت در اثر متوسط‌گیری، EEG با توجه به ماهیت شبکه‌نویزی آن تضعیف شده و سیگنال‌های وابسته به رخداد که همگی با فاز مشابه به هم اضافه شده‌اند، تقویت می‌گردند.

پتانسیل‌های وابسته به رخداد P300



12

- P300 برجسته‌ترین مولفه در بین مولفه‌های شناختی مختلف موجود در ERP فرد است.
- هنگامی که مغز در حین پردازش یک سری تحریکات معمول، به یک تحریک غیرمعمول (تحریک هدف target) برمی‌خورد، در سیگنال مغزی ثبت شده، یک موج P300 ظاهر می‌شود.
- غالباً برای تولید P300 برای فرد مورد آزمایش تکلیف خاصی تعریف می‌شود که در پاسخ به تحریک هدف انجام می‌گیرد؛ مثلاً از وی خواسته می‌شود تا تعداد تحریک‌های غیرمعمول را بشمارد.
- از لحاظ فیزیکی، P300 دارای قطبیت مثبت و تأخیر رخداد P300 بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه است.



پتانسیل‌های وابسته به رخداد



13

مزایای BCI‌های مبتنی بر ERP:

- ERP‌ها پاسخ‌های مغزی هستند که کاربر می‌تواند بدون هیچ آموزش خاصی ایجاد کند.
- ERP‌ها در تأخیرهای کم رخ می‌دهند.

معایب BCI‌های مبتنی بر ERP:

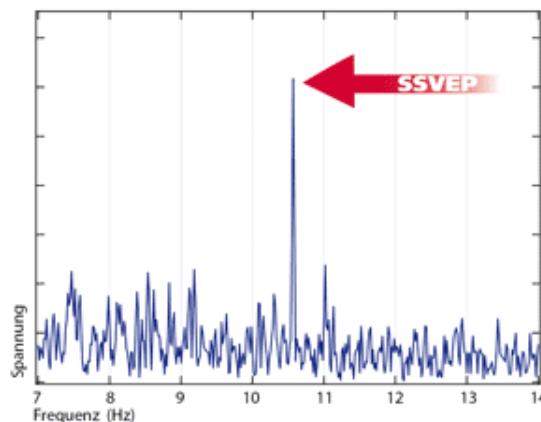
- ERP‌ها دامنه کوچکی دارند و با فعالیت پس‌زمینه مغزی پوشیده شده‌اند که باعث سختی در تشخیص آنها می‌شود.
- تفاوت‌های زیاد بین فردی در شکل موج و تأخیرهای ERP وجود دارد که آموزش سیستم برای تشخیص ERP را اجتناب ناپذیر می‌کند.
- ERP‌ها به رویدادی که در زمان مشخصی رخ می‌دهد قفل شده هستند. پروتکل BCI باستی این نوع تحریک (حسی) را ارائه دهد.

پتانسیل برانگیخته حالت دائم



14

- پتانسیل‌های برانگیخته حالت دائم
- SSVEP یا Steady State Visually Evoked Potentials
- SSAEP یا Steady State Auditory Evoked Potentials
- پاسخ طبیعی مغز به تحریک‌های بینایی یا شنوایی با فرکانس خاص
- نسبت سیگنال به نویز پتانسیل‌های برانگیخته حالت دائم زیاد است: مناسب برای پژوهش‌های مغزی





(Hybrid BCI) ترکیبی های BCI

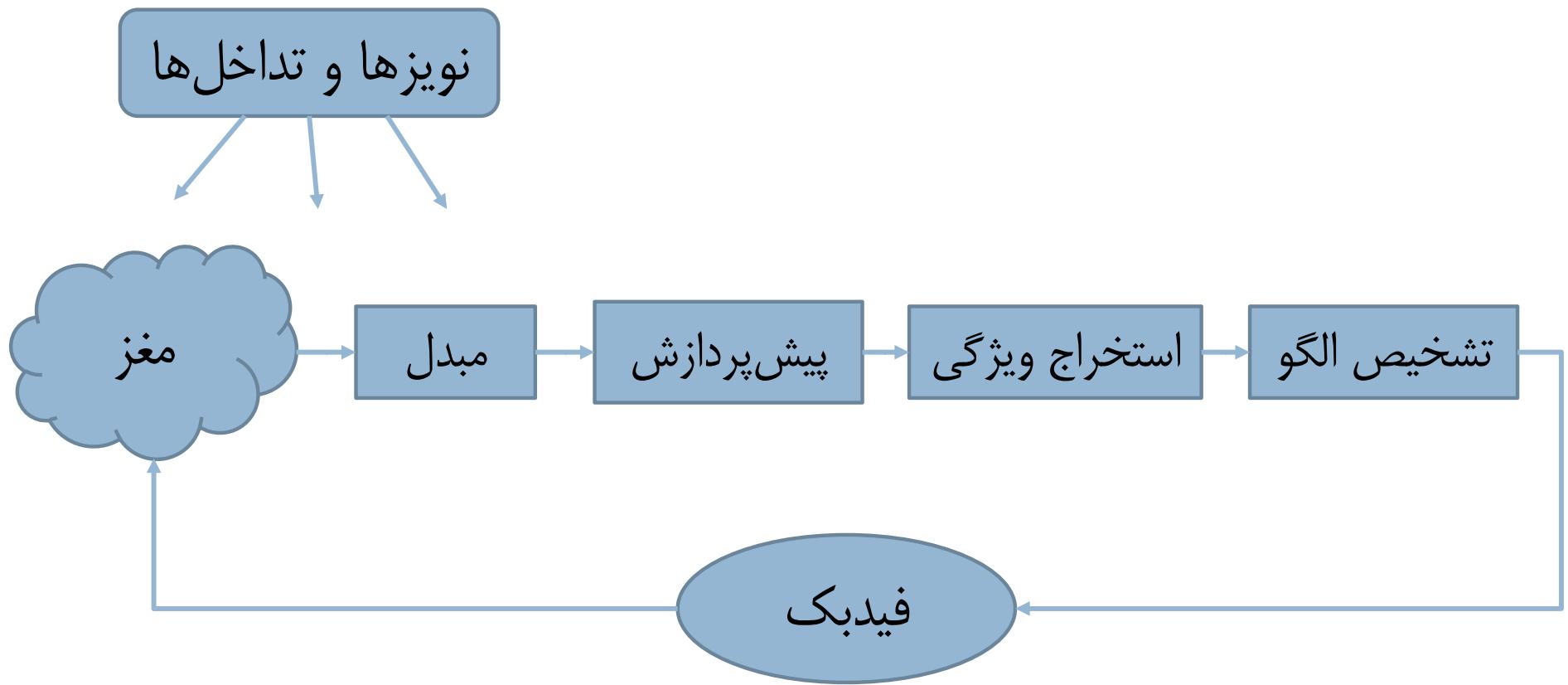
15

- لزومی ندارد الگوهای مختلف EEG که برای راهاندازی سیستم BCI استفاده می‌شوند، به تنها‌ای استفاده شوند.
- BCI‌های ترکیبی:
 - استفاده از ترکیب الگوهای P300، SSVEP، ERD/ERS و
 - ترکیب الگوهای EEG با دیگر سیگنال‌های حیاتی مانند فعالیت ماهیچه‌ها (EMG) یا حرکت چشم‌ها

طراحی BCI‌های مبتنی بر EEG



16





طراحی BCI‌های مبتنی بر EEG

17

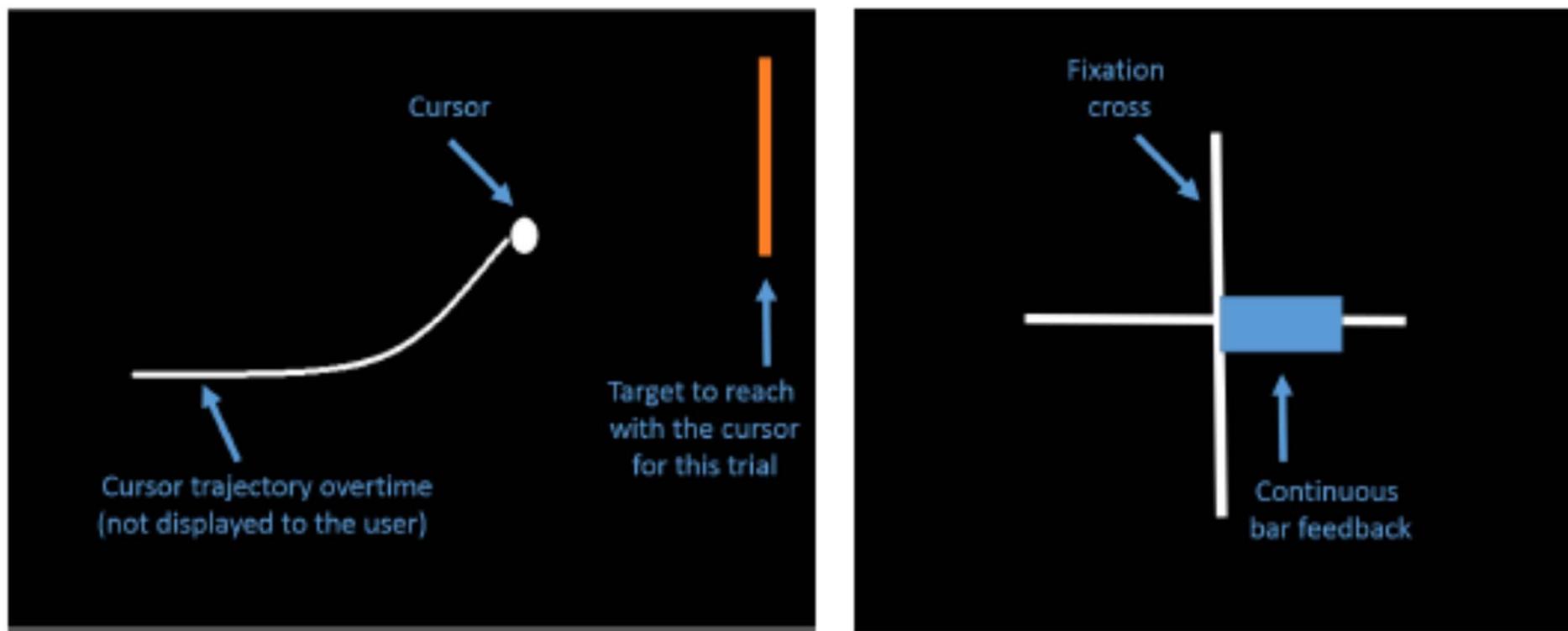
- پیش‌پردازش
- حذف نویز و آرتیفکت‌ها
- نمایش در حوزه زمان، فرکانس و فضا
- استخراج ویژگی
- وابسته به الگوی استفاده شده در BCI
- تشخیص الگو
- طبقه‌بندی
- ارزیابی
- فیدبک

طراحی BCI‌های مبتنی بر EEG



18

فیدبک



کاربردهای BCI



19

- سیستم‌های هجی‌کننده حروف یا speller‌ها
- جایگزین فعالیت حرکتی
- توانبخشی سکته مغزی
- اختلال آگاهی
- بازی و واقعیت مجازی
- نظارت بر وضعیت ذهنی و BCI غیرفعال



سیستم‌های هجی‌کننده حروف یا Speller‌ها

20

- تایپ حروف و جملات بدون استفاده از کنترل ماهیچه‌ها
- مناسب به عنوان راه ارتباطی افراد معلول
- انواع Speller‌ها:
 - مبتنی بر P300
 - مبتنی بر SSVEP
 - مبتنی بر تصورات حرکتی



معیار ارزیابی سیستم هجی کننده

21

صحت (accuracy) □

تعداد کاراکترهایی که به درستی تشخیص داده شده‌اند نسبت به کل تعداد کاراکترهای ارائه شده.

نرخ انتقال اطلاعات (ITR) □

میزان اطلاعاتی که سیستم در یک دقیقه می‌تواند انتقال دهد (بر حسب بیت بر دقیقه).

$$ITR = \frac{\log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \frac{1 - P}{N - 1}}{T}$$

تعداد کلاس‌ها: N □

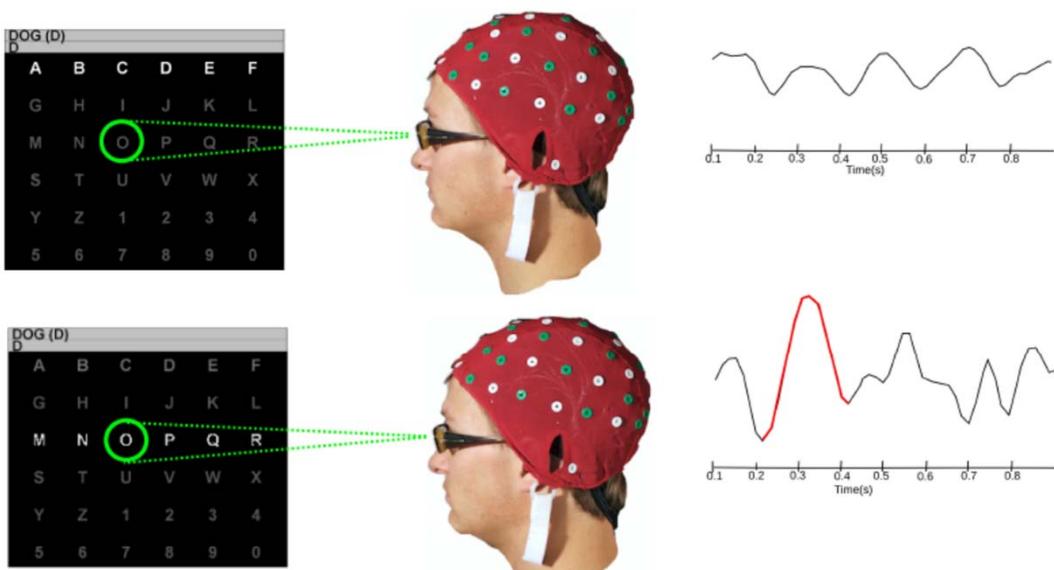
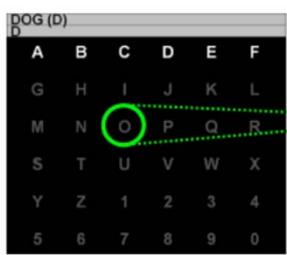
صحت طبقه‌بندی: P □

زمان مورد نیاز برای انجام آزمایش: T □

P300-speller



22



P300 Matrix Speller □

Farwell and Donchin, 1988 □

در این ماتریس همه سطرها و ستون‌ها به صورت تصادفی یک بار روشن می‌شوند. زمان تحریک هر یک از این سطر و ستون‌ها ۱۰۰ میلی‌ثانیه می‌باشد و بین هر دو تحریک ۷۵ میلی‌ثانیه زمان استراحت وجود دارد.

روشن شدن سطر و ستون‌ها ۱۵ بار تکرار می‌شود.

با میانگین‌گیری روی ۱۵ بار تکرار،

P300 قوی‌تری ظاهر می‌شود.

L. Farwell, and E. Donchin. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials, 1988.

P300-speller



23



مزایا:

- سرعت بالا
 - تعداد کاراکتر زیاد
 - به آموزش خاصی نیاز ندارد.
- معایب:

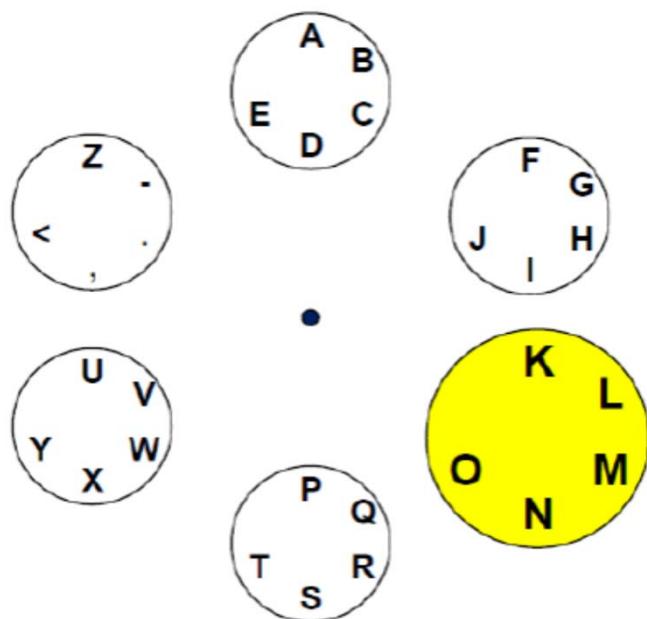
- انتخاب کاراکترها به حرکات چشم و قدرت بینایی شخص وابسته است: **Gaze dependent**
- برای بیماران با عارضه بینایی دنبال کردن تغییرات سطر و ستون امکان‌پذیر نیست.
- راه حل: ۱) تغییر نوع تحریک از بینایی به شنوازی یا حسی حرکتی، و ۲) تغییر الگوی تحریک.

