Journal of Applied And Basic Machine Intelligence Research (ABMIR)

پژوهش‌های نظری و کاربردی هوش ماشینی

سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۰-۶۷

یک مدل جدید پیش‌بینی رفتار هیجانی مبتنی بر حافظه انجمنی دوسویه

مهسا روانبخش *

مؤسسه آموزش عالی علوم‌شناختی، تهران، ایران

چکیده

مقاله پژوهشی

هنگامی‌که یک فرد تحت تأثیر یک محرک هیجانی قرار می‌گیرد، حالت هیجانی او تغییر می‌کند. این تغییرات در زمان گفتگو به‌خوبی در صدا و لحن گفتار نمود پیدا می‌کنند. این محتوای هیجانی در قالب مؤلفه‌های زبان‌شناختی از طریق پیام‌های گفتاری به افراد منتقل می‌شود. در سوی دیگر، شنونده سخن قادر است تا این محتوای هیجانی پیام دریافت شده را بازشناسی کند و همچنین رفتار هیجانی همبسته با آن را پیش‌بینی کند. سیستم عصبی و شناختی انسان قادر است این فرآیند را باوجود تمامی پیچیدگی‌ها به‌راحتی انجام دهد. به‌عبارت‌دیگر، محتوای هیجانی موجود در گفتار را بازشناسی کرده و متناسب با آن حالت هیجانی بازشناسی شده مجموعه‌ای از رفتارهای همبسته را برای گوینده گفتار، پیش‌بینی کند. این موضوع در مطالعات تعامل انسان و ماشین بسیار حائز اهمیت است. در اینجا، مدلی بر اساس حافظه انجمنی دوسویه ارائه‌شده است که قادر است بر اساس حالت هیجانی، رفتار هیجانی مربوطه را پیش‌بینی کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهند، این مدل قادر است فرآیند نگاشت میان حالات هیجانی و مجموعه رفتارهای مربوطه را به‌صورت دوسویه انجام دهد و به‌صورت قدرتمندی در برابر درجاتی از ناکاملی اطلاعات و میزانی از نویز کارآمد باشد.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۳/۳۰

کلیدواژه‌ها:
پیش‌بینی رفتار هیجانی، حافظه انجمنی دوسویه، رفتار هیجانی، حالت هیجانی، هیجان

نویسنده‌مسئول:
mahsa.ravanbakhsh@gmail.com

: 10.22034/ABMIR.2023.19829.1026

E-ISSN: 2821-2037 /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

انسان‌ها با یکدیگر گفتگو می‌کنند تا پیام خود را از طریق گفتار با مخاطبان خود به اشتراک بگذارند. گفتارِ حامل پیام را می‌توان همچون یک بسته در نظر گرفت که حاوی اطلاعات فراوانی مانند واژگان، نحو، جنسیت، سن، حالت هیجانی گوینده گفتار و بسیاری دیگر از انواع اطلاعات است. عوامل مختلفی مانند محرک‌های محیطی قادرند تا حالت هیجانی انسان را تحت تأثیر قرار دهند و دچار دگرگونی کنند. این تغییرات در رفتار، گفتار، تنفس، ضربان قلب، میمیک صورت، ژست‌های بدنی و تعرق نمود پیدا می‌کنند [۱، ۲]. حالت هیجانی در گفتار می‌تواند به‌صورت کلامی (از طریق واژگان) و یا غیرکلامی یعنی به‌صورت تغییرات در لحن گوینده گفتار بیان شود. شایان‌ذکر است که بار هیجانی گفتار می‌تواند معنای آن را دستخوش تغییر قرار دهد [۳]. پژوهش‌ها و مطالعات فراوانی پیرامون بازشناسی حالت هیجانی گفتار با دیدگاه‌های گوناگون انجام‌شده است [٤]. اما نتایج این مطالعات تنها شامل بازشناسی حالت هیجانی گوینده بر اساس گفتار بیان‌شده توسط او است. شکل (۱) به‌صورت شماتیک این فرآیند را نشان می‌دهد.

شکل (۱): سامانه بازشناسی حالت هیجانی گفتار به‌صورت شماتیک

اما مفهومی با عنوان «*محاسبات عاطفی*[1]» توسط پیکارد[2] در علوم کامپیوتر مطرح شد [۱]؛ ایده بنیادین واصلی در این مفهوم این بود که ماشین قادر باشد حالات هیجانی انسان را بازشناسی و تفسیر کند و مطابق با آن حالت هیجانی، پاسخ یا رفتار مناسب ارائه کند. این مفهوم الهام‌بخش این ایده است که می‌توان گام را فراتر از بازشناسی حالت هیجانی گفتار گذاشت و رفتار آتی همبسته باحالت هیجانی بازشناسی شده را هم پیش‌بینی کرد. این کار در تعامل کارآمد انسان و ماشین از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

موجودات به‌خودی‌خود یا در واکنش به محرک‌های محیطی پیرامونی خود فعالیت‌هایی را انجام می‌دهند که تحت عنوان «*رفتار*» شناخته می‌شوند [۵]. برخی از این رفتارها در درون موجود نهفته هستند همچون ضربان قلب و انقباض رودها و برخی دیگر نمود بیرونی دارند همچون راه رفتن و تغییرات در اعضای صورت.

