

The Analysis of Individuals Emotions Through Brain Signals Using Poincare Approach

Mohamadbagher Khodabakhshi,¹ Valiollah Saba^{1*}

¹ Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Dynamic alterations of the brain are of high significance when it comes to analyze the human feelings. In this study, the hidden patterns corresponding for the emotional states have been investigated by adopting a certain Poincare' map function inspired by the theory of chaos. The present study aimed to explore the significance relationship between the proposed methodology and the level of the emotional states.

Methods and Materials: One of the well-known emotion dataset namely 'DEAP' was used to evaluate the performance of our methodology. DEAP is a multimodal dataset in which forty music videos lasting one minute were shown to 32 participants. Moreover, a set of 40 channels of biological signals including EEG and peripheral signals were recorded. Moreover, participants rated to each video in terms of 'valence', 'arousal', 'dominance', and 'liking'. In this study we have investigated the dynamic variations of EEG signals in order to discriminate the levels of the emotional states.

Results: For describing the effect of the Poincare' approach on the subjective ratings, we have adopted the correlation statistics by computing the Spearman correlated coefficients. The results indicate that the Poincare approach could properly discriminate the levels of valence ($p < 0.05$), arousal ($p < 0.01$), dominance ($p < 0.05$), and liking ($p < 0.05$). In other words, the statistical analysis showed the significant relationship between the levels of emotions and the Poincare' method.

Discussion and Conclusion: The result interpretations demonstrate and verify the success of the nonlinear and chaotic approaches in the analysis of human brain signals. Therefore, it could be a reliable methodology for studying the brain functions.

Keywords: Electroencephalogram, EEG, Emotions, Poincare' map function, Chaos theory

*(Corresponding author) Valiollah Saba, Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran Email: vsaba@aut.ac.ir

تجزیه و تحلیل احساسات افراد از طریق سیگنال‌های مغزی با استفاده از تابع نگاشت پوانکاره

محمدباقر خدابخش^۱، ولی‌اله صبا^{*}

^۱ گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: تغییرات دینامیکی مغز دارای اطلاعات معنادار و مهمی هستند که تأثیرات آن‌ها در حالات مختلف احساسی افراد در سیگنال‌های مغزی بروز می‌یابند. در این مطالعه با الگوگیری از نظریه آشوب، از روش تابع نگاشت پوانکاره، برای استخراج اطلاعات مرتبط با حالات احساسی افراد بهره برده‌ایم. به بیان دیگر در این مطالعه به بررسی رابطه معنادار میان خصوصیات آشوب گونه سیگنال‌های مغزی و سطح احساسات تحریک شده افراد پرداخته‌ایم.

مواد و روش‌ها: پایگاه داده گان «دپ» با اطلاعات بیولوژیکی ۳۲ نفر در حین تماشای ۴۰ موزیک ویدئو یک دقیقه‌ای که شامل ۳۲ کانال از سیگنال‌های مغزی بود، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. هر یک از ویدئوهای استفاده شده در این مجموعه داده طوری انتخاب شده‌اند که موجب برانگیختن چهار زمینه احساسی «خوشایندی»، «برانگیختگی»، «میزان تسلط» و «دوست داشتن» شده‌اند. با استفاده از تابع نگاشت پوانکاره، میزان تغییرات دینامیک سیگنال‌های مغزی را در هر یک از چهار زمینه احساسی بیان شده تحلیل نموده‌ایم.

یافته‌ها: با استفاده از آنالیز آماری Spearman میزان تأثیر هر یک از فیلم‌های مشاهده شده بر ویژگی غیرخطی استخراج شده بررسی شده است. نتایج نشان داد ویژگی‌های مرتبط با نگاشت پوانکاره در ایجاد تمایز بین سطوح مختلف «خوشایندی» ($P < 0/05$)، «برانگیختگی» ($P < 0/01$)، «میزان تسلط» ($P < 0/05$) و «دوست داشتن» ($P < 0/05$) توانایی مطلوبی دارند. به طور خاص، این روش‌ها زمینه احساسی «میزان تسلط» و «دوست داشتن» را نسبت به دیگر احساسات در الکترودهای بیشتری بروز دادند.