P300-speller



24

الگوی Hex-o-spell



- الگوی Hex-o-spell
- کاراکترها در وجه یک شش ضلعی واقع شده‌اند.
- انتخاب کاراکتر از طریق یک فرایند دو مرحله‌ای انجام می‌شود.
- خانه‌های شش وجهی به صورت تصادفی روشن می‌شوند.
- به منظور افزایش دقت روشن شدن این خانه‌ها چندین بار تکرار می‌شود تا خانه شامل کاراکتر هدف تشخیص داده شود.

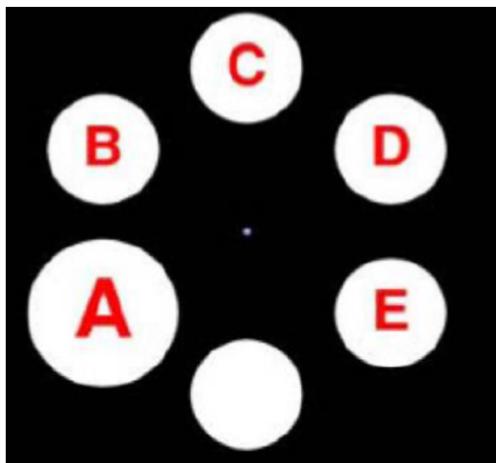
M. S. Treder and B. Blankertz, (C) overt attention and visual speller design in an ERP-based brain-computer interface, 2010.

P300-speller



25

الگوی Hex-o-spell



- در مرحله دوم بعد از این که خانه هدف مشخص شد، کاراکترهای داخل آن به صورت جدا روشن می‌شوند.
- وجود یک کاراکتر خالی: این قابلیت را به کاربر می‌دهد تا در صورتی که خانه شامل کاراکتر اشتباه انتخاب شود، بتواند به مرحله اول بازگردد.



P300-speller

26

- الگوی (Rapid Serial Visual Presentation) RSVP
- نمایش تحریک‌های بینایی با نرخ بالا که در آن برانگیختن مؤلفه P300 و تشخیص هدف وابسته به قدرت و تمرکز بینایی کاربر نمی‌باشد.
- کاربردها:
 - RSVP keyboard
 - RSVP image search

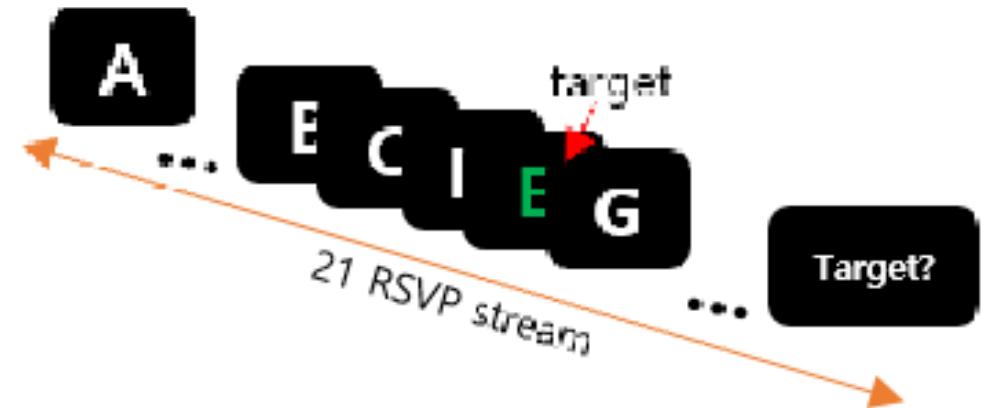
P300-speller



27

الگوی RSVP Keyboard

- یک رشته از کاراکترها یکی یکی در وسط صفحه نمایش ظاهر می‌شوند.
- کاراکترها به صورت تصادفی چندین بار (۱۰ بار) نمایش داده می‌شوند.



L. Acqualagna and B. Blankertz, Gaze-independent BCI-spelling using rapid serial visual presentation (RSVP), 2013.

P300-speller



28

الگوی RSVP image search

جستجوی تصویر و انتخاب تصویر هدف از میان یک رشته طولانی تصویر



A. D. Gerson, L. C. Parra, and P. Sajda, Cortically coupled computer vision for rapid image search, 2006.

P300-speller



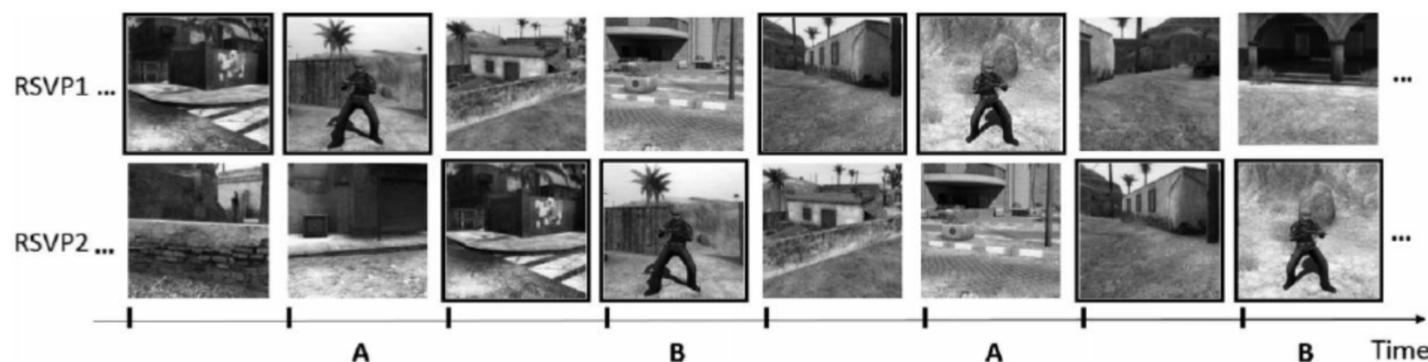
29

الگوی Multi RSVP

Dual RSVP

Triple RSVP

در الگوی Dual RSVP به جای آنکه رشته‌های تصویر پشت سر هم به صورت سری نمایش داده شوند، برای جلوگیری از تکرار آزمایش دو رشته تصویر مانند شکل زیر مرتب می‌شوند. سپس تصویر اول، تصویر دوم و.... تصویر آخر هر دو رشته همزمان در یک قاب نشان داده می‌شود.



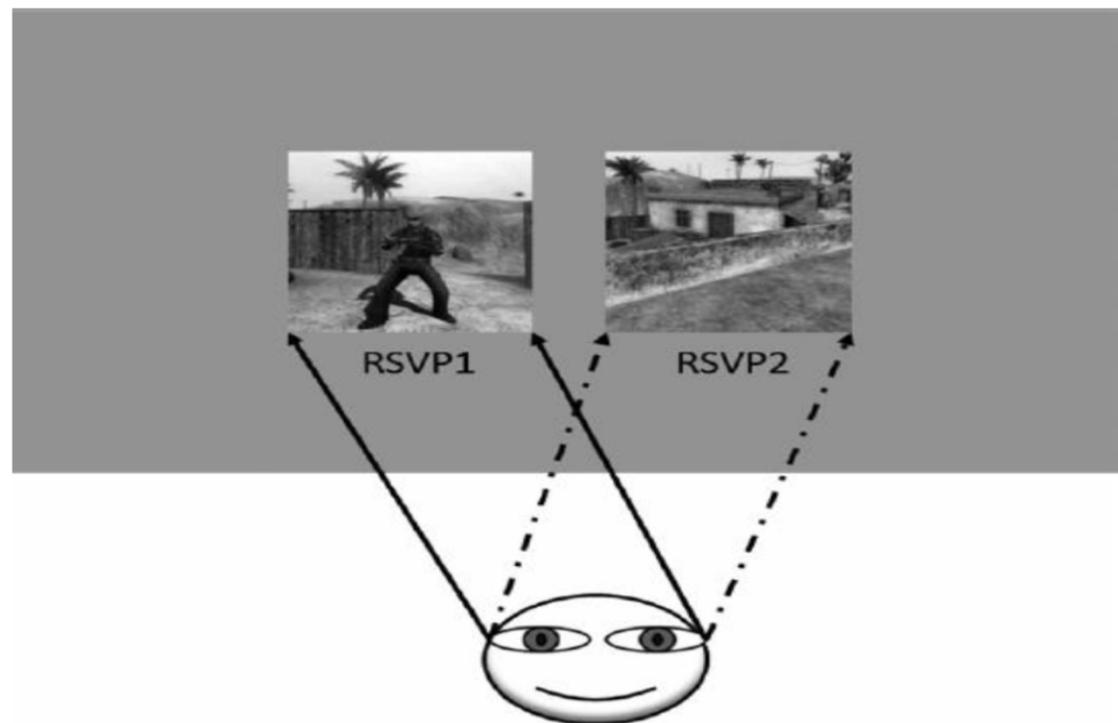
H. Cecotti, Single-trial detection with magnetoencephalography during a dual-rapid serial visual presentation task, 2016.

P300-speller



30

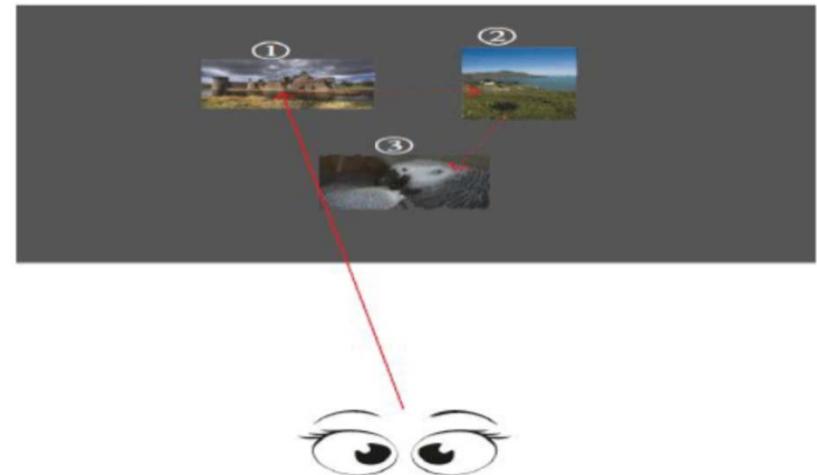
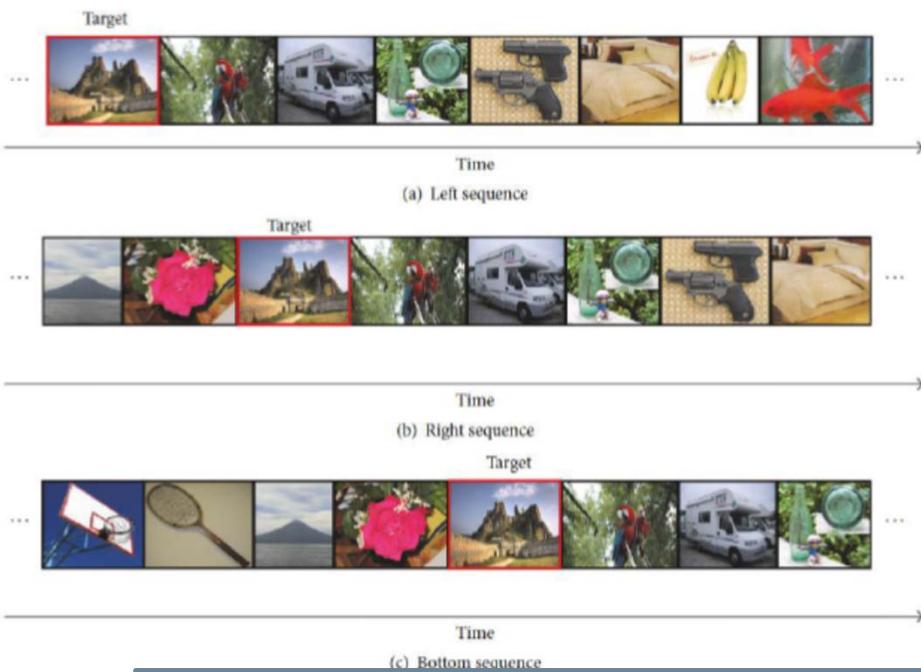
□ در الگوی Dual RSVP به صورت شکل زیر از کاربر خواسته می‌شود که در ابتدا نگاهش را به تصویر سمت چپ متمرکز کند و به محض مشاهده تصویر هدف به تصویر سمت راست توجه کند و دوباره بعد از دیدن تصویر هدف به تصویر سمت چپ نگاه کند. در واقع در این آزمایش به جای آنکه یک رشته تصویر دوبار نمایش داده شود این دو رشته تصویر طبق یک الگوی جدید با هم نمایش داده شده و زمان آزمایش تقریباً نصف می‌شود.



P300-speller

31

- در الگوی Triple RSVP سه رشته تصویر وجود داد که رشته دوم با تاخیر از رشته اول و رشته سوم با تاخیر از رشته دوم قرار می‌گیرد.
- در هر لحظه سه تصویر در یک قاب نشان داده شود که از کاربر خواسته می‌شود ابتدا به تصویر سمت چپ نگاه کند، بعد از دیدن هدف به تصویر سمت راست تمرکز کند و پس از دیدن هدف در سمت راست به تصویر پایین خیره شود. در نهایت دوباره به تصویر سمت چپ متمرکز شود.



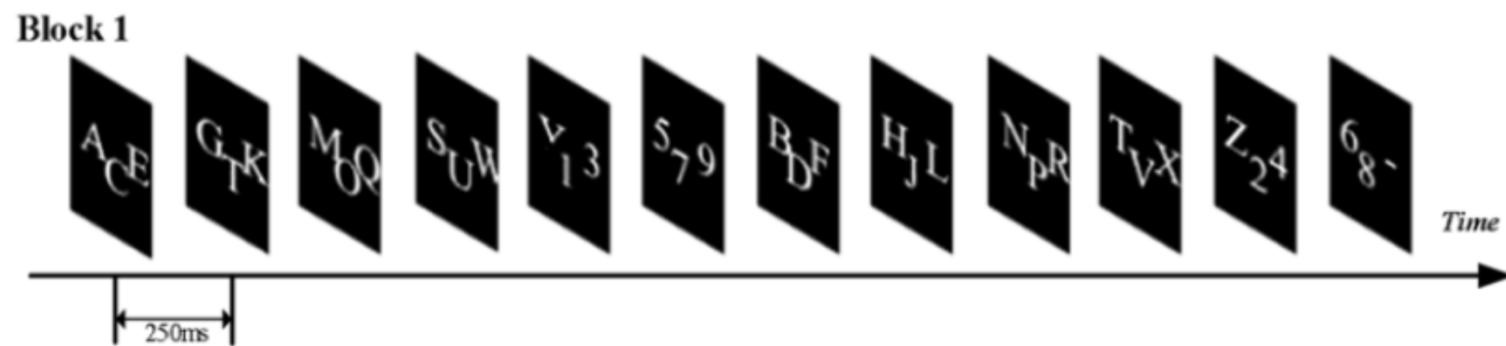
Z. Lin, et al., Multirapid Serial Visual Presentation Framework for EEG-Based Target Detection, 2017.