محرک‌های هیجانی که نتیجه رویدادهای مختلفی هستند، حالت هیجانی و ذهنی را تغییر می‌دهند و بر اساس نوع انگیزه‌ای که ایجاد می‌کنند انسان را به‌سوی انجام عملی سوق می‌دهند. بنابراین، تغییر حالت هیجانی پایان فرآیند هیجان نیست و یک توالی را به دنبال دارد [٦]. به‌طور خلاصه رویدادی سبب ایجاد یک محرک هیجانی می‌شود و حالت هیجانی را تغییر می‌دهد. این تغییر حالت هیجانی سبب برخی تغییرات بدنی و فیزیولوژیکی در انسان می‌شود. درنتیجه این تغییرات، نوع حالت هیجانی بازشناسی می‌شود و انسان به آن آگاهی می‌یابد. در ادامه در پاسخ به محرک هیجانی، رفتاری تولید می‌شود که معمولاً برای دستیابی به یک هدف مطلوب صورت می‌گیرد. در جدول (۱) همبستگی بین رویداد محرک، حالت هیجانی، شناخت، رفتار و هدف مطلوب مربوطه برای برخی از رویداهای هیجانی را نشان می‌دهد.

جدول (۱): همبستگی بین رویداد محرک، حالت هیجانی، شناخت، رفتار و هدف مطلوب [٦].

رویداد محرک	شناخت	حالت هیجانی	رفتار آشکار	اثر/نتیجه
تهدید	خطر	ترس	فرار	امنیت
مانع	دشمن	خشم	حمله	تخریب مانع
به دست آوردن چیز ارزشمند	داشتن	لذت	حفظ یا تکرار	به دست آوردن منابع یا ژن‌های جدید
از دست دادن چیز ارزشمند	رها کردن	غمگینی	گریه کردن	اتصال مجدد به چیز ازدست‌رفته
عضویت در یک گروه	دوست	پذیرفته شدن	رفیق بود	حمایت متقابل

[1] Affective Computing

[2] R. W. Picard

چیز نامطلوب	مسموم	انزجار	استفراغ کردن	بیرون کشیدن سم
قلمرو جدید	بررسی کردن	انتظار داشتن	نقشه کشیدن	دانش قلمرو
رویداد غیرمنتظره	چیست؟	تعجب	توقف	به دست آوردن زمان برای جهت‌یابی

زمانی که یک فرد تحت تأثیر یک محرک هیجانی قرار می‌گیرد، حالات هیجانی او دستخوش تغییر قرار می‌گیرند. این تغییرات زمانی که فرد در گفتگو با مخاطبانش است به‌خوبی در صدا و لحنِ گفتارش نمود پیدا می‌کنند و این محتوای هیجانی در قالب مؤلفه‌های زبان‌شناختی از طریق پیام‌های گفتاری به افراد منتقل می‌شوند. در سوی دیگر، مخاطب یا شنونده سخن قادر است تا این محتوای هیجانی پیام دریافت شده را بازشناسی کند و همچنین رفتار هیجانی همبسته با آن را پیش‌بینی کند. سیستم عصبی و شناختی انسان قادر است این فرآیند را باوجود تمامی پیچیدگی‌ها به‌راحتی انجام دهد. رابطه حالات هیجانی و رفتارهای همبسته با حالات هیجانی بیشتر با رویکردهای روان‌شناسانه موردمطالعه قرارگرفته است، به‌عنوان‌مثال در [۷] یک مدل ذهنی برای پیش‌بینی حالات هیجانی و رفتار همبسته با آن‌ها ارائه‌شده است. همچنین پژوهش‌هایی با تمرکز بر مسئله تعامل انسان و ماشین با دیدگاه رایانشی نیز انجام‌شده‌اند که سعی دارند با ارائه یک مدل محاسباتی با استفاده از رفتارهای بیان‌شده توسط افراد، حالت هیجانی همبسته را بازشناسی کنند [۸، ۹]. به‌بیان‌دیگر اکثر مطالعات و پژوهش‌ها پیرامون بازشناسی حالت هیجان بر اساس رفتار بیان‌شده توسط فرد قرار دارند و نه پیش‌بینی رفتار هیجانی بر اساس حالت هیجانی فرد.

