

## روشی خودکار برای کمی‌سازی شرایط احساسی فرد به کمک سیگنال الکتروانسفالوگرام

فهیمة پارسایی<sup>۱</sup>، علی مالکی<sup>۲</sup>، محمدرضا دلیری<sup>۳</sup>

## مقاله پژوهشی

## چکیده

**مقدمه:** احساس، یک فرایند روان‌شناسی از ذهن است و علاوه بر این که نقش مهمی در تعاملات بین انسان‌ها دارد، در سال‌های اخیر در تعامل بین انسان و کامپیوتر نیز مورد توجه قرار گرفته است. احساس، دارای ماهیتی مبهم و متنوع است. همچنین، افراد قادر به بیان کمی و دقیق احساس خود نیستند. بنابراین، معیاری کمی برای بازشناسی احساس افراد نیاز است. برای بیان حالات مختلف احساس، مدل دو بعدی خوشایندی-انگیختگی در نظر گرفته شده است. این مطالعه، با هدف ارایه‌ی رهیافتی برای بازشناسی کمی و پیوسته از احساس با استفاده از ویژگی‌های ارتباط عملکردی استخراج شده از الکتروانسفالوگرام (Electroencephalogram یا EEG) و مبتنی بر روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means و تلفیق فازی انجام گردید.

**روش‌ها:** سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد در زمان تماشای فیلم، همراه با گزارش فردی آن‌ها از احساس خود در زمان فوق، از پایگاه داده‌ی Database for emotion analysis using physiological signals (DEAP) دریافت شد. سه ویژگی ارتباطات عملکردی سیگنال‌های مغزی شامل همبستگی، مقدار قفل فاز و همدوسی از این سیگنال‌ها استخراج شده‌اند. ویژگی‌ها توسط خوشه‌بندی Fuzzy c-means خوشه‌بندی گردید. در نهایت، با توجه به نمره‌دهی کاربران بر خط و نتایج خوشه‌بندی برای هر ویژگی، مقادیر کمی و پیوسته برای خوشایندی و انگیختگی احساس فرد به دست آمد.

**یافته‌ها:** صحت  $0.79 \pm 0.01$  برای خوشایندی و  $0.83 \pm 0.06$  برای انگیختگی به دست آمد. ارتباط‌های عملکردی انتخاب شده، مربوط به فعالیت هم‌زمان نواحی بینایی، شنوایی و درک احساس در قشر مغز می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** صحت نتایج نسبت به مطالعات گذشته که به صورت گسسته، بازشناسی احساس را انجام داده‌اند، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. همچنین، تخمین احساس بر اساس مقدار همدوسی نسبت به دیگر ویژگی‌های بررسی شده، نتیجه‌ی بهتری را ارایه کرده است. نتایج این مطالعه در بهبود تعاملات بین انسان و کامپیوتر و همچنین، در زمینه‌ی بازتوانی شناختی کاربرد دارد.

**واژگان کلیدی:** الکتروانسفالوگرام، Fuzzy logic، نقشه‌ی الکتریکی عملکرد مغز

**ارجاع:** پارسایی فهیمة، مالکی علی، دلیری محمدرضا. روشی خودکار برای کمی‌سازی شرایط احساسی فرد به کمک سیگنال الکتروانسفالوگرام.

مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۶؛ ۳۵ (۴۵۸): ۱۷۳۲-۱۷۳۷

می‌گیرد. Russell و Posner یک مدل دو بعدی که احساس را به صورت پیوسته نشان دهد، در طول دو بردار انگیختگی (Arousal) و خوشایندی (Valence) پیشنهاد کردند. خوشایندی، طیفی راضی تا ناراضی و انگیختگی از آرامش تا هیجان را شامل می‌شود (۴). بازشناسی احساس شامل سه مرحله‌ی اساسی است که شامل استخراج ویژگی، کاهش ویژگی‌ها و دسته‌بندی آن‌ها می‌باشد (۱).