P300-speller



32

- الگوی دیگری از Triple RSVP برای طراحی اسپلر
- افزایش سرعت نسبت به RSVP Keyboard
- نمایش تحریک‌ها در ابعاد خیلی کوچک در حد صفحه یک گوشی یا ساعت هوشمند
- الگوی تحریک‌ها در ابعاد خیلی کوچک در حد صفحه یک گوشی یا ساعت هوشمند
- نمایش تحریک‌ها در ابعاد خیلی کوچک در حد صفحه یک گوشی یا ساعت هوشمند
- الگوی تحریک Single RSVP شبیه Triple RSVP است با این تفاوت که در هر لحظه به جای یک کاراکتر سه کاراکتر در یک تصویر نشان داده می‌شود.



Z. Lin, et. al., A novel P300 BCI speller based on the Triple RSVP paradigm, 2018.

P300-speller



33

□ در هر رشته از نمایش کاراکترها، ۳۶ کاراکتر به ۱۲ تصویر سه‌تایی تقسیم می‌شوند:

Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Block1	ACE	GIK	MOQ	SUW	Y13	579	BDF	HJL	NPR	TVX	Z24	68-
Index	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Block2	ADG	JMP	SVY	258	BEH	KNQ	TWZ	369	CFI	LOR	UX1	47-
Index	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Block3	AMY	BNZ	CO1	DP2	EQ3	FR4	GS5	HT6	IU7	JV8	KW9	LX-

□ این ۱۲ تحریک با فرکانس ۴ هرتز (۲۵۰ میلی ثانیه) به صورت تصادفی در وسط نمایشگر نمایش داده می‌شوند.

□ نمایش کاراکترها تا ۳ بار تکرار می‌شود و اگر در یک تصویر یک کاراکتر در سمت چپ یا راست تصویر بوده در سایر تکرارها نیز باید در همان موقعیت قبل باشد.

□ هیچ دو کاراکتری نباید در تحریک‌ها کنار هم تکرار شوند.

P300-speller



34

□ در هر رشته از نمایش کاراکترها، ۳۶ کاراکتر به ۱۲ تصویر ۳تایی تقسیم می‌شوند:

Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Block1	ACE	GIK	MOQ	SUW	Y13	579	BDF	HJL	NPR	TVX	Z24	68-
Index	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Block2	ADG	JMP	SVY	258	BEH	KNQ	TWZ	369	CFI	LOR	UX1	47-
Index	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Block3	AMY	BNZ	CO1	DP2	EQ3	FR4	GS5	HT6	IU7	JV8	KW9	LX-

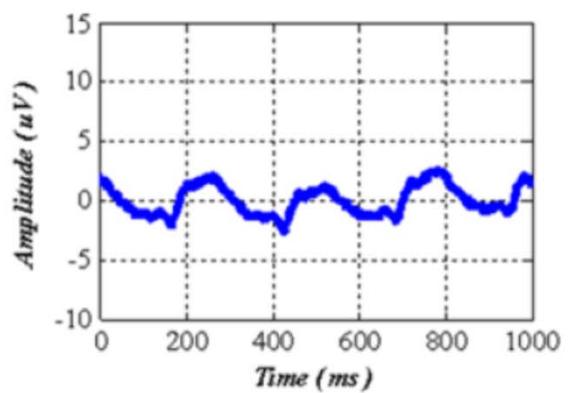
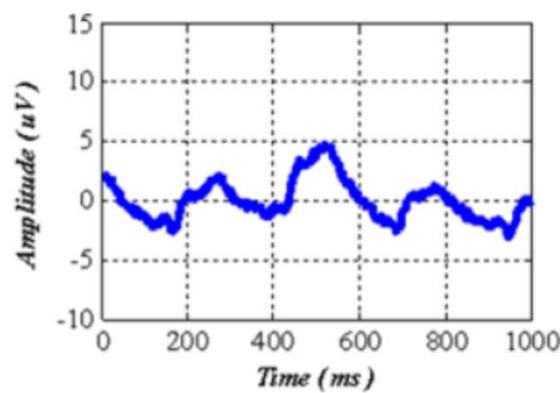
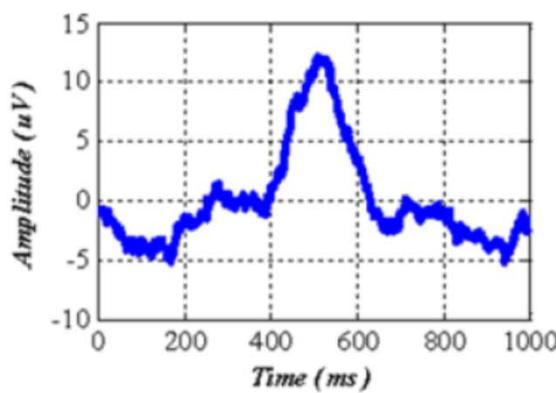
□ برای مثال اگر سه حرف «ACE» در یک تحریک به ترتیب بیان شده کنار هم ظاهر شدند، در سایر تحریک‌ها حرف «A» باید در سمت چپ باشد، حرف «C» وسط و حرف «E» سمت راست ظاهر شود. از طرفی این سه حرف در هیچ تکراری نباید با هم نمایش داده شوند.

P300-speller



35

- از چپ به راست به ترتیب میانگین‌گیری سیگنال مربوط به کاراکترهای هدف، کاراکترهایی که در یکی از سه تحریک با کاراکتر هدف همراه بوده و کاراکترهای غیرهدفی که با کاراکتر هدف نمایش داده نشده‌اند:

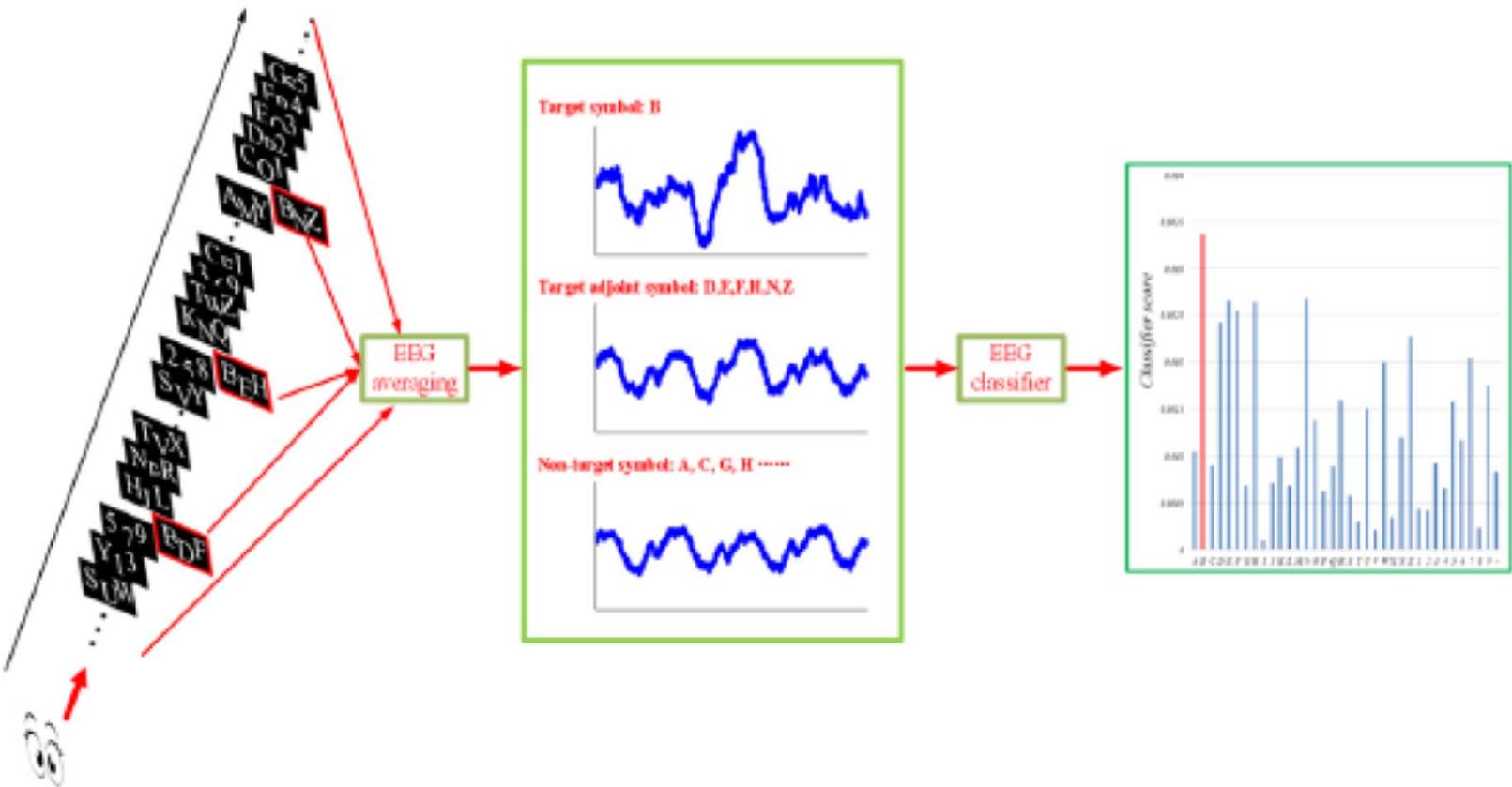


P300-speller



36

نحوه انتخاب کاراکتر هدف: □





P300-speller

37

- استفاده از تحریک شنوایی
- بررسی کارآمد بودن استفاده از صدای طبیعی در P300 Speller
- بررسی تاثیر اضافه کردن نشانه‌های بصری در عملکرد نهایی سیستم
- دو گروه را برای آزمایش در نظر گرفتند؛ یک گروه تنها تحریک‌های شنوایی دریافت می‌کردند و گروه دوم در جلسات اول به صورت همزمان تحریک‌های شنوایی و بینایی دریافت می‌کرد و بعد از مدتی تحریک بینایی به تدریج حذف می‌شد و در آخر تحریک‌ها فقط به صورت شنوایی پخش می‌شدند.
- ماتریس 6×6 مربعی شامل کاراکترها و اعداد انگلیسی
- برای سادگی عمل هجی کردن ابتدا ستون‌ها تحریک می‌شدند و شرکت‌کننده‌ها باید ستون هدف را انتخاب می‌کردند و سپس سطرها تحریک می‌شدند و سطر هدف انتخاب می‌شد.

D. Klobassa, et. al., Toward a high-throughput auditory P300-based brain–computer interface, 2009.

P300-speller



38

- برای تحریک سطر و ستونها از ۶ صدای طبیعی (ناقوس، باس، زنگ، ضربه، زه و وزوز) استفاده شده بود. برای انتخاب هر سطر یا ستون، شش تحریک به صورت تصادفی در یک جمله پخش می‌شدند.
- شرکت‌کننده باید به تحریک هدف توجه می‌کرد و باقی تحریک‌ها را نادیده می‌گرفت. در اولین جلسه ۸ جمله برای انتخاب ستون و ۸ جمله برای انتخاب سطر پخش می‌شد در نتیجه هر انتخاب به ۹۶ تحریک نیاز داشت.
- در جلسات اول تفاوت معناداری بین دو گروه وجود داشت که می‌توان علت آن را استفاده از تحریک بینایی در گروه دوم دانست، در جلسات آخر که برای هر دو گروه تنها تحریک شنوایی پخش شد صحت تقریباً برابر بود.
- همچنین گروه اول (فقط شنوایی) صحت بهتری در جلسات نهایی نسبت به جلسات اول بدست آورد.

P300-speller



39

- استفاده از تحریک شنوازی برای ایجاد پتانسیل P300
- استفاده از ماتریس 5×5 شامل حروف الفبا (به جز z)
- صدای ضبط شده اعداد ۱ تا ۵ برای تحریک سطرها و ۶ تا ۱۰ برای تحریک ستون‌ها پخش می‌شدند.
- برای سهولت انتخاب از ماتریس کمکی بینایی استفاده شده بود تا فرد شماره هر تحریک را بداند و این ماتریس کمکی در طی آزمایش چشمک نمی‌زد.
- برای انتخاب یک حرف، شرکت‌کننده ابتدا باید سطر هدف و سپس ستون هدف را انتخاب می‌کرد.
- تحریک توسط دو بلندگو که در رو به روی شرکت‌کننده قرار داشتند، پخش می‌شد.

A. Kübler, et. al., A brain–computer interface controlled auditory event-related potential (P300) spelling system for locked-in patients, 2009.



P300-speller

40



A. Kübler, et. al., A brain-computer interface controlled auditory event-related potential (P300) spelling system for locked-in patients, 2009.

P300-speller



41

- ارائه الگویی جدید برای نمایش تحریک‌ها در ماتریس هجی‌کننده (مقایسه با مدل Farwell و (Donchin
- برای ارزیابی بهتر مدل ارائه شده، آزمایش در دو حالت انجام شد:
- آزمایش اول: بررسی حالت رفتاری مدل تا مشخص شود کدام ویژگی‌های شنوایی در تعیین صدای هدف موثر هستند.
- آزمایش دوم: بررسی سیگنال‌های مغزی در سه نوع BCI بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی

A. Belitski, J. Farquhar, and P. Desain, P300 audio-visual speller, 2011.

P300-speller



42

آزمایش رفتاری:

قرار گرفتن شش بلندگو به صورت نیم دایره روبروی شرکت کننده

هر فرد باید با شنیدن صدای هدف که در جمله‌ای از صدای‌های تصادفی پخش می‌شد کلیدی را فشار می‌داد.

تعیین بهترین حالت پخش تحریک‌ها: زمان عکس‌العمل و تعداد هدف‌های از دست‌رفته

عددی خوانده شده از یک بلندگو پخش می‌شدند.

عددی خوانده شده از شش بلندگو پخش می‌شدند.

عددی خوانده شده در فرکانس‌های متفاوت از یک بلندگو پخش می‌شدند.

عددی خوانده شده در فرکانس‌های متفاوت از شش بلندگو پخش می‌شدند.

P300-speller



43

- آزمایش EEG □
- ارائه تحریک‌ها به صورت ماتریس 6×6 □
- ابتدا ستون‌ها و سپس سطرها انتخاب می‌شدند. □
- به منظور کارآمد کردن تحریک‌ها در حالت بینایی-شنوایی بعد از تعیین ستون هدف ماتریس تحریک ۹۰ درجه می‌چرخید و در نتیجه جای سطرها و ستون‌ها عوض می‌شد. این عمل باعث می‌شد فرد تنها با تمرکز بر ستون‌ها کاراکتر هدف را پیدا کند. □

(A)

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	?	!	*	*
<	>	-	:	/	~

(B)

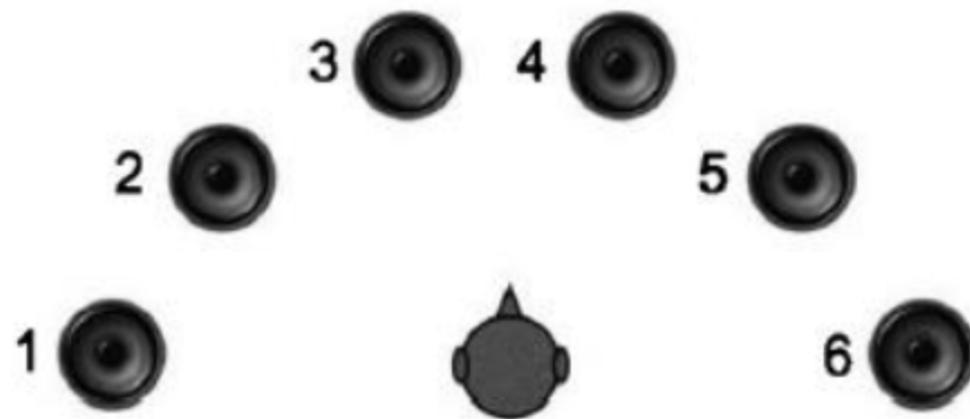
A	G	M	S	Y	<
B	H	N	T	Z	>
C	I	O	U	?	-
D	J	P	V	!	:
E	K	Q	W	.	/
F	L	R	X	,	~

P300-speller



44

- در حالت بینایی تحریک‌ها به صورت فلش زدن سطر و ستون‌ها بودند که تحریک‌ها به مدت ۱۰۰ میلی‌ثانیه روشن و ۱۰۰ میلی‌ثانیه خاموش می‌شدند.
- در حالت شنوازی زمان پخش تحریک‌ها بین ۲۰۰ تا ۲۷۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشید.
- در تحریک شنوازی گاهی اوقات صدای یک تحریک با تحریک بعدی همپوشانی داشت.