در این مقاله، مسئله اصلی که در اینجا با آن روبه‌رو هستیم، ارائه مدلی است که بتواند فرآیند نگاشت میان حالات هیجانی و مجموعه رفتارهای مرتبط با حالات هیجانی را به‌صورت دوسویه انجام دهد و به‌صورت قدرتمندی بتواند در برابر درجاتی از ناکاملی اطلاعات و میزانی از نویز کارآمد باشد. به همین منظور در این مقاله سعی داریم مدلی بر اساس حافظه انجمنی دوسویه ارائه کنیم که قادر باشد نگاشت میان حالت هیجانی و رفتار هیجانی مربوطه را انجام دهد و درنهایت قادر باشد بر اساس حالت هیجانی، رفتار هیجانی مربوطه را پیش‌بینی کند. در ادامه نخست مروری خواهیم داشت بر مفاهیم پایه و مطالعات پیشین، سپس حافظه انجمنی دوسویه را تشریح خواهد شد. در ادامه مدل پیشنهادی، نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی محاسباتی و نتیجه‌گیری ارائه می‌شوند.

۲- مفاهیم بنیادین

۲-۱ هیجان

هیجان توسط عصب‌شناسان، روان‌شناسان، فیزیولوژیست‌ها و فلاسفه و البته با دیدگاه‌ها و رویکردهای گوناگون موردبررسی و مطالعه قرارگرفته است. هیجان ازجمله مفاهیمی است که از پیچیدگی بالایی برخوردار است که ارائه یک تعریف جامع، مشخص و روشن برای آن را با دشواری همراه می‌سازد. تعریفی در [۱۰] برای هیجان ارائه‌شده است که در آن هیجان حاصل تعامل میان عوامل ذهنی، محیطی و فرآیندهای عصبی و هورمونی است. در این تعریف هیجان از تجارب هیجانی ناشی می‌شود و تغییرات فیزیولوژیک را به دنبال دارد. همچنین هیجان‌ها باعث می‌شوند تا انسان تبیین‌های شناختی خَلق کند و همین‌طور باعث فراخوانی رفتارهایی می‌شوند که در اکثر موارد بیانی (مثلاً خندیدن یا گریستن)، هدفمند و انطباقی هستند. با توجه به این تعریف، هیجان‌ها از فرآیندهای زیست‌شناختی، شناختی و یاد گرفته‌شده ناشی می‌شوند. در این مقاله، هیجان به‌عنوان مجموعه‌ای از احساسات، شناخت و پاسخ‌های جسمانی که بازتابی از کنش نظام‌های ارزشی در درون مغز است، تعریف می‌شود [۱۱].

۲-۲ تغییرات الگوهای فیزیولوژیکی و بیان هیجان‌های مختلف

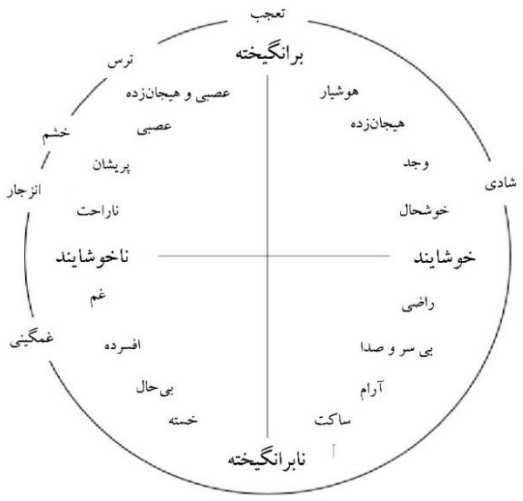
هنگامی‌که هیجان‌هایی مانند ترس یا خشم را تجربه می‌شوند، شاهد یکسری از تغییرات بدنی مانند سریع شدن تنفس و ضربان قلب، عرق کردن، لرزیدن، خشک شدن دهان و گلو و احساس دل‌آشوبگی هستیم [۱۲]. بسیاری از این تغییرات فیزیولوژیک که در زمان تجربه‌های هیجانی ایجاد می‌شوند نتیجه فعالیت بخش

سمپاتیک[1] دستگاه عصبی خودمختار[2] می‌باشند [۱۲]. این دستگاه، بدن را برای واکنش فوری آماده می‌کند و باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک همچون افزایش فشارخون و ضربان قلب، تندتر شدن تنفس، فراخ شدن مردمک چشم، افزایش تعریق و بسیاری دیگر از تغییرات می‌شود. در ادامه با فروکش شدن هیجان، دستگاه عصبی پاراسمپاتیک[3] فعال می‌شود و موجود را به حالت طبیعی برمی‌گرداند. هیجان‌های مثبت در مقایسه با هیجان‌های منفی تغییرات فیزیولوژیک اندکی را به دنبال دارند [۱۲]. برانگیختگی‌های شدید ازجمله مشخصه‌های اصلی دسته‌ای از هیجان‌های منفی به‌حساب می‌آیند که نیاز فوری به انجام یکسری فعالیت‌های خاص دارند و مستلزم صرف انرژی جسمی قابل‌ملاحظه‌ای هستند [۱۲]. مثلاً زمانی که می‌ترسید و تمایل به فرار کردن دارید، بدن با تحریک مناسب دستگاه عصبی خودمختار امکان فرار کردن را فراهم می‌کند. بنابراین هیجان‌ها هم بر ذهن و هم بر بدن اثر می‌گذارند و سبب آماده‌سازی بدن برای تولید اعمال ویژه‌ای متناسب با موقعیت مواجه شده می‌شوند [۱۳].