با توجه به تأثیر متقابل جسم و روان، ویژگی‌ها در مطالعات اخیر بر اساس واکنش افراد و از روش‌هایی نظیر بررسی حالات چهره، قطر

## مقدمه

احساسات، نشان دهنده‌ی وضعیت روانی و فرایندهای فکری انسان است (۱). احساسات، نقش بسیار مهمی در نحوه‌ی ارتباط انسان‌ها دارند و به شیوه‌های مختلفی بیان می‌شوند (۲). همچنین، بخش مهمی از ارتباطات هوشمندانه بین انسان و کامپیوتر به توانایی تشخیص و بازشناسی احساس مرتبط است (۳). بازشناسی احساس به دو صورت گسسته و پیوسته امکان‌پذیر می‌باشد که در حالت گسسته، احساس طبق تعریف Ekman در شش مقوله‌ی غم، شادی، تعجب، ترس، انزجار و عصبانیت جای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم شناختی (روان‌شناسی شناختی)، پردیس فن‌آوری‌های نوین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

فرکانس نمونه‌برداری ۵۱۲ ثبت شده‌اند. هر کدام از افراد تحت آزمایش به هر یک از فیلم‌هایی که مشاهده کردند، عددی بین ۹-۱ به صورت پیوسته در فضای انگیزختگی، خوشایندی، علاقه/عدم علاقه، تسلط و آشنایی (Familiarity) نسبت داده‌اند. در این مطالعه، از نمرات خوشایندی و انگیزختگی استفاده شد.

**استخراج ویژگی:** قوی بودن ارتباط بین دو الکترود، تعامل بین دو ناحیه‌ی قشری مغز در حین یک تجربه را نشان می‌دهد. تعامل، بسته به این که چه جنبه‌ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد، شامل هم‌زمانی/غیر هم‌زمانی و فعال/غیر فعال بودن است (۱۰). ویژگی‌های انتخاب شده که بیانگر فعالیت مغزی بودند، شامل همبستگی (Correlation)، هم‌دوسی (Coherence) و مقدار قفل فاز (Phase locked value) در باند فرکانسی کل بودند.

همبستگی، نشانگر رابطه‌ی خطی بین دو سیگنال در حوزه‌ی زمان و با تأخیر صفر (Zero-lag) است (۱۱) و طبق رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید.

$$R_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k)y(k) \quad (1)$$

هم‌دوسی، نشانگر همبستگی خطی بین دو سیگنال به صورت تابعی از فرکانس است و طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه گردید. در این رابطه،  $S_{xy}(f)$  نشانگر چگالی طیف توان متقابل دو سیگنال و  $S_{yy}(f)$  و  $S_{xx}(f)$  نشانگر چگالی طیف توان هر سیگنال به طور مجزا می‌باشد (۱۱).

$$K_{xy}(f) = \frac{S_{xy}(f)}{\sqrt{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}} \quad (2)$$

مقدار قفل فاز، معیاری است که میزان هم‌فاز بودن دو سیگنال  $x(t)$  و  $y(t)$  را توصیف می‌کند و طبق رابطه‌ی (۳) محاسبه شد (۱۰). بر اساس رابطه‌ی (۴)، در رابطه‌ی (۳)،  $\phi_{xy}(t)$  معرف اختلاف فاز لحظه‌ای بین دو منبع می‌باشد.

$$PLV_{xy} = | \langle e^{\phi_{xy}(t)} \rangle | \quad (3)$$

$$\phi_{xy}(t) = |\phi_x(t) - \phi_y(t)| \quad (4)$$

برای محاسبه‌ی فاز لحظه‌ای از تبدیل Hilbert (Hilbert transform) استفاده شد (۱۰). تبدیل Hilbert، طبق رابطه‌ی (۵) محاسبه گردید که در آن،  $h(t) = \frac{1}{\pi t}$  و  $s'(t)$  نتیجه‌ی تبدیل Hilbert سیگنال  $s(t)$  است. فاز لحظه‌ای در زمان  $t$  طبق رابطه‌ی (۶) محاسبه شد که در آن،  $\Re s'(t)$  و  $\Im s'(t)$  به ترتیب نشانگر قسمت‌های موهومی و حقیقی  $s'(t)$  می‌باشند.