بحث و نتیجه‌گیری: تفسیر نتایج نشان می‌دهد که بررسی فعالیت مغز به وسیله روش‌های غیرخطی و آشوبی توانایی قابل قبولی در تمایز بین حالات احساسی دارند و می‌توانند به عنوان یکی از روش‌های مورد اعتماد برای مطالعه ساختار مغز مورد استفاده قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: سیگنال‌های مغزی-احساسات-تابع نگاشت پوانکاره-نظریه آشوب

مقدمه

مغز، احساسات به وسیله نمایش تصاویر یا پخش اصوات برای افراد برانگیخته می‌شوند و همزمان فعالیت‌های بیولوژیکی شامل سیگنال‌های مغزی و محیطی ثبت می‌شوند (۱-۴). در این میان واکنش‌های مغزی افراد، که سرچشمه اصلی بروز حالات احساسی است بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجایی که مغز دارای

احساسات در انسان از ادراکات خودآگاه و ناخودآگاه او از شرایط مختلف نشأت می‌گیرد. مطالعه این موضوع در علوم مختلف مانند پزشکی، روانشناسی و مهندسی از اهمیت زیادی برخوردار است. در بسیاری از مطالعات مربوط به شناخت حالات مختلف

* (نویسنده مسئول) ولی‌اله صبا، گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران.
آدرس الکترونیکی: vsaba@aut.ac.ir

یکی از مهمترین تحلیل‌های آشوب گونه، استفاده از تابع نگاشت پوانکاره است (۷، ۱۸، ۱۹). در این روش، به وسیله نقاطی از سیگنال که دارای اطلاعات زیاد هستند (قله‌های زمانی)، سیگنال از حوزه زمان به فضای حالت منتقل می‌شود. در فضای حالت با اعمال یک تابع نگاشت به نقاط به دست آمده یک توصیف کیفی و کمی از ساختارهای دینامیکی به دست می‌آید. در ادامه نحوه عملکرد این روش را با روش استخراج توان سیگنال‌های مغزی هنگام مشاهده موزیک ویدئوهای مختلف مورد ارزیابی قرار داده‌ایم.

ساختار بخش‌های مختلف مقاله به صورت زیر است: بخش ۲ به معرفی مختصری از مجموعه داده‌گان دیپ اختصاص یافته است. در بخش ۳ روش تحلیل این مطالعه بر پایه تابع نگاشت پوانکاره معرفی می‌گردد. در ادامه پس از ارائه نتایج روش ارائه شده، به تحلیل و بحث در مورد نتایج خواهیم پرداخت.

مواد و روش‌ها

پایگاه داده‌گان

مجموعه داده‌گان استفاده شده در این مطالعه برگرفته از داده‌گان معرفی شده در مجموعه دیپ (<http://www.eecs.qmul.ac.uk/mmv/datasets/deap/>) است (۱۷). دیپ یک مجموعه داده چند منظوره است که مجموعه‌ای از سیگنال‌های مغزی، محیطی و حالات چهره افراد حین تماشای موزیک ویدئوهای محرک احساسات ثبت گردیده است. در این مجموعه ۴۰ موزیک ویدئو یک دقیقه‌ای طوری انتخاب شده‌اند که بتواند تا بالاترین حد ممکن منجر به بروز احساسات افراد شود. تعداد شرکت کنندگان در آزمایشات ۳۲ نفر است که از هر یک ۴۰ کانال داده ذخیره گردیده است. دوره مشاهده هر فیلم ۶۳ ثانیه شامل دوره ۳ ثانیه‌ای آماده سازی برای تماشای هر ویدئو و بازه یک دقیقه‌ای تماشای فیلم است. پس از اتمام تماشای هر فیلم، افراد شرکت کننده به آن فیلم از نظر "خوشایندی"، "برانگیختگی"، "میزان تسلط" و "دوست داشتن" امتیازی از ۰ تا ۹ اختصاص می‌دهند. شایان ذکر است که برای تحلیل فرآیندهای رخ داده در مغز، امتیازی که هر فرد به هر عنوان احساسی می‌دهد به عنوان معیار استاندارد طلایی برای همان فرد در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات دقیق‌تر مربوط به نحوه انتخاب محرک ویدیویی، خصوصیات افراد شرکت کننده در آزمایشات،

ساختار دینامیکی غیرخطی است سیگنال‌های مغزی نیز ماهیتی غیرخطی و پیچیده دارند. مطالعات زیادی به بررسی ساختار آشوب گونه سیگنال‌های مغزی پرداخته‌اند (۵-۸). در نتیجه برای توصیف عملکرد مغزی یکی از بهترین راهکارها استفاده از آنالیزهای غیرخطی بر پایه نظریه آشوب است. این امر می‌تواند الگوهای مستتر که در حالات مختلف احساسی مغز بروز می‌کنند را آشکار کند.