برانگیختگی دستگاه عصبی خودمختار شدت تجربه‌های هیجانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین هیجان‌های مختلف را از یکدیگر متمایز می‌کند. بر طبق نظریه هیجانی جیمز–لانگه[4]، ادراک برانگیختگی دستگاه عصبی خودمختار و تغییرات بدنی و فیزیولوژیکی ایجادشده، تجربه یک هیجان را شکل می‌دهند و هیجان‌های مختلف احساس‌های متفاوتی را ایجاد می‌کنند. درنتیجه، انواع گوناگون هیجان دارای الگوی ویژه و متمایز فعالیت دستگاه عصبی خودمختار هستند. بنابراین برانگیختگی علاوه بر تأثیر برشدت تجربه‌های هیجانی، انواع هیجان‌ها را نیز از یکدیگر متمایز می‌کند. در [۱۴، ۱۵] نشان دادند که الگوهای فیزیولوژیکی متفاوتی برای هیجان‌های مختلف وجود دارند و در مطالعه [۱۶] شواهدی پیرامون الگوهای متفاوت برانگیختگی دستگاه عصبی خودمختار برای هیجان‌های مختلف به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات و بسیاری از پژوهش‌های دیگر نشان دادند که الگوهای متمایز برانگیختگی جهان‌شمول هستند و حالت‌های هیجانی مختلف را از یکدیگر متمایز می‌کنند.

۲- ۳ حالات هیجانی گوناگون

هر یک از انواع حالات هیجانی از یک الگوی بیان مشخص و ویژه‌ای برخوردارند که فارغ از فرهنگ و جغرافیا هستند. ابراز هیجان یک امر جهان‌شمول است که با الگویی مشابه بروز می‌یابد.



شکل (۲): ساختار حالات هیجانی بر اساس معیارهای خوشایندی و انگیختگی [۱۸].

این ویژگی امکان دسته‌بندی و طبقه‌بندی انواع حالات هیجانی را فراهم می‌کند. پژوهشگرانی چون ایزارد[5]، اکمن[6] و پلاچیک[7] طبقه‌بندی‌ها و الگوهایی را برای هیجان‌ها ارائه کرده‌اند. معمولاً این دسته‌بندی‌ها و طبقه‌بندی‌ها بر اساس معیارهایی انجام می‌گیرد تا حالات هیجانی مختلف را از یکدیگر متمایز کنند. خوشایندی و انگیختگی دو معیار اساسی و مهم برای تمایز حالات هیجانی از یکدیگر هستند [۱۷]. این ابعاد به ترتیب با ارزیابی شناختی و واکنش‌های جسمانی دارای همبستگی هستند. شکل (۲)، ساختار حالات هیجانی را با توجه به ابعاد خوشایندی و انگیختگی را نشان می‌دهد. با توجه به این دو معیار می‌توانیم حالات هیجانی گوناگون را برچسب‌گذاری و از یکدیگر تفکیک کنیم. مثلاً بر اساس این ساختار، اگر فردی در موقعیتی قرار بگیرد که اهداف او با مانع

[1] Sympathetic Nervous System (SNS)
[2] Autonomic Nervous System (ANS)
[3] Parasympathetic Nervous System (PSNS)
[4] James–Lange Theory
[5] C. E. Izard
[6] P. Ekman
[7] R. Plutchik

مواجه شود خشمگین می‌شود. در این حالت بار خوشایندی او منفی است و دارای انگیختگی بالایی است.

همچنین نظریه‌هایی مختلفی همچون نظریه تخته شستی نقاشی برای مشخص کردن انواع حالت‌های هیجانی ارائه‌شده‌اند [۱۹]. در این نظریه تعدادی حالت هیجانی پایه مانند رنگ‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند و از ترکیب این هیجان‌های پایه سایر حالت‌های هیجانی به وجود می‌آیند. معمولاً حالت‌های هیجانی پایه عبارت‌اند از شادی، غم، ترس، تعجب، خشم و انزجار [۲۰].

۲-۴ حافظه

حافظه، اصطلاحی است که به سامانه‌های مختلف مغزی با خصوصیت‌های گوناگون اشاره دارد و از قابلیت به خاطر آوردن یا تکرار کردن یک تصویر ذهنی ویژه و یا حتی یک عمل فیزیکی برخوردار است [۱۱]. این قابلیت حافظه وابسته به تغییرات در توان سیناپس‌های نورون‌ها یا سلول‌ها عصبی است. حافظه بسان بازنمایی پایداری در مغز است که در افکار، تجارب و رفتارهای ما بازتاب پیدا می‌کند [۲۱]. اندوزش یا شکل‌گیری حافظه عبارت است از تقویت پیوندگاه‌های بین نورون‌های محتوای خاص در سطحی گسترده در بسیاری از مناطق مغزی [۲۲]. حافظه دارای آثاری به‌شدت توزیع‌شده در تمامی مغز است و نمی‌توان ذخیره حافظه را تنها به ناحیه ویژه‌ای از مغز اختصاص داد [۲۱].