P300-speller



45

□ ارزیابی چهار نوع تحریک:

□ **Classic Visual Matrix Speller**: استفاده از الگوریتم ارائه شده در کار Farwell و Donchin که ابتدا سطرها و سپس ستون‌ها نمایش داده می‌شدند.

□ **Visual (V)**: تحریک‌ها به صورت بینایی نمایش داده می‌شدند و پس از انتخاب ستون هدف، ماتریس ۹۰ درجه می‌چرخید تا سطر هدف انتخاب شود.

□ **Audiovisual (AV)**: تحریک‌ها به صورت شنوازی و بینایی بودند و هر بار پس از انتخاب ستون هدف، برای انتخاب سطر ماتریس ۹۰ درجه می‌چرخید. تحریک‌های شنوازی ۵۰ میلی‌ثانیه قبل از شروع تحریک بینایی پخش می‌شدند زیرا که در حالت شنوازی مولفه P300 با تأخیر بیشتری نسبت به حالت بینایی رخ می‌دهد.

□ **Audio (A)**: اعداد ۱ تا ۶ مطابق با ترتیب قرارگیری بلندگوها ابتدا برای انتخاب ستون هدف و سپس برای انتخاب سطر هدف پخش می‌شدند، همچنین از یک ماتریس کمکی برای یادآوری شماره سطر و ستون‌ها استفاده شده بود.

P300-speller



46

- استفاده از تحریک‌های شنوازی فضایی
- استفاده از تن‌های فرکانس پایین و نویز فیلترشده در رنج فرکانسی بالا برای ایجاد تحریک‌ها

Direction	Base tone (Hz)	Noise range (KHz)
1	762	3.6–9.2
2	528	3.2–8.0
3	1099	4.0–10.5
4	635	3.4–8.6
5	915	3.8–9.8
6	440	3.0–7.5

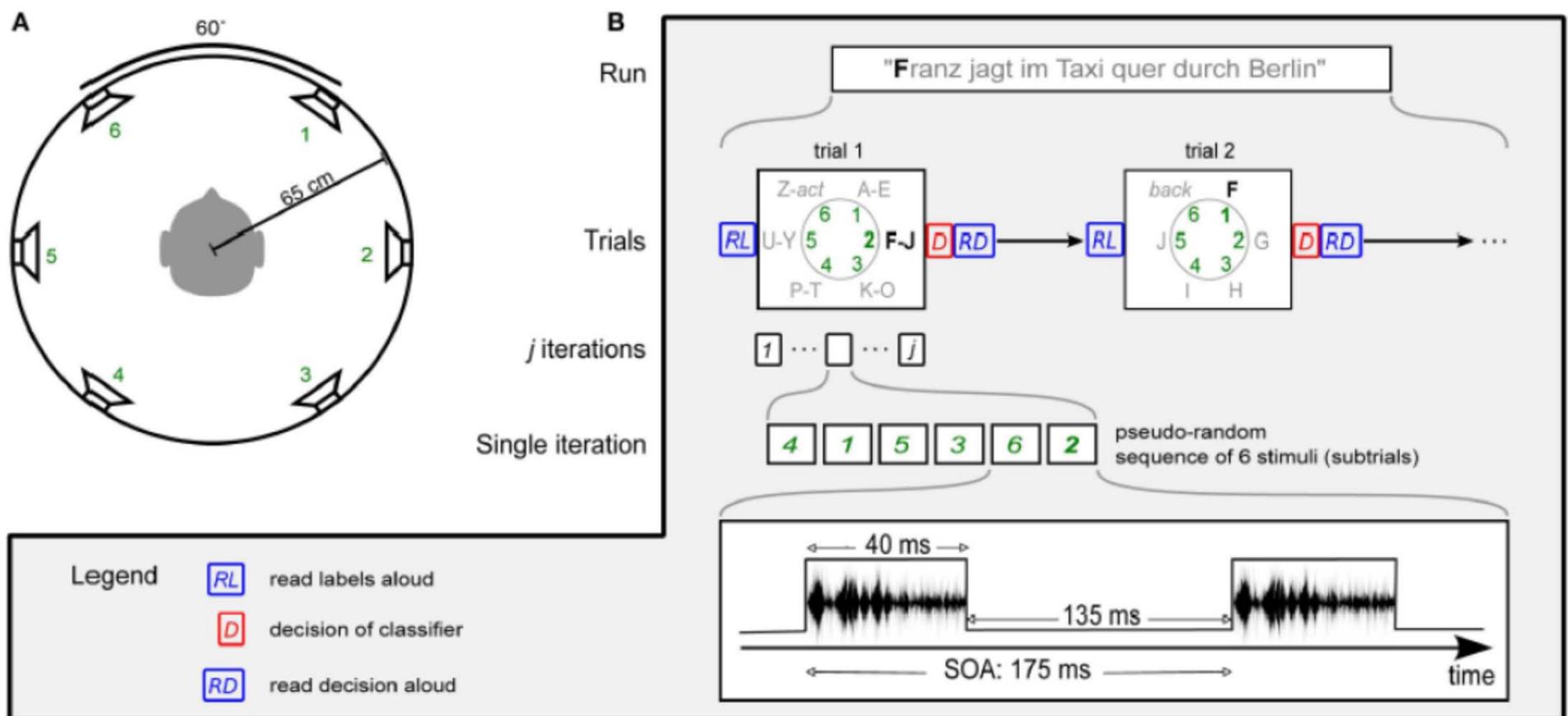
- شرکت‌کنندگان باید بر روی یک صندلی که در مقابل یک نمایشگر قرار داشت می‌نشستند که اطراف صندلی توسط ۶ بلندگو با زاویه ۶۰ درجه احاطه شده بود. برای هر بلندگو تحریک فرکانسی متفاوت مطابق با جدول بالا در نظر گرفته شد.

M. Schreuder, B. Blankertz, and M. Tangermann. A new auditory multi-class brain-computer interface paradigm: spatial hearing as an informative cue, 2010.

P300-speller



47

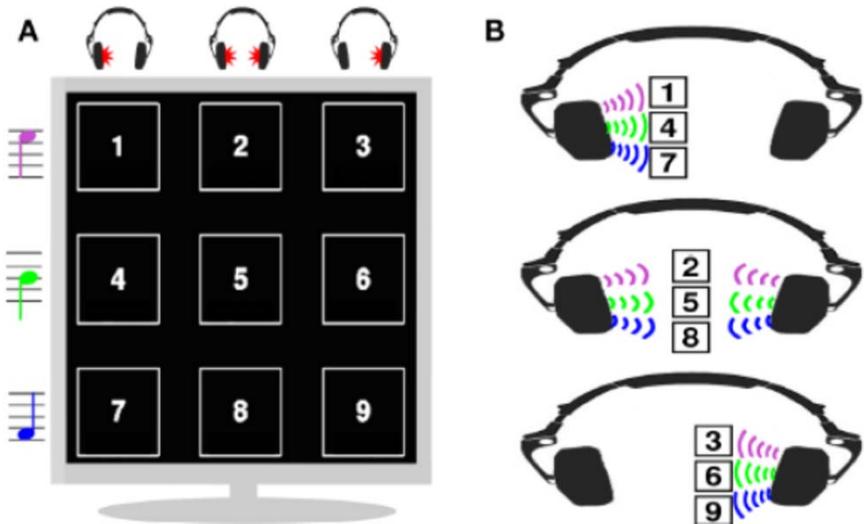


P300-speller



48

- استفاده از تحریک‌های شنوایی دو بعدی
- این تحریک‌ها در فرکانس (بالا/متوسط/پایین) و جهت (چپ/مرکز/راست) تفاوت داشتند و توسط هدفون پخش می‌شدند.



- انتخاب ۹ کلاسه
- هیچ دو تحریک متوالی فرکانس یکسان نداشته باشند و همچنین هر تحریک حداقل بعد از سه تحریک دیگر می‌توانست تکرار شود.

J. Höhne, et. al., A novel 9-class auditory ERP paradigm driving a predictive text entry system, 2011.

P300-speller



49

- هجی کردن حروف بدون استفاده از کمک بینایی
- استفاده از ایده الگوریتم‌های Hex-o-speller بینایی
- انتخاب حرف در دو مرحله:
- در مرحله اول ۵ کلمه معنادار آلمانی را که شامل تمامی حروف الفبا می‌شد برای کاربر پخش می‌کردند و فرد باید به کلمه‌ای که شامل حرف مدنظرش بود توجه می‌کرد و با هر بار شنیدن کلمه هدف تعداد آن را می‌شمارد.
- پس از انتخاب کلمه هدف، در مرحله دوم باید حرف هدف انتخاب می‌شد به این گونه که کلمه انتخاب شده به حروف ساخته شده‌اش تجزیه می‌شد و هر حرف را به صورت جداگانه برای فرد پخش می‌کردند و فرد در این مرحله می‌بایست به حرف هدفش تمرکز می‌کرد و تعداد تکرار آن را می‌شمارد.

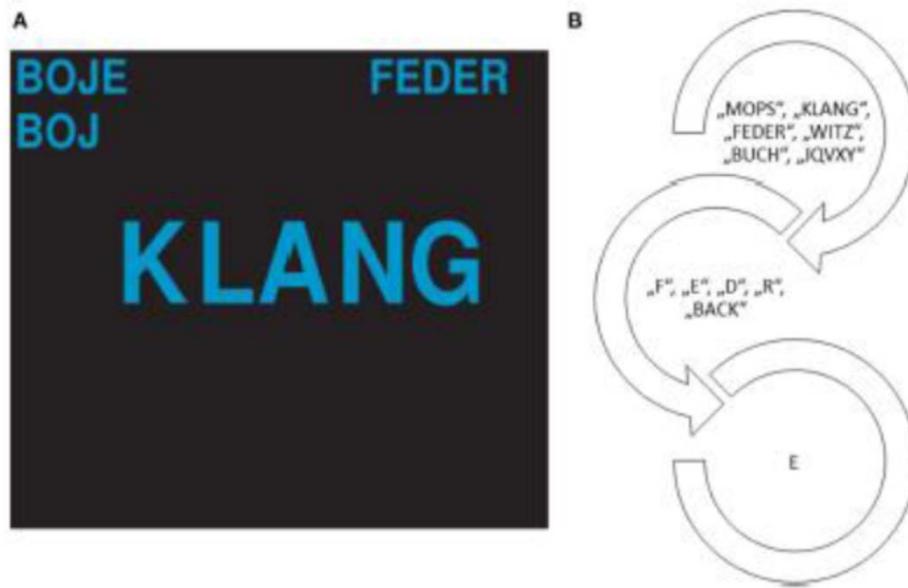
S. Kleih, et. al., The WIN-speller: a new intuitive auditory brain-computer interface spelling application, 2015.

P300-speller



50

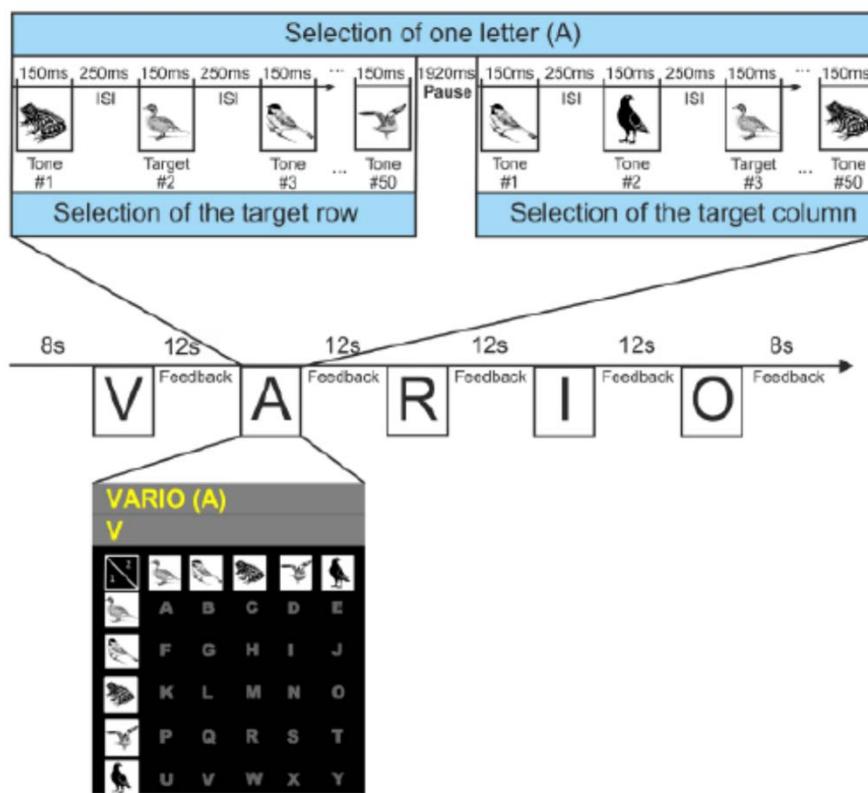
□ در هر مرحله یک انتخاب ۵ کلاسه وجود دارد:



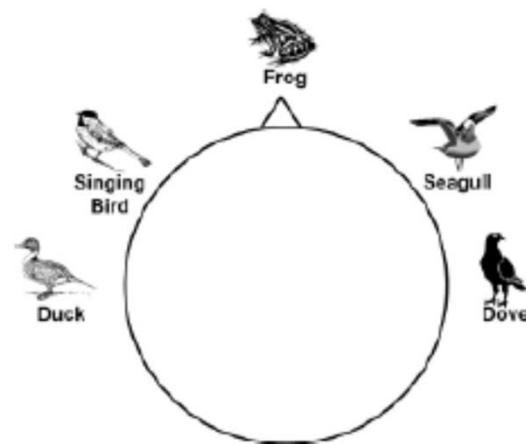
P300-speller



51



- استفاده از صدای حیوانات برای ایجاد تحریک
- استفاده از ماتریس کمک بینایی
- پخش تحریک‌ها از جهت‌های مختلف



N. Simon, et. al., An auditory multiclass brain-computer interface with natural stimuli: usability evaluation with healthy participants and a motor impaired end user, 2015.

P300-speller



52

- هجی کردن حروف فارسی با تحریک‌های شنوازی بدون استفاده از ماتریس کمک بینایی
- تحریک‌ها با یکدیگر متفاوت هستند و مانند پروتکل‌های گذشته نیاز نیست تا چندبار جمله تحریک‌ها تکرار شوند. انتخاب کاراکتر در یک مرحله انجام می‌شود.
- از یک لیست ۳۰ کلمه‌ای فارسی برای پخش تحریک‌ها استفاده شده است که در آن کلمه‌ها باهم متفاوت هستند.
- تحریک‌ها از چهار دسته کلمه ۲ تا ۵ حرفی ساخته شده‌اند و در هر کدام از دسته‌ها ۷ یا ۸ کلمه موجود است که تمام حروف الفبا را در بر می‌گیرد.
- همچنین از ۳۲ حرف الفبای فارسی، حرف‌هایی که در تلفظ صدای مشابه دارند یک حرف در نظر گرفته شده‌اند (مانند حروف س، ص و ث) و در مجموع ۲۴ حرف بدست آمده است.