مردمک چشم، فاصله‌ی زمانی خیره ماندن (Eye gaze)، فاصله‌ی زمانی پلک زدن، حرکات بدن (Gesture)، طرز قرارگیری بدن (Posture) و سیگنال‌های فیزیولوژیکی همچون الکتروانسفالوگرام (Electroencephalogram یا EEG) به دست آمده است (۵).

استخراج ویژگی از تحلیل‌های زمان-فرکانس سیگنال EEG نیز در مطالعات مختلف به کار رفته است که در واکنش به شنیدن موسیقی (۶) یا تماشای فیلم مورد ارزیابی بوده است (۷-۸، ۲). در یک مطالعه، ارتباط بین کانال‌های EEG را زمانی که آزمودنی‌ها در حالت‌های مختلف احساسی قرار می‌گرفتند، ارزیابی کردند (۹). در این مطالعه، نشان داده شد، هنگامی که افراد در یک موقعیت احساسی قرار می‌گیرند، بین جفت الکترودها ارتباط برقرار می‌شود. علاوه بر این، خوشایندی و انگیزختگی از الگوی خاصی در ارتباطات پیروی می‌کنند. ویژگی‌های ارتباط عملکردی (Functional connectivity) و ارتباط مؤثر (Effective connectivity) که وابستگی آماری بین فعالیت هم‌زمان واحدهای نورونی را شامل می‌شود، جهت بازشناسی احساس در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۰).

نتایج حاصل از مطالعات گذشته، به خوبی نشان داده است که با توجه به ماهیت پیوسته و تنوع احساس، نمی‌توان به صورت دقیق در چند دسته‌ی گسسته آن را بیان کرد. از سوی دیگر، بیان احساس توسط افراد به طور کمی انجام نمی‌شود و سیگنال‌های الکتریکی مغز، راه مناسب‌تری برای سنجش احساس می‌باشد. این مطالعه، با هدف ارزیابی رهیافتی برای بازشناسی کمی و پیوسته از احساس با استفاده از ویژگی‌های ارتباط عملکردی استخراج شده از EEG و مبتنی بر روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means و تلفیق فازی انجام گردید.

## روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌گان پایگاه داده‌ی Database for emotion analysis using physiological signals (DEAP) استفاده شد. ابتدا، ویژگی‌های ارتباطات عملکردی مغز استخراج گردید. سپس، انتخاب ویژگی‌ها با استفاده روش خطی Fisher انجام شد. ویژگی‌های انتخاب شده، به عنوان ورودی به خوشه‌بندی Fuzzy c-means داده شدند. مقادیر عضویت حاصل از خوشه‌بندی به سیستم خبره داده شد تا وزن خوشه‌ها را تعیین کند. در نهایت، با استفاده از مدل خوشایندی و انگیزختگی، احساس فرد توسط تلفیق فازی به صورت کمی و پیوسته، به دست آمد.

**پایگاه داده‌ی DEAP** این پایگاه داده توسط Koelstra و همکاران برای تجزیه و تحلیل احساسات انسان ثبت شده است (۲). داده‌ها مطابق استاندارد ۲۰-۱۰ از ۳۲ کانال EEG و ۸ داده‌گان جانبی از ۳۲ فرد تحت آزمایش در هنگام پخش ۴۰ فیلم یک دقیقه‌ای و با

به صورتی که به ترتیب برای مقادیر زیاد، متوسط و کم، وزن ۱، ۰/۵۰ و ۰/۱ اختصاص داده شد.

**تلفیق فازی:** در نهایت، مقدار عضویت حاصل از خوشه‌بندی Fuzzy c-means، در وزن‌های خوشایندی و انگیزندگی هر خوشه (که توسط سیستم خبره حاصل شده است) ضرب گردید و نمره‌ای کمی و پیوسته برای خوشایندی و انگیزندگی احساس، تعیین شد.