در زمینه مطالعه احساسات، انواع مختلفی از توصیفات ارائه شده که معروفترین آنها مدل دو بعدی راسل است (۹). در این مدل هر حالت احساسی به وسیله سطوح مختلفی از «خوشایندی» (Valence) و «برانگیختگی» (Arousal) توصیف می‌شود. با تکیه بر این رویکرد می‌توان انواع مختلفی از حس‌های بشری مانند ترس، خشم، عشق و... را به وسیله درجات متفاوتی از «خوشایندی» و «برانگیختگی» در صفحه دوبعدی راسل مکان یابی نمود. با به کارگیری مدل راسل مجموعه داده‌گان متنوعی برای مطالعه احساسات افراد ثبت شده و در دسترس پژوهشگران قرار گرفته است (۱۰-۱۶) که یکی از معروفترین آنها مجموعه داده‌گان «دیپ» (DEAP) است (۱۷). در دیپ بر اساس مدل توصیفی راسل تعداد ۴۰ کلیپ موزیک ویدئو با درجات مختلف تحریک احساسات برای ۳۲ شرکت کننده در آزمایش به نمایش درآمده است. حین تماشای هر ویدئو ۳۲ کانال سیگنال مغزی به همراه ۸ کانال شامل سیگنال‌های محیطی ثبت گردیده است. پس از اتمام هر ویدئو علاوه بر پارامترهای مدل راسل کاربران به هریک از حس‌های «تسلط» (Dominance) و «دوست داشتن» (Liking) امتیازی از ۰ تا ۹ اختصاص دادند. بدین ترتیب می‌توان از دیپ به عنوان یکی از کامل‌ترین و پر استنادترین مجموعه داده‌گان در موضوع این مطالعه نام برد.

روش‌های بررسی حالات احساسی عموماً با نمایش تصاویر با دوره زمانی کوتاه و پردازش داده‌گان از طریق روش‌های زمان گذرا صورت می‌گیرد. بنابراین، این روش‌ها برای آنالیز سیگنال‌های مرتبط با موزیک ویدئو موجود در پایگاه داده‌گان دیپ که طول زمانی یک دقیقه دارند مناسب نیست. در نتیجه بیان سیگنال در فضای فاز و بررسی خصوصیات دینامیکی آشوبی آن در تشخیص فرآیندهای احساسی یکی از مناسب‌ترین ابزارها برای تحلیل این داده‌گان خواهد بود. در این مطالعه با در نظر گرفتن ساختار آشوبناک مغز اقدام به اعمال روش‌های تشخیصی آشوبگونه بر روی سیگنال‌های مغزی نموده‌ایم.

پیش پردازش

ابتدا برای از بین بردن خط پایه سیگنال از فیلتر میانگین گیر لغزان استفاده می‌کنیم. سپس فاصله زمانی بین قله‌های سیگنال مغزی را به عنوان یک سری زمانی از حالات سیستم در فضای فاز به دست می‌آوریم. با رسم هر نقطه از سری زمانی نسبت به نقطه بعدی نگاشت پوانکاره مرتبه اول به دست می‌آید که نشان دهنده چگونگی توزیع نقاط در فضای دو بعدی است. شکل ۱ توزیع نقاط در فضای حالت مربوط به شرکت کننده شماره ۴ را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود نقاط حول و حوش محورهای عمودی و افقی توزیع شده‌اند و یک ساختار ال شکل به خود گرفته‌اند.

در این مرحله یک تابع نگاشت به نقاط فضای حالت برازش می‌کنیم که با توجه به شکل توزیع نقاط بهترین گزینه تابع چند جمله‌ای معکوس (Inverse quadratic function) به صورت زیر است:

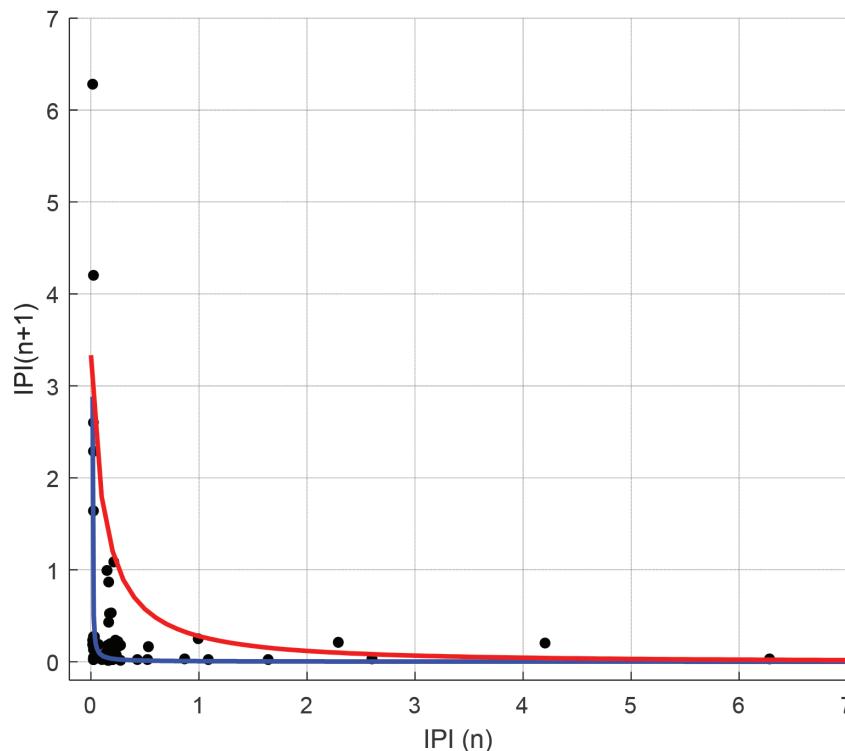
$$x_{k+1} = \frac{1}{ax_k^2 + bx_k + c} \quad (1)$$

که در آن a ، b و c پارامترهای آزاد نگاشت هستند. در آنالیز غیرخطی داده‌گان چنانچه سیستم‌های مختلف دارای دینامیک‌های متفاوت

نحوه انجام آزمایشات و دیگر اطلاعات تکمیلی به تفصیل در مرجع (۱۷) آمده است.

تابع نگاشت پوانکاره

استفاده از تابع نگاشت پوانکاره در آنالیز سیگنال مغزی در برخی مطالعات مورد توجه بوده که از آن جمله می‌توان به مطالعه مربوط به ولاسکوئز و همکارانش (۱۸، ۱۹) بر روی سیگنال‌های مغزی بیماران مبتلا به صرع اشاره کرد. در این روش سیگنال از حوزه زمان به فضای حالت منتقل می‌شود که در آن توصیف دقیقتری از دینامیک‌های مغزی به دست می‌آید. هنگامی که نقاط پر اطلاعات سیگنال، فضای حالت را بسازند اطلاعات به دست آمده منجر به نتایجی قابل اطمینان می‌شوند (۷). در اطلاعات، نقاط قله‌های سیگنال به عنوان نقاط دارای اطلاعات زیاد در نظر گرفته شده و فضای حالت از طریق فاصله زمانی بین قله‌ها ساخته می‌شوند. با الگوگیری از (۷)، در این مطالعه بررسی خواهیم کرد که نقاط فضای فاز سیگنال تا چه حد قادر است بین حالات مختلف مغز تمایز ایجاد کند.



شکل ۱- رسم نگاشت پوانکاره حاصل از فاصله بین نقاط قله‌های سیگنال مغزی مربوط به شرکت کننده شماره ۴ منحنی آبی رنگ مربوط به تخمین پارامترها بر اساس الگوریتم برازش - منحنی قرمز رنگ مربوط به حالت رخداد بایفورکاسیون

رابطه (۳) به دست می آوریم. سپس فاصله آن را با نقطه تعادل منحنی قرمز رنگ در شکل (۱) به عنوان ویژگی در نظر می گیریم. در بخش بعدی بررسی می کنیم که این ویژگی غیرخطی آشوبگونه تا چه حد قادر است تفاوت بین حالات مختلف احساسی را نمایان کند.