S. Jalilpour , et. al., A Novel Auditory BCI for Spelling Persian Words, 2018.

P300-speller



53

- در انتخاب کلمه‌ها سعی شده است تا حد امکان کلمه‌های روزمره و آسان انتخاب شوند تا یادآوریشان برای کاربر راحت باشد.
- در لیست ۳۰ کلمه‌ای، دو حرفی که در کلمه‌ای با یکدیگر آمده باشند در هیچ کلمه دیگری با یکدیگر تکرار نمی‌شوند.

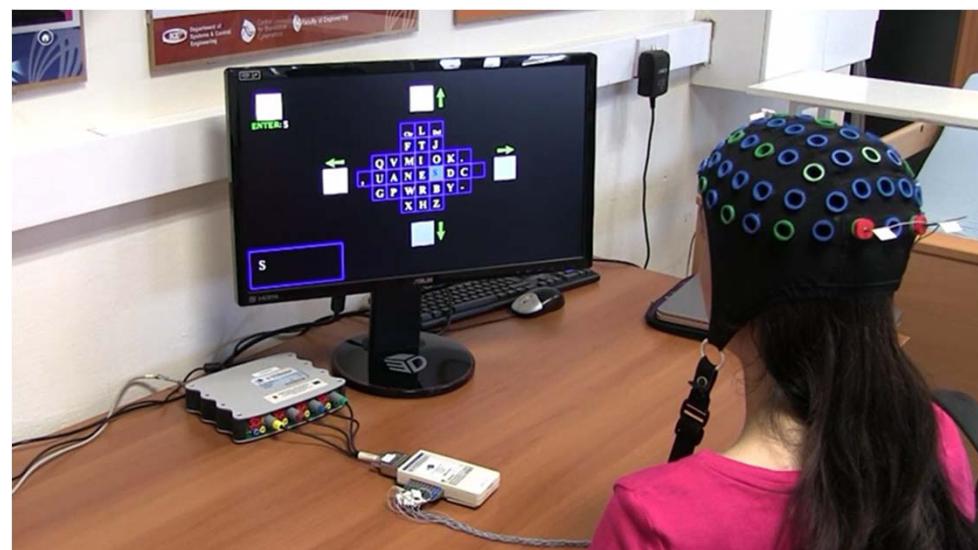
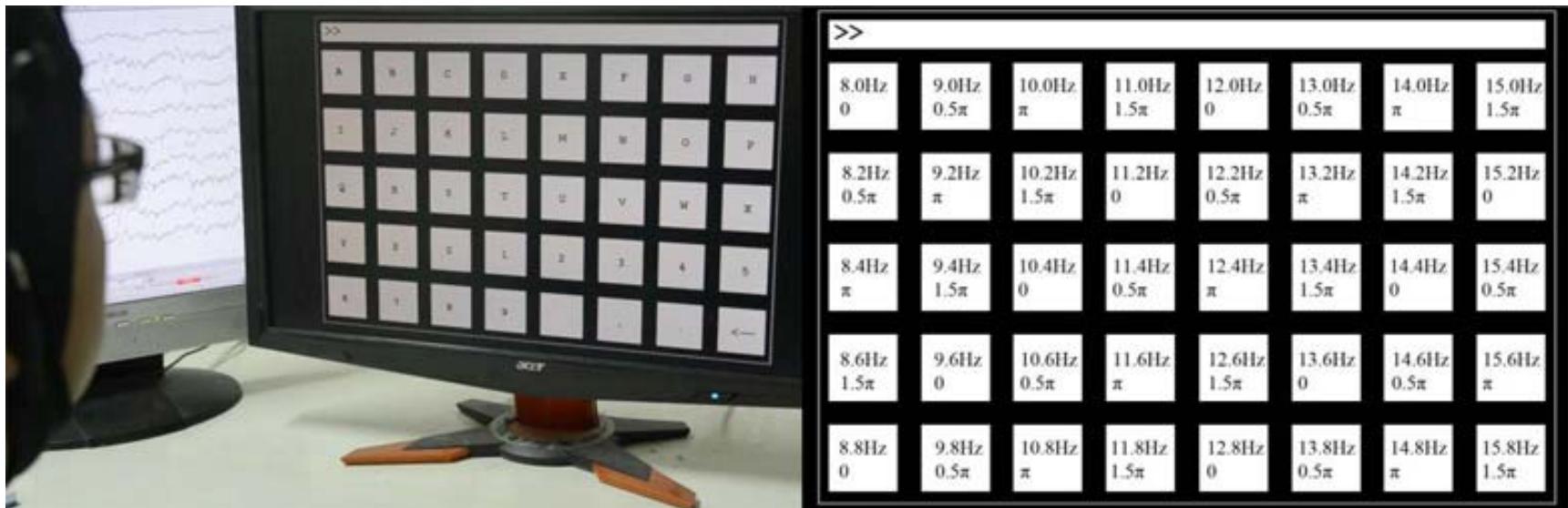
وجب	پشنۀ	خلیل	عدد	چمن	غاز	سگک	ژرف	Group1
جهه	نبر	عشق	فندک	خر	امگا	پوچی	ژل	Group2
	بعضی	وفق	خطا	جنگل	چکش	پرس	مزه	Group3
	چسب	دقت	حفظ	جمع	کپل	خرگوش	ژیان	Group4

- بازه زمانی پخش کلمه‌ها (تحریک‌ها) در حدود ۳۲۰ تا ۷۳۲ میلی‌ثانیه متغیر است و با فاصله ۲۰۰ میلی‌ثانیه‌ای از یکدیگر جدا شده‌اند. لیست ۳۰ کلمه‌ای در طول آزمایش ۳ بار تکرار می‌شود که در نتیجه هر حرف در آزمایش ۱۲ بار تکرار می‌شود. یکبار پخش کلمه‌های لیست در حدود ۲۰ ثانیه و زمان انتخاب یک کاراکتر در حدود ۶۰ ثانیه طول می‌کشد.

SSVEP-speller



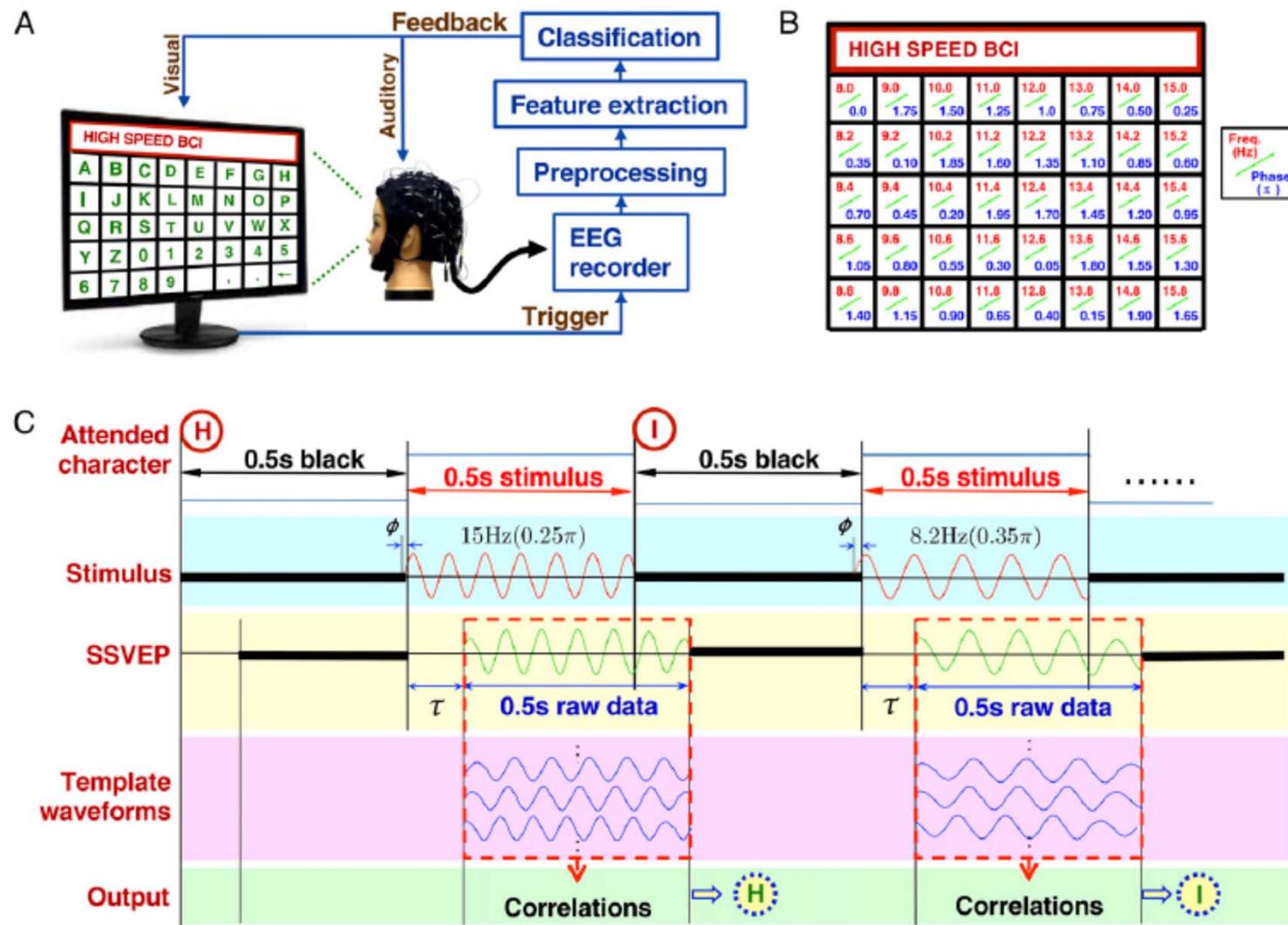
54



SSVEP-speller



55



Chen, X. et. al. (2015). High-speed spelling with a noninvasive brain–computer interface. Proceedings of the national academy of sciences.

SSVEP-speller



56

- استفاده از داده‌های آموزشی مختلف X_f (در فرکانس‌های مختلف f برای هر سوژه) به علاوه داده‌های مرجع Y_f
- استفاده از سه بردار وزن به عنوان فیلترهای فضایی:

$$\mathbf{W}_X(\mathbf{X}\hat{\mathbf{X}}_k)$$

$$\mathbf{W}_X(\mathbf{X}\mathbf{Y}_{f_k})$$

$$\mathbf{W}_X(\hat{\mathbf{X}}_k\mathbf{Y}_{f_k})$$

- ویژگی استفاده شده:

$$\mathbf{r}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_k(1) \\ \mathbf{r}_k(2) \\ \mathbf{r}_k(3) \\ \mathbf{r}_k(4) \\ \mathbf{r}_k(5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho\left(\mathbf{X}^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\mathbf{Y}_{f_k}), \mathbf{Y}^T \mathbf{W}_Y(\mathbf{X}\mathbf{Y}_{f_k})\right) \\ \rho\left(\mathbf{X}^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\hat{\mathbf{X}}_k), \hat{\mathbf{X}}_k^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\hat{\mathbf{X}}_k)\right) \\ \rho\left(\mathbf{X}^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\mathbf{Y}_{f_k}), \hat{\mathbf{X}}_k^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\mathbf{Y}_{f_k})\right) \\ \rho\left(\mathbf{X}^T \mathbf{W}_X(\hat{\mathbf{X}}_k\mathbf{Y}_{f_k}), \hat{\mathbf{X}}_k^T \mathbf{W}_X(\hat{\mathbf{X}}_k\mathbf{Y}_{f_k})\right) \\ \rho\left(\hat{\mathbf{X}}_k^T \mathbf{W}_X(\mathbf{X}\hat{\mathbf{X}}_k), \hat{\mathbf{X}}_k^T \mathbf{W}_{\hat{\mathbf{X}}_k}(\mathbf{X}\hat{\mathbf{X}}_k)\right) \end{bmatrix}$$

$$\rho_k = \sum_{i=1}^5 \text{sign}(\mathbf{r}_k(i)) \cdot (\mathbf{r}_k(i))^2$$



SSVEP-speller

57

- یک الگوی SSVEP که تنها از یک تحریک چشمکزن استفاده می‌کند و می‌تواند تا ۹ کلاس متفاوت را از هم جدا کند.
- ایده: فاصله نسبی بین تحریک و کانون توجه، می‌تواند توپوگرافی‌های متفاوتی را در پاسخ SSVEP ایجاد کند.
- نگاشت ورودی بینایی از شبکیه به نورون‌ها در قشر بینایی، می‌تواند الگوهای EEG متفاوتی را بسته به موقعیت مکانی تحریک چشمکزن ایجاد کند.
- طبقه‌بندی تنها با استفاده از ۵ کانال بخش‌های آهیانه‌ای و پس‌سری

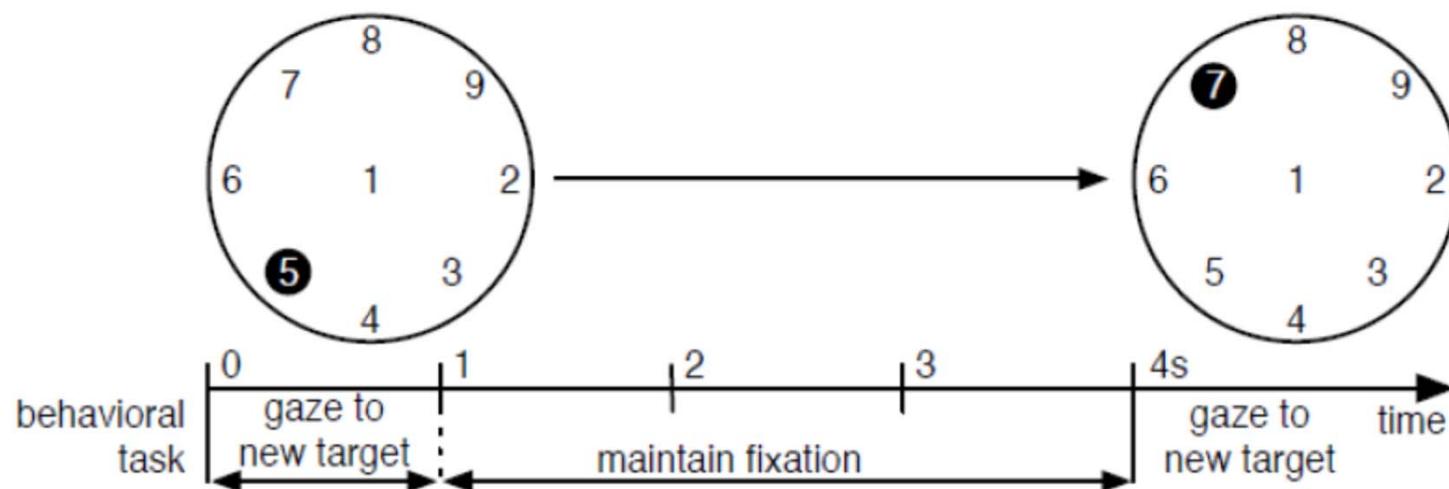
A. Maye, et. al., Utilizing retinotopic mapping for a multi-target SSVEP BCI with a single flicker frequency, 2017.

SSVEP-speller



58

□ اهداف ۱ تا ۹ در جهات مختلفی داخل دایره قرار گرفته‌اند و این تحریک‌ها چشمک نمی‌زند و ثابت بودند. صفحه دایره‌ای شکل، نشان‌دهنده تحریک SSVEP بود که با فرکانس ۱۵ هرتز روشن و خاموش می‌شد.



□ زمان نمایش هر تحریک ۴ ثانیه طول می‌کشید که در انجام آنالیز داده‌ها از یک ثانیه اول صرف نظر شده تا فرد به طور کامل به مکان هدف خیره شده باشد.