**معیار کمی ارزیابی:** صحت، معیاری است که در بردارهای گسسته مورد استفاده قرار گرفت. مطالعات گذشته، از این معیار در دو بازه‌ی ۱-۵ و ۹-۵ استفاده کرده‌اند (۱۰). بنابراین، جهت مقایسه‌ی روش پیشنهادی با مطالعات گذشته، از این معیار استفاده شد. با توجه به پیوسته بودن مقادیر برآورد شده، چنانچه مقادیر تخمینی و گزارش شده، دارای فاصله‌ی کمتر از ۴/۵ باشند، تخمین صحیح تلقی می‌شود.

$$s'(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)h(t - \tau)dt \quad (5)$$

$$\varphi_x(t) = \arctan \frac{\Im s'(t)}{\Re s'(t)} \quad (6)$$

**انتخاب ویژگی: تفکیک خطی Fisher** در مرحله‌ی بعد، معیار تفکیک خطی Fisher برای انتخاب ویژگی‌ها استفاده شده است. اگر  $f_i$ ، آمین بعد ویژگی باشد، تفکیک کننده‌ی الگوریتم که برای هر بعد ویژگی است، به صورت رابطه‌ی (۷) محاسبه خواهد شد.  $U_i1$  و  $U_i2$  میانگین مقادیر  $f_i$  در دو دسته‌ی مختلف و  $\sigma_{i1}^2$  و  $\sigma_{i2}^2$  انحراف استاندارد  $f_i$  در دو دسته‌ی مختلف است.

$$J_i(f_i) = \frac{|U_i1 - U_i2|}{\sigma_{i1}^2 + \sigma_{i2}^2} \quad (7)$$

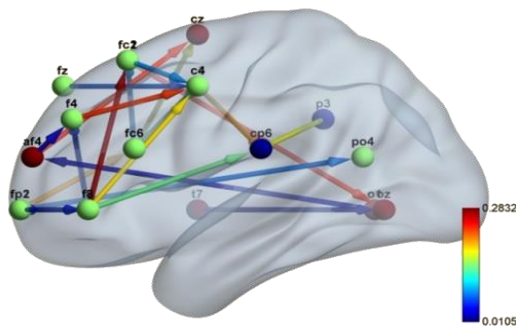
جهت انتخاب ویژگی‌هایی که خوشه‌های متفاوت را متمایز کند، مقدار آستانه‌ی ۰/۳ (۱۱) برای تمایز متناظر Fisher (Corresponding discriminant)  $J_i(f_i)$  در نظر گرفته شد. **خوشه‌بندی فازی:** الگوریتم خوشه‌بندی Fuzzy c-means، ابزار خوشه‌بندی الگو برای داده‌هایی است که دارای نویز (Noise) هستند و یا مشخصات ناقصی از آن‌ها وجود دارد (۱). این نوع خوشه‌بندی، با اختصاص مقدار تعلق به هر داده نسبت به هر مرکز خوشه بر اساس فاصله‌ی بین مرکز خوشه و داده، کار می‌کند. هر چه داده به مرکز خوشه نزدیک‌تر باشد، میزان تعلق به آن خوشه بیشتر است (۱۲).

برای خوشایندی و انگیزندگی، ۹ خوشه از ترکیب حالات مختلف شامل خوشایندی کم - انگیزندگی کم، خوشایندی کم - انگیزندگی متوسط، خوشایندی کم - انگیزندگی زیاد، خوشایندی متوسط - انگیزندگی کم، خوشایندی متوسط - انگیزندگی متوسط، خوشایندی متوسط - انگیزندگی زیاد، خوشایندی زیاد - انگیزندگی کم، خوشایندی زیاد - انگیزندگی متوسط و خوشایندی زیاد - انگیزندگی زیاد به دست آمد.