نتایج

در این بخش نتایج تحلیل داده گان از طریق روش نگاشت پوانکاره اشاره شده ارائه شده است. با توجه به اینکه هر شرکت کننده به هر ویدئو با اعداد پیوسته از ۰ تا ۹ امتیاز داده اند، از روش آماری اسپیرمن (Spearman) برای بررسی تمایز بین احساسات استفاده نموده ایم. به بیان دیگر در این بخش به دنبال پاسخ به این سوال خواهیم بود که آیا رابطه معناداری بین میزان تحریک هر یک از چهار حس اشاره شده و ویژگی غیرخطی به دست آمده از آنالیز غیرخطی پوانکاره وجود دارد؟

از آنجایی که هر شرکت کننده ۴۰ ویدئو را تماشا کرده است برای حذف تاثیر هر فرد در نتیجه گیری کلی، ویژگی های همه شرکت کننده ها را در کنار یکدیگر مورد ارزیابی قرار داده ایم. بنابراین تعداد کل داده گان شرکت داده شده در آزمایش برابر ۱۲۸۰ (۴۰ ویدئو * ۳۲ شرکت کننده) خواهد بود. در این آزمایش آماره اسپیرمن نه تنها مقدار p متناظر با معنادار بودن رابطه را گزارش می کند، بلکه جهت مستقیم یا معکوس آن را نیز در اختیار قرار می دهد. جدول ۱ نتایج مربوط به تحلیل آماری بیان شده را برای الکترودهای مختلف

جدول ۱- نتایج آماری حاصل از پیاده سازی روش نگاشت پوانکاره بر روی ۴ حالت احساسی برانگیخته شده.

الکتروده	p-value	مقدار همبستگی ($\bar{R}$)
خوشایندی	۰/۰۱۲	۰/۰۷
CP۵*	۰/۰۱۵۶	۰/۰۷
برانگیختگی	۰/۰۰۷۱	۰/۰۸
FV**	۰/۰۴۵۹	۰/۰۶
CP۲*	۰/۰۳۷۹	۰/۰۷
C۳*	۰/۰۴۹۸	۰/۰۶
PZ*	۰/۰۱۳۴	۰/۰۵
AF۴*	۰/۰۲۳۵	۰/۰۶
دوست داشتن		
CP۵*		

** به معنای ($P < ۰/۰۰۱$) و * به معنای ($P < ۰/۰۵$)

باشد تابع نگاشت پوانکاره مرتبط با هر یک دارای مقدار متمایز خواهد بود. در این مطالعه با استفاده از تابع cfit در نرم افزار متلب پارامترهای آزاد نگاشت برای سیگنال های مغزی تخمین زده می شود. در ادامه به دنبال پاسخ به این سوال خواهیم بود که آیا پارامترهای تابع نگاشت می تواند منجر به بروز تفاوت بین دینامیک های مختلف مغزی در حالات احساسی گوناگون شود؟

تحلیل تابع نگاشت پوانکاره

یک نقطه تعادل (Equilibrium point – Fixed point) نقطه ای است که در آن مقدار تابع نگاشت با مقدار نقطه برابر گردد. به بیان دیگر اگر $\bar{x} \in \mathbb{R}$ نقطه تعادل باشد خواهیم داشت: $f(\bar{x}) = \bar{x}$. بنابراین:

$$x_{k+1} = x_k = \bar{x}; \quad \bar{x} = \frac{1}{a\bar{x}^2 + b\bar{x} + c} \quad (2)$$

$$a\bar{x}^2 + b\bar{x} + c = \frac{1}{\bar{x}} \quad (3)$$

طبق تعریف اگر مشتق تابع نگاشت در نقطه تعادل برابر واحد باشد به آن، نقطه بایفورکاسیون گوئیم. در نتیجه خواهیم داشت:

$$f'(x) = -\frac{2ax + b}{(ax^2 + bx + c)^2} \quad (4)$$

$$f'(\bar{x}) = -1 \Rightarrow \frac{2a\bar{x} + b}{(a\bar{x}^2 + b\bar{x} + c)^2} = 1 \Rightarrow \quad (5)$$

$$(a\bar{x}^2 + b\bar{x} + c)^2 - 2a\bar{x} - b = 0$$

در آنالیز غیرخطی توابع این نقاط دارای اهمیت زیادی هستند که بیان کننده محل تغییرات رفتار دینامیکی سیستم است. در این مطالعه فاصله نقطه تعادل هر یک از حالات مختلف با نقطه بایفورکاسیون را به عنوان یک خصوصیت مهم در ارزیابی رفتار دینامیکی مغز در حالات احساسی مورد بررسی قرار خواهیم داد. در شکل ۱ منحنی آبی رنگ تابع چند جمله ای معکوس برازش شده به نقاط برای فرد شماره ۴ است. در کنار آن منحنی قرمز رنگی ترسیم شده است که نشان دهنده حالت بایفورکاسیون است. مطابق آنچه تشریح شد، برای هر یک از ویدیوهای نمایش داده شده ابتدا نقطه تعادل را از