SSVEP-speller



59

استخراج ویژگی با روش CCA

- ▢ ضریب کانونی را بین سیگنال EEG و دسته سینوس‌ها و کسینوس‌ها در فرکانس تحریک و هارمونیک دوم و سوم را تعیین می‌کند.
- ▢ با توجه اینکه فرد باید انتخابی ۹ کلاسه انجام دهد و کلاس‌ها در ۹ جهت متفاوت وجود دارند لذا هر جهت (هدف) توپوگرافی فرکانسی متفاوتی را در سر ایجاد می‌کند که با اعمال روش CCA برای هر جهت و بدست آوردن فیلترها می‌توان تعیین کرد فرد به کدام یک از اهداف خیره شده است.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \sin(2\pi ft) \\ \cos(2\pi ft) \\ \sin(4\pi ft) \\ \cos(4\pi ft) \\ \sin(6\pi ft) \\ \cos(6\pi ft) \end{bmatrix}$$

$$\rho_i = \rho(\mathbf{a}(i)\mathbf{X}, \mathbf{b}(i)\mathbf{Y})$$

▪ سیگنال EEG در ماتریس \mathbf{X} ذخیره می‌شود.

▪ ماتریس‌های ضرایب: \mathbf{B} و \mathbf{A}

▪ ضرایب همبستگی کانونی: $\mathbf{r} = [\rho_1, \dots, \rho_M]$

▪ $\mathbf{B}(i)$ و $\mathbf{a}(i)$ سطر i -ام ماتریس‌های \mathbf{A} و \mathbf{B}

▪ M مینیموم رتبه دو ماتریس \mathbf{X} و \mathbf{Y} (تعداد متغیرهای کانونی)

SSVEP-speller



60

□ فاز آموزش:

- داده EEG آزمایش‌هایی که در آنها فرد به هدف $c = 1..9$ توجه می‌کند پشت هم قرار داده شده و الگوریتم CCA بر روی آنها پیاده‌سازی می‌شوند.
- ماتریس‌های کانونی A_c و B_c برای هر کدام از اهداف $c = 1..9$ به دست آمده و سپس ضرایب همبستگی بین دیتای هر آزمایش با تمام ۹ فیلتر حساب می‌شوند (یعنی همبستگی بین X و $A_c Y$ و $B_c Y$).
- ضرایب همبستگی حاصله (به ابعاد $M \times 9$ بردار ویژگی‌های آن آزمایش را می‌سازند که با استفاده از برچسب آزمایش، طبقه‌بند آموزش داده می‌شود).

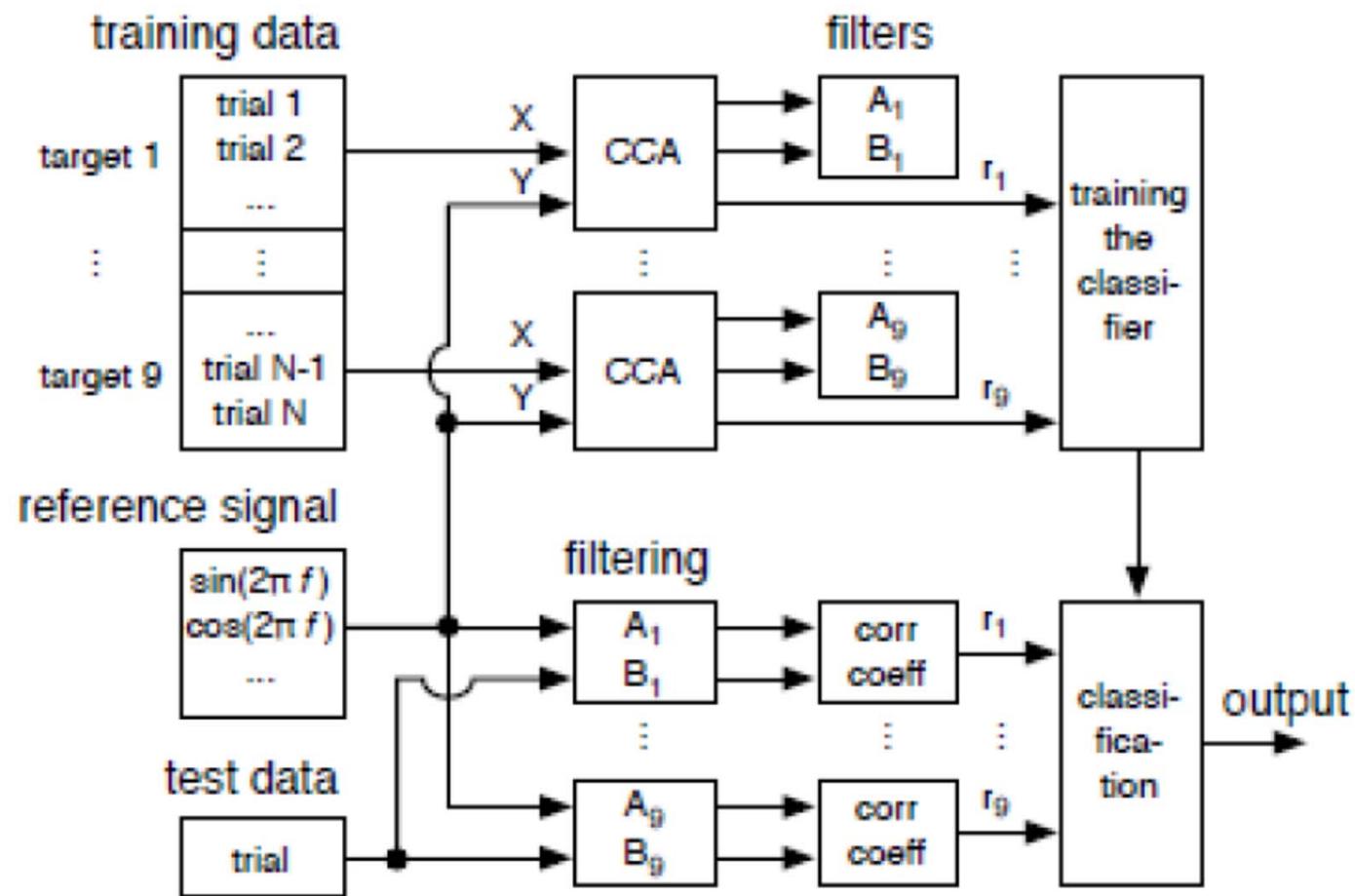
□ فاز آزمون:

- ضرایب همبستگی دیتای آزمایش با استفاده از ۹ فیلتر A_c و سیگنال‌های مرجع $B_c Y$ محاسبه می‌شوند.
- این مقادیر بدست آمده به عنوان بردار ویژگی به طبقه‌بند داده شده و سپس کلاس هدف تعیین می‌شود.



SSVEP-speller

61

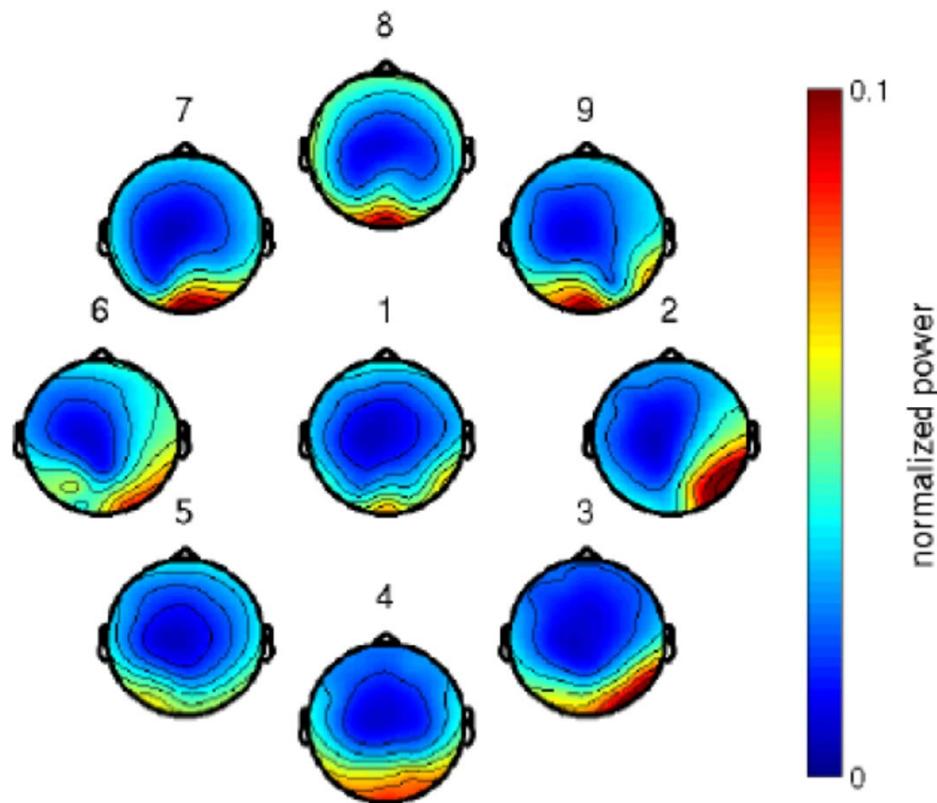




SSVEP-speller

62

□ توپوگرافی توان SSVEP برای ۹ کلاس مختلف

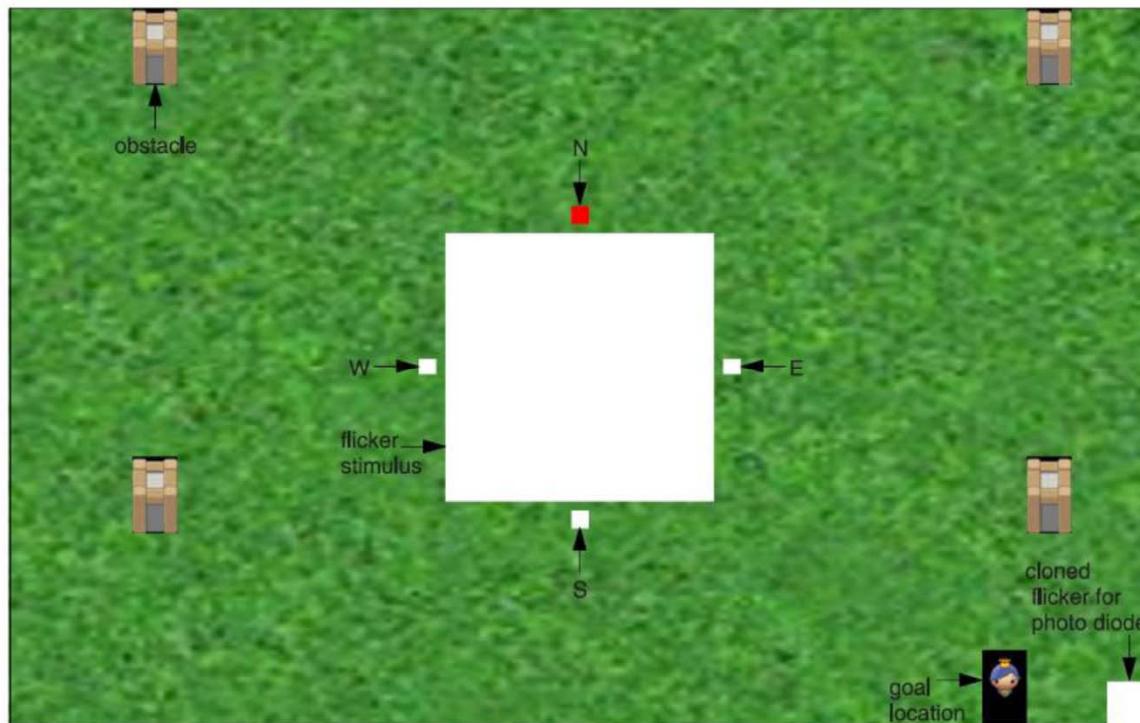


SSVEP-speller



63

- بازی کامپیوتراً دو بعدی آنلاین
- تحریک بینایی از یک مربع چشمگزن در مرکز صفحه نمایش تشکیل شده که این مربع توسط چهار مربع کوچک (منتظر بر حركت در چهار جهت) در اطرافش احاطه شده است.



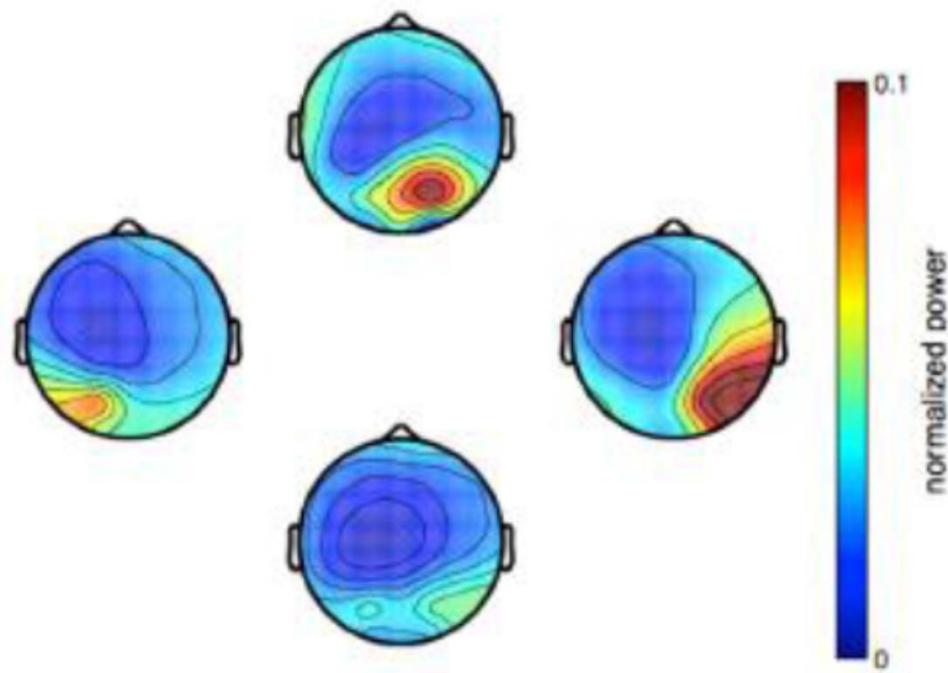
J. Chen, et. al., Application of a single-flicker online SSVEP BCI for spatial navigation, 2017.

SSVEP-speller



64

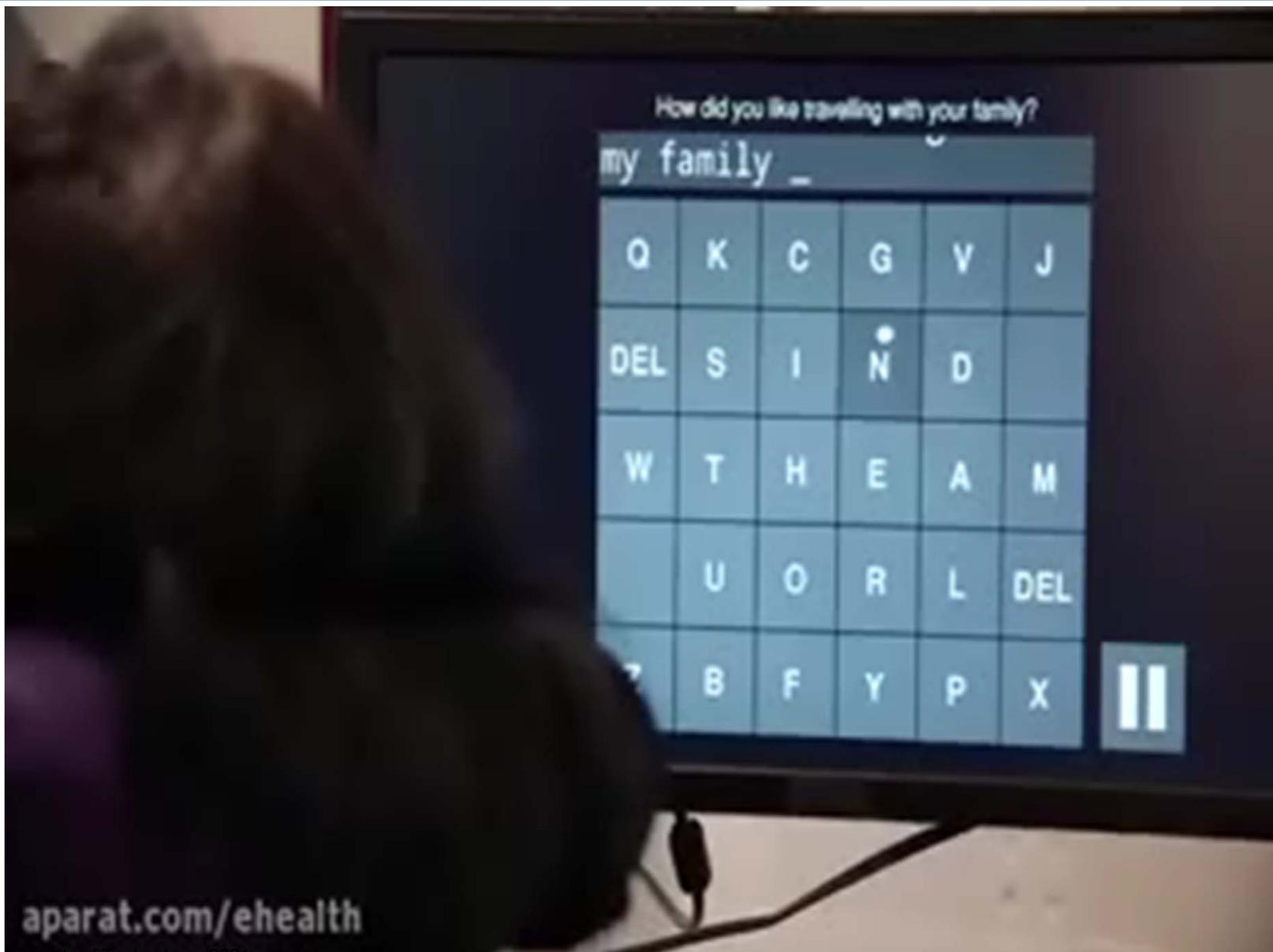
□ توپوگرافی توان در چهار جهت برای یک شرکت‌کننده:





MI-speller

65



اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)



66

A	B	C	D	E	F
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	0

(a)

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	0

(b)

ترکیب P300 و SSVEP

تحریک P300 مشابه اسپلر ماتریسی مرسوم

همه دکمه ها با فرکانس یکسان (۱۸ هرتز) سفید و سیاه می شوند (فلش می زنند).