مغز قادر است تا در برابر شرایط جدید از خود انعطاف نشان دهد و این یادگیری است که چنین قابلیتی را برای آن فراهم می‌کند [۲۱]. یادگیری عبارت است از تغییرات در وزن‌های سیناپسی نورون‌ها که به‌خوبی ارتباط یادگیری و حافظه را نشان می‌دهد. یادگیری هِبی[1] یکی از انواع یادگیری است. این یادگیری، فرآیندی در شبکه‌های عصبی میان پیوندِ دو نورونی است که به‌طور هم‌زمان برانگیخته می‌شوند و تکرار آن سبب مستحکم‌تر شدن این پیوند می‌شود [۱۷]. مطالعات نشان می‌دهند که نواحی پیرامونی هیپوکامپ واقع در قطعه گیجگاهی داخلی[2] دارای نقش بسیار مهمی در تبدیل تجارب رویدادی به حافظه کاملاً توزیع‌شده در سراسر قشر مخ است [۲۱].

۲-۵ حافظه انجمنی

سازوکار ذخیره و نگهداری اطلاعات در مغز متفاوت از ذخیره و نگهداری اطلاعات در کامپیوترها است [۲۳]. در کامپیوترها اطلاعات به‌وسیله موقعیت‌شان به‌صورت کدهای باینری ذخیره می‌شوند. بنابراین، اگر یک شبکه عصبی مصنوعی[3] اطلاعات قابل‌اطمینان بر اساس عملکرد مغز فراهم کند، می‌بایست قادر به نگهداری توزیع‌شده اطلاعات بر روی واحدهای متعدد باشد (نسبت به انباره مرکزی در انواع واحدهای معمول) برخلاف انواع معمول که دارای یک انباره مرکزی هستند. چنین انباره‌ای می‌بایست مبتنی بر مفاهیم ذخیره‌سازی بلند-مدت[4] اطلاعات در مغز باشد. این نوع ذخیره‌سازی نتیجه انطباق پیوندهای سیناپسی بین نورون‌ها است، در حقیقت فعالیت‌های نورون‌ها الگوهای ذخیره‌شده را ارائه می‌کنند. فراخوانی اطلاعات ذخیره‌شده در مغز، در درجه نخست متکی بر پیوستگی‌ها با سایر داده‌های ذخیره‌شده است و این پدیده به مفهوم حافظه انجمنی در شبکه‌های مصنوعی انجامیده است.

یک حافظه انجمنی سامانه‌ای است که یک نگاشت از فضای ورودی به فضای خروجی ایجاد می‌کند به‌صورتی که مستلزم تحمل-خطا[5] و همچنین درجه‌ای از ناتمامیت[6] یا سطح قابل قبولی از نویز در هر یک از الگوهای ورودی متعلق به فضای ورودی‌ها باشد.

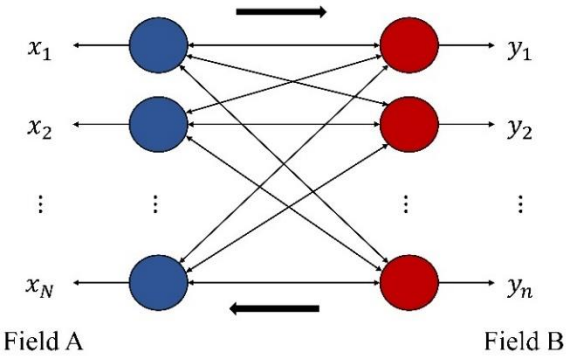
مجموعه‌ای از جفت‌های برداری با مقادیر گسسته[7] را به‌صورت $(x_i, y_i), i = 1,2,\cdots,l$ در نظر بگیرد که x_i و y_i به ترتیب بردارهای r بعدی و p بعدی در فضای ورودی و خروجی هستند. حافظه انجمنی که $(x_i, y_i), i = 1,2,\cdots,l$ را ذخیره می‌کند، می‌بایست به‌طور مطلوبی y_i به‌عنوان خروجی نه‌تنها زمانی که x_i ورودی است بلکه همچنین زمانی که نسخه نویزی x_i یا نسخه ناکامل بخشی از x_i به‌عنوان ورودی در دسترس است را فراهم کند. زمانی که $x_i = y_i, i = 1,2,\cdots,l$ ابعاد در فضای

[1] Hebbian Learning
[2] Medial Temporal Lobe (MTL)
[3] Artificial Neural Network (ANN)
[4] Long-Term
[5] Fault-tolerant
[6] Incompleteness
[7] Discrete-valued Vector Pairs

ورودی و خروجی برابر باشد فرآیند به‌عنوان «خود انجمنی[1]» و در غیر این صورت به‌عنوان «دیگر پیوندی[2]» شناخته می‌شود.