**اختصاص وزن به خوشه‌ها:** برچسب‌زنی خوشه‌ها به شیوه‌ی قاعده‌مندی انجام شد و متناظر با هر برچسب، وزنی اختصاص یافت؛

### یافته‌ها

ارتباطات عملکردی انتخاب شده توسط تفکیک خطی Fisher در شکل ۱ بر روی تصویر شماتیک مغز نشان داده شده است.



شکل ۱. نمایش ارتباطات عملکردی انتخاب شده توسط تفکیک خطی Fisher بر روی تصویر شماتیک مغز

همچنین، ارتباطات بین جفت الکترودها که طبق تمایز Fisher، دارای مقداری بین ۰/۱-۰ هستند، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ارتباط بین جفت الکترودهایی که مقدار تمایز Fisher بین ۰/۱-۰ دارند.

ارتباط	عملکرد	ناحیه‌ی Brodmann	نام الکتروود
T7	بینایی	17R- بینایی اولیه	Oz
Oz	شنوایی	42L- شنوایی اولیه	T7
AF4	تشخیص اشیا و رنگ	18L- بینایی ارتباطی	O1
Fz,O1,Cz,T8,Cp6	تحریک احساس، بازشناسی احساس از دیگران، توجه به احساسات مثبت	9R- پیش‌پیشانی (جانبی و میانی)	AF4
AF4	کنترل حرکت چشم	47L- سطح جانبی پیشانی به سمت قشر حلقه‌ی چشمی پیشانی	Fz
F7-F8	تحریک احساس - کارکرد اجرایی	10R- پیش‌پیشانی قدامی	Fp2
Fp2-F4	تجربه‌ی احساس	47L- پیشانی	F7
Fz,FC5,F8,F9,C2,FC5	حرکات ساکادیک چشم	5L- ناحیه‌ی حسی	Cz

جدول ۲. مقدار میانگین و انحراف معیار برای معیار کمی صحت برای ویژگی‌ها

ویژگی اندازه‌گیری شده	همبستگی	مقدار قفل فاز	همدوسی
صحت خوشایندی	۰/۸۹۰ ± ۰/۰۷۸	۰/۸۸۸ ± ۰/۰۶۶	۰/۹۰۱ ± ۰/۰۷۹
صحت انگیزتگی	۰/۸۵۱ ± ۰/۰۸۳	۰/۸۴۹ ± ۰/۰۸۴	۰/۸۶۰ ± ۰/۰۸۳

آن‌ها برای خوشایندی  $0/068 \pm 0/0761$  و برای انگیزتگی  $0/078 \pm 0/0735$  بوده است (۱۰).

نظر به این که در حوزه‌ی بازشناسی احساس، مطالعات متعددی با استفاده از پایگاه داده‌ی DEAP انجام شده است (۱۹، ۱۰، ۲)، در این مقاله نیز از این پایگاه داده استفاده شده است تا بتوان کارایی روش پیشنهادی را در قیاس با مطالعات دیگر سنجید. همچنین، به دلیل پیوسته بودن نمرات گزارش شده در پایگاه داده‌ی DEAP (۲)، امکان ارزیابی مستقیم نتایج پیوسته‌ی به دست آمده از روش پیشنهادی فراهم شده است.

با توجه به این که افراد مختلف، از محرکی یکسان، احساس‌های متفاوت درک می‌کنند، ویژگی‌های ارتباط عملکردی برای هر فرد به صورت مستقل استخراج گردید. ویژگی‌های انتخاب شده، به وسیله‌ی شاخص تمایز Fisher نیز می‌تواند برای افراد مختلف، متفاوت باشد (۱۰). این شیوه، امکان لحاظ نمودن تفاوت‌های فردی را در روش پیشنهادی فراهم نموده است.