نگاشت پوانکاره در ایجاد تمایز بین سطوح مختلف احساسی در برخی از الکترودها موفقیت آمیز بوده است. به طور دقیق‌تر برای سه حالت احساسی خوشایندی و برانگیختگی مقادیر منفی همبستگی، گزارش شده است که نشان از وجود رابطه معکوس در برخی از الکترودها است. به بیان دیگر در الکترودهای CP5، PO4 و CP2 چنانچه فاصله نقاط تعادل سیگنال‌ها از نقاط بایفورکاسیون کمتر باشد، سطح بیشتری از احساسات در افراد بروز یافته است. عکس این اتفاق در الکترودها FV برای حس برانگیختگی مشاهده می‌شود. در کنار آنها، برای حس میزان تسلط در سه الکترودها، C3، PZ و AF4 رابطه معنادار به دست آمده که برای همه آنها این ارتباط در جهت است.

در کنار این موارد می‌توان عملکرد توان زیرباندهای سیگنال‌ها را نیز مورد ارزیابی قرار داد. در مقایسه با روش نگاشت پوانکاره این روش توفیقی در بروز حالات احساسی خوشایندی و برانگیختگی نداشته است. با این حال میزان علاقمندی افراد که در جدول با حس دوست داشتن نمایش داده شده است، در الکترودهای بیشتری معنادار شده است. بنابراین می‌توان گفت روش نگاشت پوانکاره توانایی بیشتری در ایجاد تمایز میان سطوح مختلف سه حس اول دارد. با این حال روش نگاشت پوانکاره دارای ایراداتی است که عملکرد آن را محدود می‌کند. شکل ۲ نگاشت پوانکاره مربوط به شرکت کننده شماره ۴ را حین تماشای دو فیلم مختلف با سطوح متفاوتی از برانگیختگی را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که توزیع داده‌گان به شکل ال نیست و خوشه‌هایی از داده‌ها در مرکز صفحه مختصات جمع شده‌اند. بنابراین برازش تابع معکوس چند جمله‌ای نمی‌تواند گزینه خوبی برای این حالت باشد. به علاوه چون توزیع داده‌ها تقریباً شکل یکسانی دارند پارامترهای تابع نگاشت تخمین زده شده نمی‌تواند تفاوت بین دو حالت را آشکار کند. بنابراین بازنمایی سیگنال در فضای فاز با این روش ممکن است منجر به پاسخ مناسب نگردد. همانگونه که اشاره شد، روش نگاشت پوانکاره بر اساس فاصله زمانی بین قله‌های سیگنال مغزی شکل می‌گیرد. در نتیجه این روش قادر است تغییرات فرکانسی سیگنال‌ها را بروز دهد. در این مطالعه چون شکل ظاهری سیگنال مغزی در حالات مختلف احساسی دارای تفاوت ظاهری معنادار نیست، تمایز بین احساسات توسط تابع نگاشت پوانکاره

سیگنال مغزی نشان می‌دهد. بررسی این جدول نشان می‌دهد که برای حس خوشایندی در الکترودهای CP5 و PO4 رابطه معنادار در جهت عکس وجود دارد. یعنی در این الکترودها هر چه سطح امتیازی که فرد شرکت کننده به خوشایندی فیلم اختصاص داده‌اند بیشتر بوده، دینامیک سیگنال‌های مغزی آنها نزدیک‌تر به نقاط بایفورکاسیون بوده‌اند. با این حال عکس این اتفاق در الکترودها FV برای احساس برانگیختگی به دست آمده است. همچنین مشاهده می‌شود که این در بازنمایی حس میزان تسلط توانایی بیشتری نسبت به سایر موارد موجود در جدول داشته است. شایان ذکر است مابقی الکترودهایی که در جدول بیان نشده‌اند دارای مقدار p معنادار نبوده‌اند.

برای مقایسه عملکرد این روش، آن را با روش پایه‌ای توان زیرباندهای سیگنال مقایسه نموده‌ایم. نتایج این آزمایشات در جدول ۲ آمده است. مشاهده می‌شود که روش توان زیرباندها توانایی استخراج رابطه معنادار برای حس‌های خوشایندی و برانگیختگی را ندارد. با این حال این روش قابلیت بالاتری در تمایز بین سطوح مختلف حس دوست داشتن نشان داده است. به بیان دیگر این نتایج نشان می‌دهد که هر چه سطح علاقه شرکت کنندگان به فیلم‌ها بیشتر باشد توان زیرباندهای فرکانسی در آنها کاهش یافته است.