۲-۶ حافظه انجمنی دوسویه

حافظه انجمنی دوسویه یا به‌اختصار بَم[3] یکی از انواع حافظه انجمنی است. ساختار بَم، یک ماتریس نیست بلکه یک شبکه عصبی دولایه به‌صورت N_A و N_B است [۲۴]. بَم یک شبکه دیگر پیوندی است که با استفاده از اصل یادگیری «هب» جفت‌هایی از فضای ورودی و خروجی را با الگوی دودویی (باینری) یا دوقطبی رمزگذاری می‌کند. بدین ترتیب، بَم الگوهای مجموعه A را با الگوهای مجموعه B و بالعکس مرتبط می‌کند که در شکل (۳) نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود با ارائه یک الگو از مجموعه A به ورودی شبکه N_A ، شبکه با یک الگو از مجموعه B مرتبط شده و فراخوانی می‌شود. همچنین هنگامی‌که یک الگو از مجموعه B به ورودی شبکه N_B فرستاده می‌شود با الگویی در مجموعه A ارتباط داده‌شده و فراخوانی می‌شود. به همین دلیل به این ساختار شبکه‌ای، حافظه انجمنی دوسویه گفته می‌شود. در این شبکه، هر واحد نورون یک واحد منطق آستانه‌ای[4] است.



شکل (۳): پیکربندی حافظه انجمنی دوسویه [۲۳].

در شبکه بَم، یک بردار الگوی x ارائه‌شده در لایه A از طریق W یا ماتریس وزن (یال‌های لایه میانی در شکل (۳)) به لایه B خورانده می‌شود، یک بردار الگوی y در لایه B تولید می‌کند [۲۳]. فرض کنید که حالات پایدار در بَم به‌صورت $\{x^i, y^i\}$ و $i = 1,2,\dots,n$ باشد. اگر x به x^j نسبت به سایر بردارهای ذخیره‌شده‌ی x^i که $i \neq j$ نزدیک‌تر باشد، تصویر y از x باید به y^j نزدیک‌تر باشد. سپس y^j از طریق W^T به A پس خورانده می‌شود. توالی این فراخوانی‌های پیوسته عبارت است از:

$$\begin{array}{ccccc} x & \rightarrow & W & \rightarrow & y \\ x' & \leftarrow & W^T & \leftarrow & y \\ x' & \rightarrow & W & \rightarrow & y' \\ x'' & \leftarrow & W^T & \leftarrow & y' \\ & & \vdots & & \\ x^j & \rightarrow & W & \rightarrow & y^j \\ x^j & \leftarrow & W^T & \leftarrow & y^j \\ & & \vdots & & \end{array}$$

سرانجام، شبکه به حالت پایدار (x^j, y^j) دست می‌یابد. در اینجا، وزن اتصالات با توجه به اصل برهم‌نهی[5] همبستگی بین جفت بیت‌های تمامی الگوها معین می‌شوند. این فرآیند به همان صورتی است که در شبکه هاپفیلد[6] برقرار است، تنها با این تفاوت که از همبستگی‌های بین دولایه استفاده می‌شود؛ به این معنی که وزن اتصال از واحد[7] i ام در A به واحد j ام در B از معادله (۱) یا به‌صورت ماتریسی در معادله (۲) داده می‌شود. (در معادلات، ابعاد x برابر با تعداد ویژگی‌های الگوی ورودی و ابعاد y برابر با تعداد ویژگی‌های الگوی خروجی است. همچنین $S = 1,2,\dots,n$ اشاره به تعداد الگوهایی دارد که ذخیره می‌شوند.)

$$w_{ij} = \sum_s x_j^s y_i^s \quad (۱)$$

$$W = \sum_s y^s (x^s)^T \quad (۲)$$

وزن اتصال از واحد j ام در A به واحد i ام در B متقارن است، به این معنا که برابر مقدار فوق است. وزن‌های اتصال پیش از استفاده یا یادگیری استفاده از قانون هب[8] قابل‌محاسبه هستند [۲۳]. شبکه بَم به‌صورت پایدار همگرا است [۲۳]. این پایداری توسط توسعه اثبات همگرائی شبکه هاپفیلد نشان داده می‌شود، قضیه (۱) پایداری شبکه بَم را نشان می‌دهد [۲۳]. شایان‌ذکر است که برای هر ماتریس W، چه متقارن و چه نامتقارن، شبکه بَم همیشه یک شبکه متقارن است و می‌توان پایداری برای هر ماتریس واقعی W را انتظار داشت [۲۳].