ارتباطات عملکردی انتخاب شده توسط تفکیک خطی Fisher (شکل ۱ و جدول ۱) نشان می‌دهد زمانی که آزمودنی در حال تماشای فیلم است، نواحی مرتبط به بینایی، شنوایی و ادراک احساس، هم‌زمان برانگیخته می‌شوند. ناحیه‌ی بینایی اولیه (Oz) و شنوایی اولیه (T7) جهت دیدن و شنیدن صدای فیلم با یکدیگر ارتباط دارند. همچنین ناحیه‌ی O1 (جهت تشخیص رنگ و شکل اشیا) هم‌زمان با ناحیه‌ی AF4 (جهت تحریک و بازشناسی احساس هیجانی) برانگیخته می‌شود.

این ناحیه با نواحی متعددی همچون Fz و Cz در ارتباط است که به ترتیب، منجر به حرکات ساکادیک چشم و کنترل حرکات چشم می‌شوند. دو زوج الکتروود Fp2 و F7 نیز دارای ارتباط عملکردی می‌باشند. این دو ناحیه، به ترتیب منجر به تحریک احساس هیجانی و تجربه‌ی احساس هیجانی می‌گردند. در واقع، Fp2 که در قسمت پیش پیشانی مغز قرار دارد، جزء نواحی مرتبط به کارکرد اجرایی است که منجر می‌شود فرد احساس هیجانی به دست آمده از فیلم را درک کند (۲۰). بنابراین، شواهد حاصل از نگاشت نشان می‌دهد که ماتریس ویژگی و تفکیک خطی Fisher به دست آمده از آن، فعالیت‌های رخ داده شده در مغز را که مرتبط به درک احساس هیجانی است، تأیید می‌کند.

صحت مقادیر احساس بازشناسی شده به روش پیشنهادی در مقایسه با مقادیر گزارش شده توسط آزمودنی‌ها سنجیده شده است. جدول ۲، صحت روش پیشنهادی را برای هر کدام از ویژگی‌ها نشان می‌دهد. در جدول ۳ نیز نتایج روش پیشنهادی، با نتایج مطالعاتی که بازشناسی احساس را به صورت گسسته روی پایگاه داده‌ی DEAP انجام داده‌اند، مقایسه گردیده است.

جدول ۳. مقایسه‌ی صحت نتایج روش پیشنهادی با نتایج پژوهش‌های

گذشته در زمینه‌ی بازشناسی احساس با پایگاه داده‌ی DEAP

(Database for emotion analysis using physiological signals)، که

به صورت گسسته، دودویی و با نظارت دسته‌بندی شده‌اند.

مطالعه	خوشایندی	انگیزتگی
Koelstra و همکاران (۲)	۰/۵۷۶۰	۰/۶۲۰۰
Chen و همکاران (۱۰)	۰/۷۶۱ ± ۰/۰۶۸	۰/۷۳۵ ± ۰/۰۷۸
Yoon و Chung (۱۳)	۰/۶۶۶۰	۰/۶۶۴۰
Saha و Naser (۱۴)	۰/۶۴۳۰	۰/۶۶۲۰
بهاری و جانتقرانی (۱۵)	۰/۵۸۰۵ ± ۰/۰۹۳	۰/۶۴۵ ± ۰/۱۰۷
Torres-Valencia و همکاران (۱۶)	۰/۵۷۸ ± ۰/۰۳۸	۰/۵۵۰ ± ۰/۰۴۵
Zhuang و همکاران (۱۷)	۰/۷۰۹ ± ۰/۱۱۴	۰/۶۷۱ ± ۰/۱۴۱
روش پیشنهادی	۰/۹۰۱ ± ۰/۰۷۹	۰/۸۶۰ ± ۰/۰۸۳