استفاده از فیلتر میان گذر برای جداسازی P300 و SSVEP

SSVEP برای تشخیص خیره شدن کاربر بر صفحه (control state) استفاده شده است (یعنی کاربر می خواهد تایپ کند).

P300 برای تشخیص کاراکتر استفاده شده است.

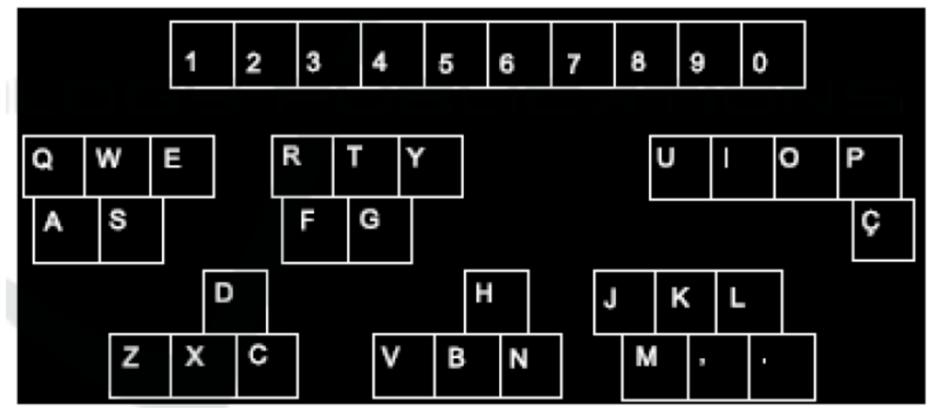
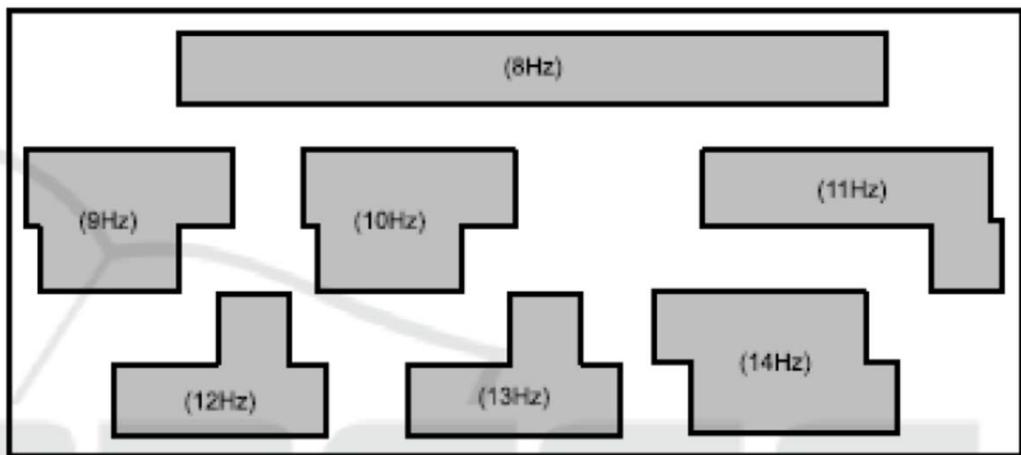
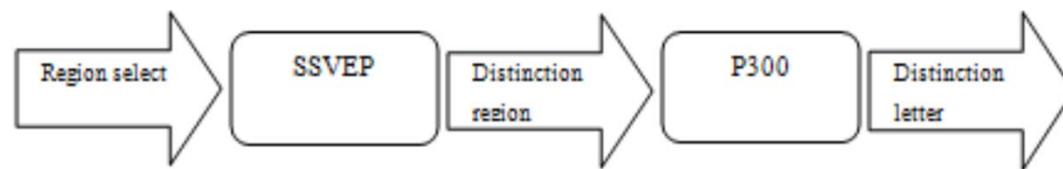
M. Wang, et. al., A new hybrid BCI paradigm based on P300 and SSVEP, 2015.

اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)



67

ترکیب P300 و SSVEP □



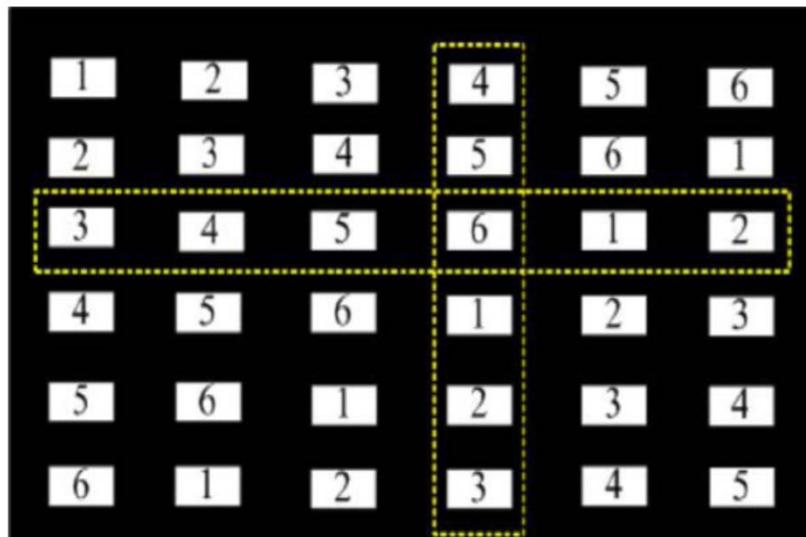
F. Capati, et. al., Hybrid SSVEP/P300 BCI Keyboard, 2016.

اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)

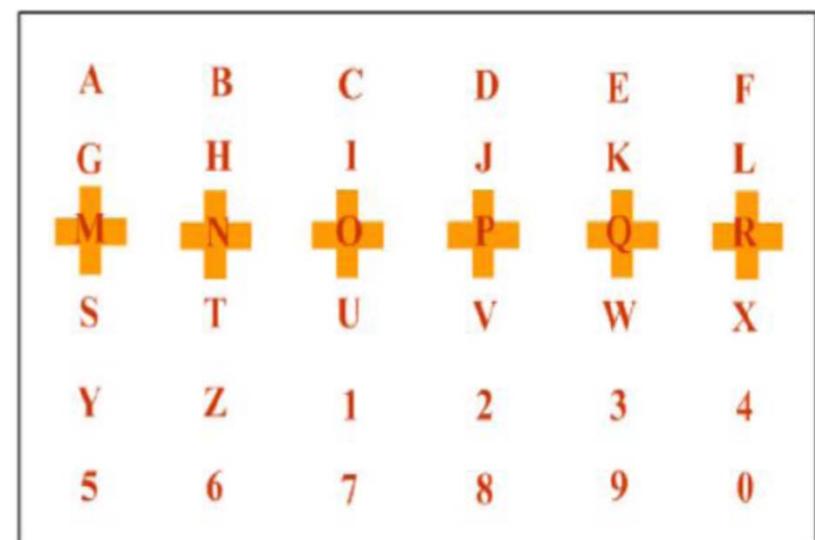


68

ترکیب SSVEP و P300 □



SSVEP



P300

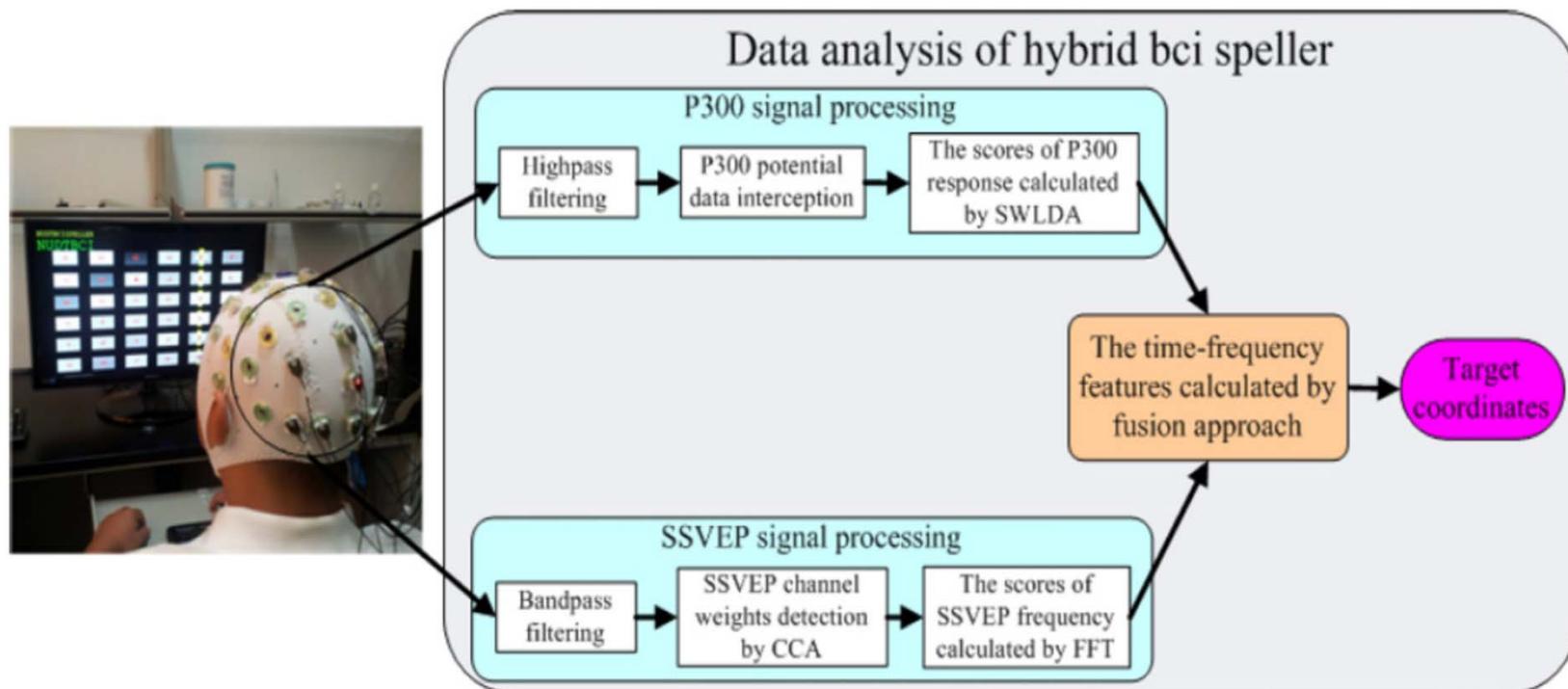
E. Yin, et al., A novel hybrid BCI speller based on the incorporation of SSVEP into the P300 paradigm, 2013.

اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)



69

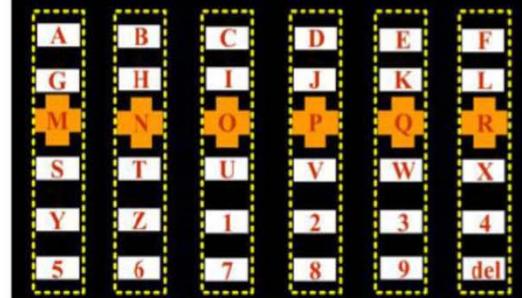
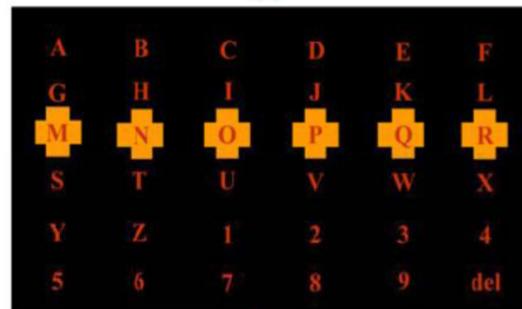
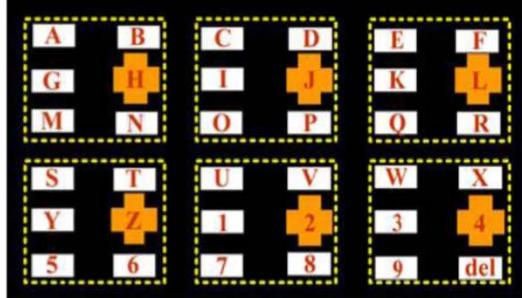
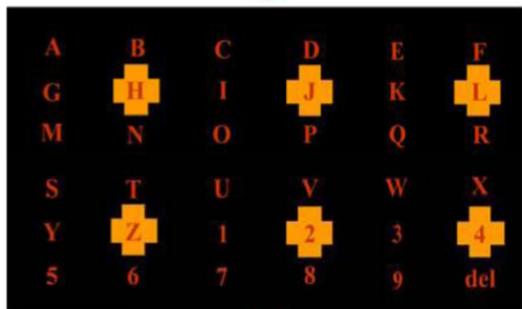
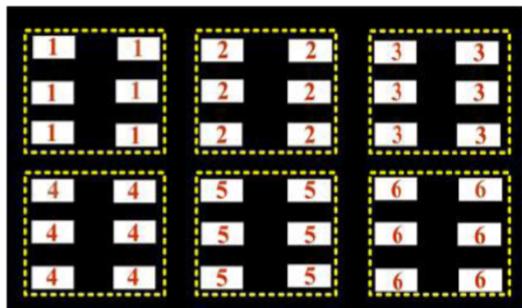
ترکیب P300 و SSVEP □





اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)