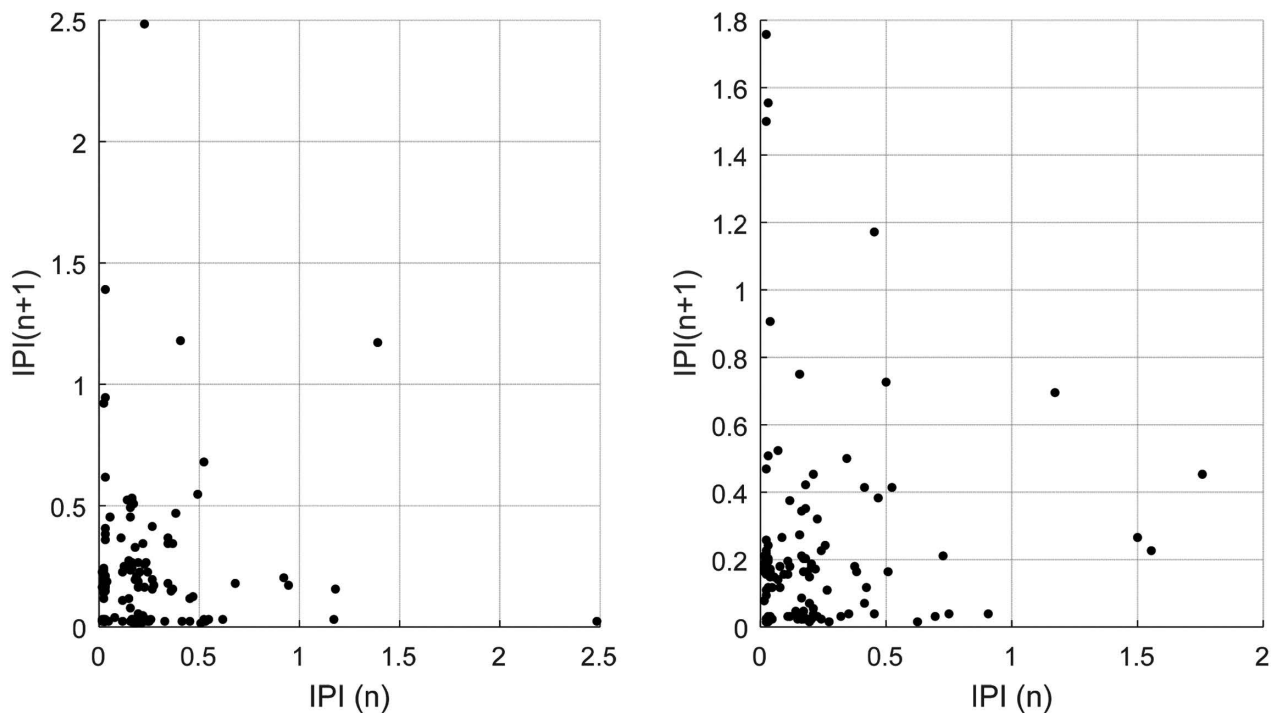
بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان می‌دهد که عملکرد تابع

جدول ۲- نتایج آماری حاصل از پیاده سازی روش نگاشت پوانکاره بر روی ۴ حالت احساسی برانگیخته شده.

الکترودها	p-value	مقدار همبستگی ($\bar{R}$)
خوشایندی	--	--
برانگیختگی	--	--
میزان تسلط	CP2* ۰/۰۰۱۱	۰/۱-
	CP1* ۰/۰۰۲۱	۰/۹-
دوست داشتن	CP1* ۰/۰۲۳	۰/۰۷-
	CP2* ۰/۰۰۵۲	۰/۰۷-
	T8* ۰/۰۰۲	۰/۱-
	CZ** ۰/۰۰۱۴	۰/۰۹-

** به معنای ($P < ۰/۰۰۱$) و * به معنای ($P < ۰/۰۵$)



شکل ۲- نگاشت پوانکاره مربوط به سیگنال مغزی شرکت کننده شماره ۴- شکل سمت چپ و راست به ترتیب مربوط به فیلم‌هایی است که سطح حس برانگیختگی این فرد را به مقدار کم و زیاد تحریک کرده است. مشاهده می‌شود که پراکندگی داده‌ها به شکل ال نیست و تفاوت ظاهری آشکاری وجود ندارد.