## بحث

استفاده از خوشه‌بندی Fuzzy c-means برای کاربردهایی مانند احساس که قطعیت در بیان آن‌ها وجود ندارد، مفیدتر از روش‌های با نظارت مانند ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine) است (۱۸). در روش پیشنهادی، علاوه بر خوشه‌بندی Fuzzy c-means، از تلفیق فازی برای پیوسته نمودن مقادیر احساس، استفاده شده است. بنابراین، بازشناسی احساس با دو مشخصه‌ی خوشایندی و انگیزتگی با صحت بالاتری نسبت به سایر مطالعات (جدول ۳)، انجام شده است؛ به طوری که Chen و همکاران، ویژگی‌های ارتباطات عملکردی را از پایگاه داده‌ی DEAP استخراج کردند و پس از تفکیک Fisher، ویژگی‌ها به روش ماشین بردار پشتیبان چند کلاسه دسته‌بندی شده‌اند. بالاترین صحت مطالعه‌ی

مثال، در درمان بسیاری از اختلالات روان‌پزشکی نیاز است اطلاعات پیوسته‌ای از حالات احساسی افراد در دسترس باشد. همچنین، این روش، در تسهیل تعاملات بین کامپیوتر و انسان در حیطه‌های مختلف نقش مؤثری دارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از تهیه‌کنندگان مجموعه‌ی داده DEAP در تامین داده‌های آزمایشگاهی پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مقایسه‌ی نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد که صحت خوشایندی بالاتر از صحت انگیزندگی است. این نتیجه، هم‌راستا با مطالعات قبل می‌باشد (۹-۱۰). همچنین، صحت ویژگی همدوسی برای آزمودنی نسبت به سایر ویژگی‌ها بالاتر بود.

در روش پیشنهادی، از برجسب‌هایی که توسط کاربران بر خط زده شده بود، استفاده گردید. بنابراین، تخمین مشخصه‌های خوشایندی و انگیزندگی احساس آزمودنی‌ها، مستقل از خودگزارشی فرد می‌باشد. این پژوهش، در مطالعات بازتوانی شناختی مفید است. به عنوان

### References

- Konar A, Chakraborty A. Emotion recognition: A pattern analysis approach. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons; 2015.
- Koelstra S, Muhl C, Soleymani M, Lee JS, Yazdani A, Ebrahimi T, et al. DEAP: A database for emotion analysis; using physiological signals. *IEEE Trans Affect Comput* 2012; 3(1): 18-31.
- Guo Y, Gao H. Emotion recognition system in images based on fuzzy neural network and HMM. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> IEEE International Conference on Cognitive Informatics*; 2006 Jul 17-19; Beijing, China. p. 73-8.
- Posner J, Russell JA, Peterson BS. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Dev Psychopathol* 2005; 17(3): 715-34.
- Soleymani M, Pantic M, Pun T. Multimodal emotion recognition in response to videos. *IEEE Trans Affect Comput* 2012; 3(2): 211-23.
- Naji M, Firoozabadi M, Azadfallah P. Emotion classification during music listening from forehead biosignals. *Signal Image Video Process* 2015; 9(6): 1365-75.
- Soleymani M, Lichtenauer J, Pun T, Pantic M. A multimodal database for affect recognition and implicit tagging. *IEEE Trans Affect Comput* 2012; 3(1): 42-55.
- Koelstra S, Patras I. Fusion of facial expressions and EEG for implicit affective tagging. *Image Vis Comput* 2013; 31(2): 164-74.
- Lithari C, Klados MA, Bamidis PD. Graph analysis on functional connectivity networks during an emotional paradigm. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing*; 2010 May 27-30; Chalkidiki, Greece. Berlin, Germany: Springer; 2010. p. 115-8.
- Chen M, Han J, Guo L, Wang J, Patras I. Identifying valence and arousal levels via connectivity between EEG channels. *Proceedings of the 2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*; 2015 Sep 21-24; Xi'an, China. p. 63-9.
- Niso G, Bruna R, Pereda E, Gutierrez R, Bajo R, Maestu F, et al. HERMES: Towards an integrated toolbox to characterize functional and effective brain connectivity. *Neuroinformatics* 2013; 11(4): 405-34.
- Pourmohammadi S, Maleki A. An automatic approach to continuous stress assessment during driving based on fuzzy c-means clustering. *The Modares Journal of Electrical Engineering* 2013; 13(1): 9-17.
- Chung SY, Yoon HJ. Affective classification using Bayesian classifier and supervised learning. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems*; 2012 Oct 17-21; JeJu Island, South Korea. p. 1768-71.
- Naser DS, Saha G. Recognition of emotions induced by music videos using DT-CWPT. *Proceedings of the 2013 Indian Conference on Medical Informatics and Telemedicine*; 2013 Mar 28-30; Kharagpur, India: p. 53-7.
- Bahari F, Janghorbani A. EEG-based emotion recognition using Recurrence Plot analysis and K nearest neighbor classifier. *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Iranian Conference on Biomedical Engineering*; 2013 Dec 18-20; Tehran, Iran. p. 228-33.
- Torres-Valencia CA, Garcia-Arias HF, Lopez MAA, Orozco-Gutierrez AA. Comparative analysis of physiological signals and electroencephalogram (EEG) for multimodal emotion recognition using generative models. *Proceedings of the 19<sup>th</sup> Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision* 2014 Sep 17-19; Armenia, Colombia. p. 1-5.
- Zhuang X, Rozgiç V, Crystal M. Compact unsupervised EEG response representation for emotion recognition. *Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics*; 2014 June 1-4; Valencia, Spain. p. 736-9.
- Singh BK, Verma K, Thoke AS. Fuzzy cluster based neural network classifier for classifying breast tumors in ultrasound images. *Expert Systems with Applications* 2016; 66(Supplement C): 114-23.
- Bastos-Filho TF, Ferreira A, Atencio AC, Arjunan S, Kumar D. Evaluation of feature extraction techniques in emotional state recognition. 2012 p. 1-6.
- Nolte J. *The human brain: An introduction to its functional anatomy*. 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Mosby; 2009.