ترکیب P300 و SSVEP □

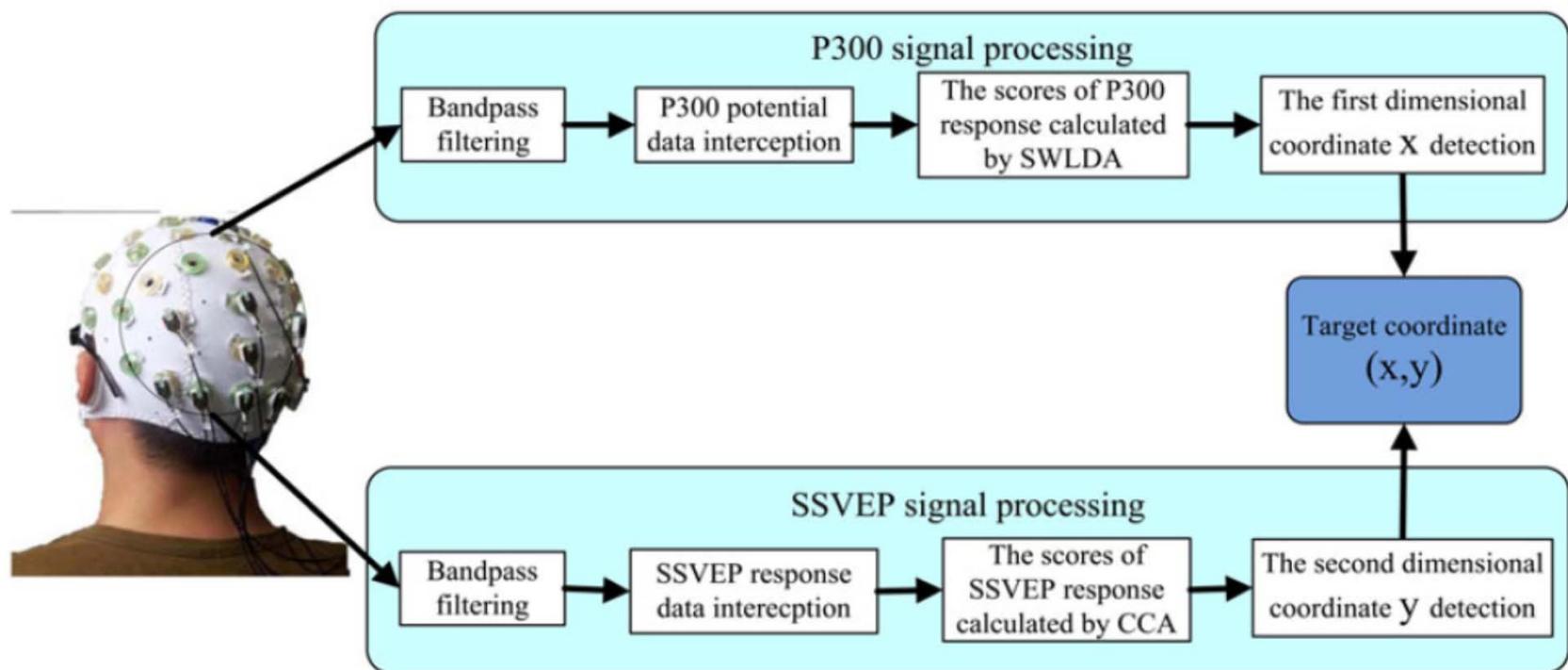


اسپلر های ترکیبی (Hybrid Spellers)



71

ترکیب P300 و SSVEP □



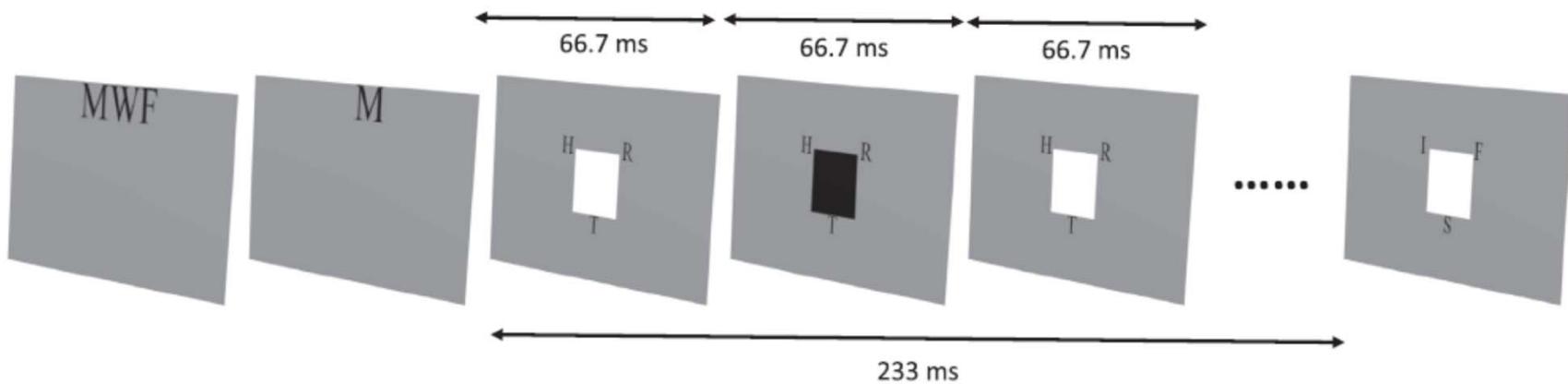
اسپلرهای ترکیبی (Hybrid Spellers)



72

□ ترکیب P300 و SSVEP

□ ترکیب ایده SSVEP و Triple RSVP با یک فرکانس تحریک



Stimulus Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Left direction	H	I	C	B	O	M	X	A	E
Right direction	R	F	N	Q	J	U	K	L	G
Bottom direction	T	S	.	V	Z	Y	P	W	D

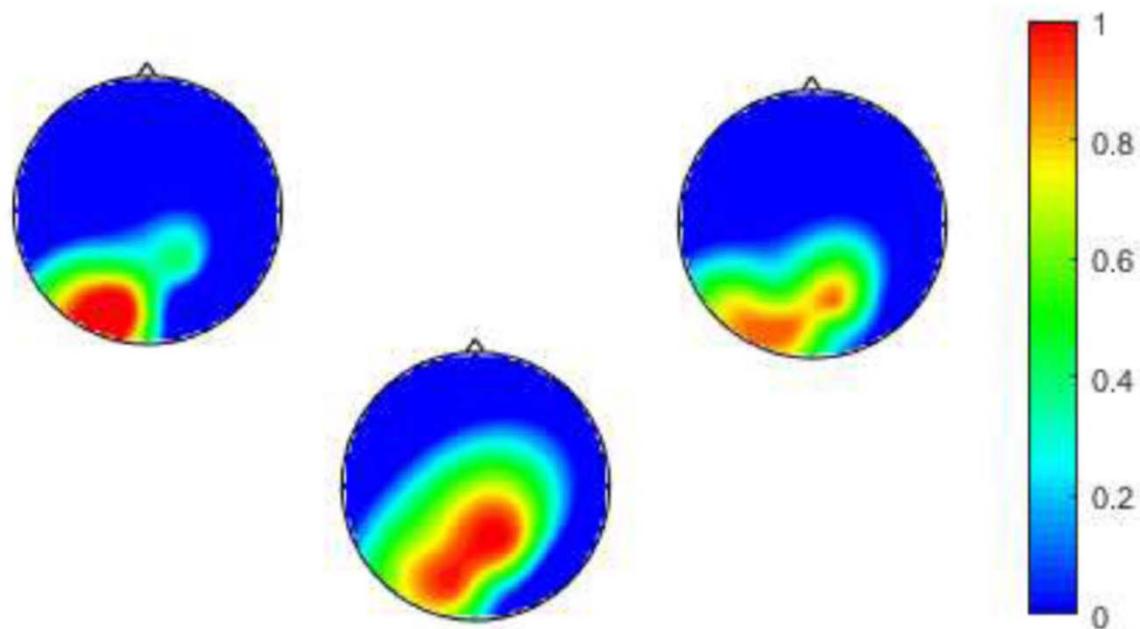
S. Jalilpour, et. al., A novel hybrid BCI speller based on RSVP and SSVEP paradigm, 2021.



اسپلرهای ترکیبی (Hybrid Spellers)

73

□ توپوگرافی توان میانگین برای سه جهت:



جایگزین فعالیت حرکتی



74

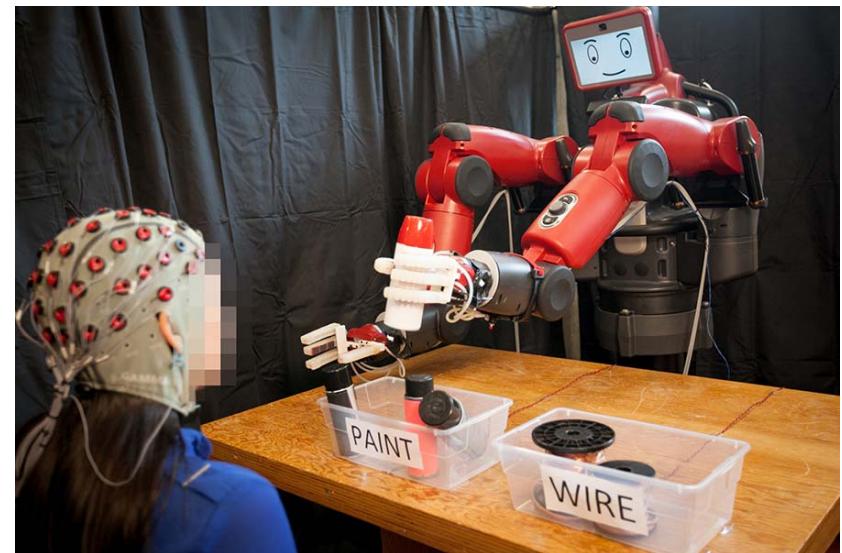
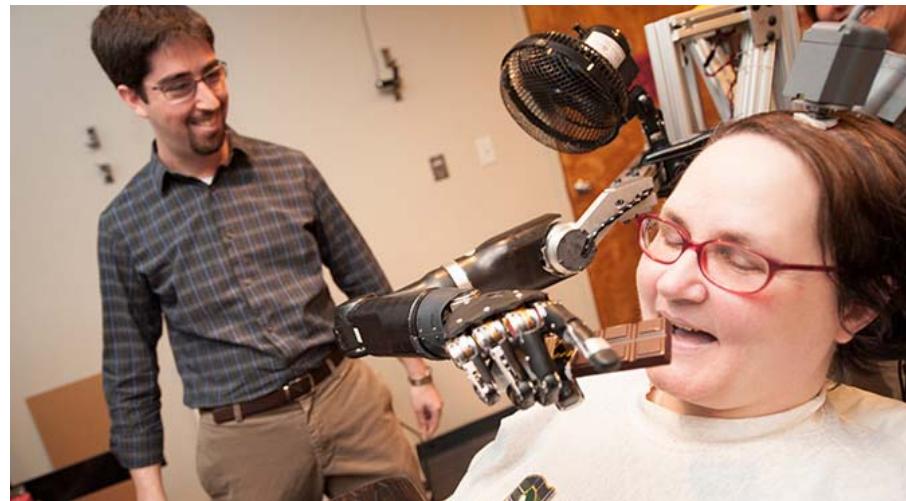
- پروتزهای حرکتی که مسیر دیگری را به جز مسیر مرسوم اعصاب حرکتی به اندام مصنوعی یا ماهیچه‌ها ایجاد می‌کنند.
- هرچند الگوهای P300 و SSVEP در زمینه کنترل ابزار خارجی کاربرد دارند، اما معمولاً از الگوی ERD/ERS استفاده می‌شود.



جایگزین فعالیت حرکتی



75



جایگزین فعالیت حرکتی



76

aparat.com/exos.ir

BCI در پزشکی



77

□ توانبخشی سکته مغزی

- از کارافتادن اندام حرکتی پس از سکته مغزی
- استفاده از خاصیت انعطاف‌پذیری عصبی (plasticity) قشر حرکتی مغز و طراحی سیستم‌های BCI برای توانبخشی اندام حرکتی

□ اختلال آگاهی (Disorder of Consciousness)

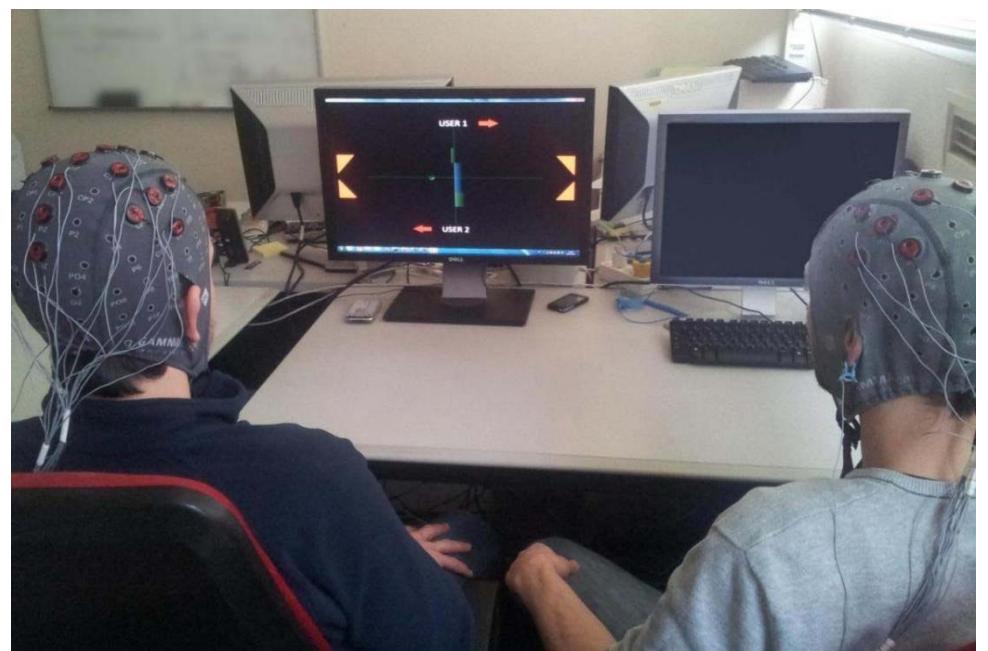
- پس از وقوع حوادث تروماتیک یا سکته مغزی، برخی از بیماران هیچ نشانه‌ای از آگاهی نشان نمی‌دهند: زندگی نباتی
- برخی از این بیماران ممکن است تا حدی آگاه باشند، اما نتوانند آن را بیان کنند یا به گونه‌ای بروز دهند.

□ استفاده از انواع BCI‌ها و درخواست پزشک از بیمار برای کنترل سیستم BCI

بازی و واقعیت مجازی



78



بازی و واقعیت مجازی



79



aparat.com/NBICs

بازی و واقعیت مجازی



80





ناظارت بر وضعیت ذهنی و BCI غیرفعال

81

- BCI غیرفعال: حالت ذهنی کاربر به صورت غیرفعال تخمین زده می‌شود: بدون هرگونه دستور ذهنی داوطلبانه از طرف کاربر.
- مانیتور کردن سطح هوشیاری اپراتورهایی که وظایف تکرارشونده انجام می‌دهند.
- ناظارت بر میزان توجه و تمرکز در آموزش از راه دور کودکان
- بررسی خواب آلودگی یا سطح هوشیاری رانندگان

خلاصه و نتیجه‌گیری



82

- رابطهای مغز-رایانه سیستم‌هایی هستند که برای ترجمه الگوهای فعالیت مغزی کاربر به پیام‌ها یا دستورات متناظر در یک کاربرد تعاملی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- فعالیت‌های مغزی که در BCI‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولاً توسط سیگنال الکتروانسفالوگرام (EEG) ثبت می‌شوند.
- هر سیستم BCI معمولاً دو فاز اصلی آموزش آفلاین و کاربرد آنلاین دارد.
- الگوهای مرسوم سیگنال‌های مغزی در BCI: SSVEP، ERS/ERD، ERP و BCI-speller.
- کاربردهای BCI، جایگزین فعالیت حرکتی، توانبخشی سکته مغزی و ...
- محدودیت‌های سیستم‌های BCI:
 - پایداری و قابلیت اطمینان نسبتاً کم این سیستم‌ها
 - کاهش کارایی در دنیای واقعی، محیط‌های پیچیده، زمان‌های طولانی و زمان‌هایی که کاربر حرکت می‌کند و برای افراد معلول
 - نیاز به زمان کالibrاسیون طولانی



با تشکر