[1] Auto-associative
[2] Hetero-associative
[3] Bidirectional Associative Memory (BAM)
[4] Threshold Logic Unit (TLU)
[5] Superposition
[6] Hopfield Network
[7] Unit
[8] Hebbian Rule

قضیه (۱): شبکه بَم برای تمامی اتصالات درونی[1] ماتریس وزن W و برای تمامی به‌روزرسانی‌های حالت به‌صورت‌های ناهمزمان ساده[2]، ناهمزمان عمومی[3] و همزمان[4]، پایدار است [۲۳].

اثبات: به‌روزرسانی‌های ناهمزمان عمومی و همزمان در مفهوم[5] محدودشده‌اند به‌صورتی که تحت تأثیر اتصالاتی که میدان A و میدان B را باید به‌صورت متناوب به‌روزرسانی کنند، هستند. با در نظر گرفتن اصل کلی، فرض می‌شود که تمامی واحدهای منطقی آستانه شبکه دارای آستانه[6] صفر هستند. به‌این‌ترتیب تابع انرژی[7] تعریف می‌شود:

$$E(x,y) = -\frac{1}{2}x^T W^T y - \frac{1}{2}y^T W x \quad (۳)$$

مشاهده می‌شود که:

$$x^T W^T y = (x^T W^T y)^T = y^T W x \quad (۴)$$

بنابراین تابع انرژی به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$E(x,y) = -y^T W x \quad (۵)$$

تغییرات حالت در لایه‌های A و B توسط Δx و Δy به ترتیب نشان داده می‌شوند. با $\Delta x = (\Delta x_1 \Delta x_2 \cdots \Delta x_N)^T$ به‌راحتی نشان داده می‌شود که:

$$\Delta E = E(x + \Delta x, y) - E(x,y) \quad (۶)$$
$$= -\sum_i (\Delta x_i (\sum_j w_{ij} y_j))$$

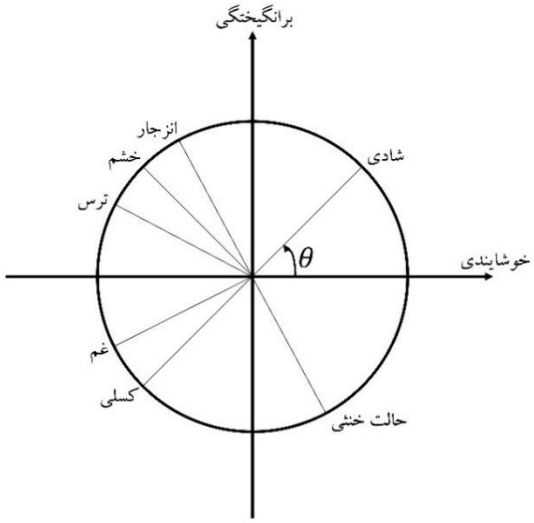
هر عبارت از $(\Delta x_i(\sum_j w_{ij} y_j))$ درون نخستین مجموع همیشه مثبت یا صفر است، همانند شبکه هاپفیلد. بنابراین، $\Delta E \leq 0$ است. معادله، زمانی که هیچ تغییر حالتی وجود ندارد، نگه‌داشته می‌شود. به‌طور مشابه، می‌توان برای تغییرات حالت Δy نشان داد که $\Delta E \leq 0$. ازآنجاکه انرژی E از پایین کراندار شده است، تغییرات حالت در شبکه بَم با هر ماتریس W برای تغییرات حالت ناهمزمان ساده (که تنها یک واحد در A یا B در زمان توسط Δx_i یا Δy_i به‌روزرسانی می‌شود) همگرا می‌شود. نتیجه‌گیری مشابهی می‌توان برای تغییرات حالت ناهمزمان عمومی و تغییرات حالت هم‌زمان به دست آورد. در تغییرات حالت ناهمزمان عمومی تعدادی از واحدها در A و B در یک‌زمان به‌روزرسانی می‌شوند. اما در تغییرات حالت هم‌زمان تمامی واحدهای A و B در زمان مشابه به‌روزرسانی می‌شوند. بنابراین اثبات می‌کند که هر ماتریسی به‌صورت دو ظرفیتی به‌صورت دوسویه پایدار است [۲۵].

۳- پیش‌بینی الگوهای رفتاری

هیجان‌های مختلف را می‌توان بر اساس دو بُعد خوشایندی و برانگیختگی همانند شکل (۲) به تصویر کشید. بُعد نخست یا خوشایندی نشان‌دهنده اثرگذاری هیجان بر توانایی‌ها و عملکردهای شناختی انسان است و بُعد دوم اشاره به تأثیر هیجان بر عملکردهای فیزیولوژیک انسان دارد. در [٦]، همبستگی بین رویداد محرک، حالت هیجانی، شناخت، رفتار و هدف مطلوب مشخص‌شده که نمونه‌هایی از آن در جدول (۱) ارائه‌شده است. جدول (۱) نشان می‌دهد زمانی که انسان دارای حالت هیجانی ویژه‌ای است ازنظر شناختی و فیزیولوژیک چه روندی را سیر می‌کند تا به اهدافی متناسب با آن حالت هیجانی دست یابد. در طی این روند می‌توان مشاهده کرد که متناسب باحالت هیجانی، انسان چه رفتار یا رفتارهایی از خود بروز می‌دهد.