می‌توان از روش‌های پیشرفته‌تر بازنمایی سیگنال در فضای حالت مانند رسم‌های بازگشتی (Recurrence plot) و اعمال قطع پوانکاره (Poincaré section) در فضای حالت بهره برد (۸، ۲۰).

در الکترودهای محدودی ظاهر شده است. بنابراین قابلیت‌های این روش در سیگنال‌هایی مانند سیگنال‌های مغزی بیماران مبتلا به صرع، که تغییرات آشکار در فرکانس آن‌ها وجود دارد بیشتر خواهد بود (۷). در پایان می‌توان گفت برای بهبود نتایج این مطالعه

References

- 1- Douglas-Cowie E, Cowie R, Schröder M. A new emotion database: considerations, sources and scope. In proc. ISCA ITRW on speech and emotion. Newcastle, UK. 2000. pp.39-44.
- 2- Fanelli G, Gall J, Romsdorfer H, Weise T, Van Gool L. A 3-d audio-visual corpus of affective communication. IEEE Transactions on Multimedia. 2010 Oct;12(6):591-8.
- 3- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention. 1997:39-58.
- 4- Rabinovich MI, Muezzinoglu MK, Strigo I, Bystritsky A. Dynamical principles of emotion-cognition interaction: mathematical images of mental disorders. PloS one. 2010 Sep 21;5(9):e12547.
- 5- Sarbadhikari SN, Chakrabarty K. Chaos in the brain: a short review alluding to epilepsy, depression, exercise and lateralization. Medical engineering & physics. 2001 Sep 1;23(7):447-57.
- 6- Faure P, Korn H. Is there chaos in the brain? I. Concepts of nonlinear dynamics and methods of investigation. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie. 2001 Sep 1;324(9):773-93.
- 7- Amiri M, Davoodi-Bojd E, Bahrami F, Raza M. Bifurcation analysis of the Poincaré map function of intracranial EEG signals in temporal lobe epilepsy patients. Mathematics and Computers in Simulation. 2011 Jul 1;81(11):2471-91.
- 8- Bahari F, Janghorbani A. Eeg-based emotion recognition using recurrence plot analysis and k nearest neighbor classifier. In Biomedical Engineering (ICBME), 2013 20th Iranian Conference on 2013 Dec 18 (pp. 228-233). IEEE.
- 9- Russell JA. A circumplex model of affect. Journal of personality and social psychology. 1980 Dec;39(6):1161.
- 10- Bradley M, Lang PJ. The International affective digitized sounds (IADS): stimuli, instruction manual and affective ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention; 1999.
- 11- Bradley MM, Lang PJ. The International Affective Digitized

- Sounds (; IADS-2): Affective ratings of sounds and instruction manual. University of Florida, Gainesville, FL, Tech. Rep. B-3. 2007.
- 12- Zeng Z, Pantic M, Roisman GI, Huang TS. A survey of affect recognition methods: Audio, visual, and spontaneous expressions. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2009 Jan;31(1):39-58.
- 13- Healey JA, Picard RW. Wearable and automotive systems for affect recognition from physiology Ph.D. thesis. Massachusetts Institute of Technology. Department of Electrical Engineering and Computer Science. 2000.
- 14- Healey J, Picard RW. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*. 2005 Jun 1;6(2):156-66.
- 15- Kim J, André E. Emotion recognition based on physiological changes in music listening. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2008 Dec;30(12):2067-83.
- 16- Chanel G, Kierkels JJ, Soleymani M, Pun T. Short-term emotion assessment in a recall paradigm. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2009 Aug 1;67(8):607-27.
- 17- Koelstra S, Muhl C, Soleymani M, Lee JS, Yazdani A, Ebrahimi T, Pun T, Nijholt A, Patras I. Deap: A database for emotion analysis; using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2012 Jan;3(1):18-31.
- 18- Velazquez JL, Cortez MA, Snead III OC, Wennberg R. Dynamical regimes underlying epileptiform events: role of instabilities and bifurcations in brain activity. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 2003 Dec 15;186(3-4):205-20.
- 19- Perez Velazquez JL, Khosravani H. A subharmonic dynamical bifurcation during in vitro epileptiform activity. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2004 Jun;14(2):333-42.
- 20- Sharif B, Jafari AH. Design of an optimum Poincaré plane for extracting meaningful samples from EEG signals. *Australasian physical & engineering sciences in medicine*. 2018 Mar 1;41(1):13-20.