## An Automated Approach for Quantifying Emotional Conditions based on Electroencephalogram Signals

Fahimeh Parsaei<sup>1</sup>, Ali Maleki<sup>2</sup>, Mohammad Reza Daliri<sup>3</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** Emotion is a psychological process of the mind. It not only has an important role in human interactions, but also has been the subject of attention in human-computer interactions in recent years. Because of diversity and uncertainty nature of the emotion, as well as the individuals' inability to accurately and quantitatively express their emotions, a quantitative measure for emotion is needed. To describe different emotional states, we used arousal-valence two-dimensional model of emotion.

**Methods:** To propose an approach for emotion recognition based on fuzzy clustering, individuals' electroencephalogram signals during watching videos along with self-reports about their emotions were achieved from database for emotion analysis using physiological signals (DEAP). Three features of functional connectivity of the brain including correlation, phase locked value, and coherence were investigated and clustered using fuzzy c-means clustering approach. Finally, according to online rating and clustering results for each feature, quantitative and continuous values for valence and arousal were obtained.

**Findings:** We achieved  $0.901 \pm 0.079$  of valence accuracy and  $0.860 \pm 0.083$  of arousal accuracy. Selected functional connections were related to simultaneous activation of visual, auditory, and sensory perception areas of brain cortex.

**Conclusion:** The accuracy of the results was more than previous studies which were done on emotion recognition based on binary method. In addition, the results indicated that emotion estimation based on coherence had better accuracy than the other investigated features. This results for valence were more than previous studies. The results of this study are applicable in improving human-computer interactions as well as in the area of cognitive rehabilitation.

**Keywords:** Electroencephalography, Fuzzy logic, Brain electrical activity mapping

**Citation:** Parsaei F, Maleki A, Daliri MR. An Automated Approach for Quantifying Emotional Conditions based on Electroencephalogram Signals. J Isfahan Med Sch 2018; 35(458): 1732-7.

1- MSc Student, Department of Cognitive Science (Cognitive Psychology), School of New Sciences and Technologies, Semnan University, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biomedical Engineering, School of Electrical and Computer Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

3- Associate Professor, Department of Biomedical Engineering, School of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

**Corresponding Author:** Ali Maleki, Email: amaleki@semnan.ac.ir