به‌بیان‌دیگر، مطابق با هر حالت هیجانی، به لحاظ شناختی و فیزیولوژیک، انسان مجموعه‌ای از رفتارها را در مواجهه با رویدادهای هیجانی پیرامونی از خود بروز می‌دهد. بنابراین متناسب با هر حالت هیجانی مجموعه‌ای از رفتارهای همبسته را می‌توان در نظر گرفت به‌گونه‌ای که در هنگام بازشناسی حالت هیجانی گفتار، با توجه به حالت هیجانی بازشناسی شده در ذهن و مغز شنونده مجموعه‌ای از رفتارها تداعی می‌شوند. در اینجا، برای پیش‌بینی رفتار هیجانی همبسته با محتوای هیجانی گفتار، رفتار متناسب با هر حالت هیجانی از موقعیت حالات هیجانی نسبت به محورهای خوشایندی و برانگیختگی استفاده می‌کند. شکل (٤) موقعیت حالات هیجانی گوناگون را نسبت به محورهای خوشایندی و برانگیختگی نشان می‌دهد، این شکل بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده در [۱۸، ۲٦-۲۸] ترسیم‌شده است.

[1] Interconnection
[2] Simple Asynchronous
[3] General Asynchronous
[4] Synchronous
[5] Sense
[6] Threshold
[7] Energy Function



شکل (٤): موقعیت حالات هیجانی گوناگون را نسبت به محورهای خوشایندی و برانگیختگی.

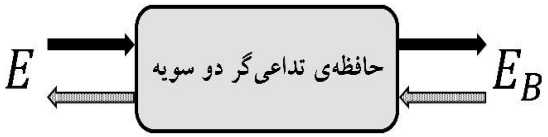
در این مطالعه، با توجه به زاویه θ که بیانگر موقعیت حالت هیجانی نسبت به محورهای بیان‌شده است، بردار الگوی رفتاری مربوط به حالات هیجانی مختلف با استفاده از توابع مثلثاتی تشکیل می‌شود. این بردار رفتار همبسته با هر حالت هیجانی، شامل مقادیر توابع مثلثاتی سینوس، کسینوس و تانژانت زاویه حالت هیجانی نسبت به محورهای خوشایندی و برانگیختگی است. جدول (۲)، بردار هیجان، زاویه θ و بردار رفتار همبسته برای هر حالت هیجانی را بیان می‌کند. بردار رفتار همبسته برای هر یک از حالات هیجانی از معادله (۷) پیروی می‌کند. در جدول (۲)، E_B به معنای بردار رفتار برای هر حالت هیجانی و E بردار الگوی تخصیص داده‌شده به هر حالت هیجانی است.

$$E_B = [\sin(\theta), \cos(\theta), \tan(\theta)] \quad (۷)$$

جدول (۲): بردار هیجان، زاویه θ و بردار رفتار حالات هیجانی مختلف

مورد	حالت هیجانی	بردار حالت هیجانی (E)	زاویه θ	بردار رفتار (E_B)
۱	خشم	۱۰۰۰۰۰۰	$3\pi/4$	۰٫۷۰۷۱، -۰٫۷۰۷۱، -۱٫۰۰۰۰
۲	کسلی	۰۱۰۰۰۰۰	$\pi + \pi/4$	-۰٫۷۰۷۱، -۰٫۷۰۷۱، ۱٫۰۰۰۰
۳	انزجار	۰۰۱۰۰۰۰	$2\pi/3$	۰٫۸۶۶۰، -۰٫۵۰۰۰، -۱٫۷۳۲۱
٤	ترس	۰۰۰۱۰۰۰	$\pi - \pi/6$	۰٫۵۰۰۰، -۰٫۸۶۶۰، -۰٫۵۷۷٤
۵	شادی	۰۰۰۰۱۰۰	$\pi/4$	۰٫۷۰۷۱، ۰٫۷۰۷۱، ۱٫۰۰۰۰
٦	غم	۰۰۰۰۰۱۰	$\pi + \pi/6$	-۰٫۵۰۰۰، -۰٫۸۶۶۰، ۰٫۵۷۷٤
۷	حالت خنثی	۰۰۰۰۰۰۱	$3\pi/2 + \pi/6$	-۰٫۸۶۶۰، ۰٫۵۰۰۰، -۱٫۷۳۲۱

انسان با توجه به تجربه‌هایی که دارد، همبستگی میان حالات هیجانی و رفتارهای هیجانی همبسته با آن را یاد می‌گیرد. این یادگیری مانند سایر یادگیری‌ها منجر به تولید حافظه در مغز می‌شود. این حافظه کمک می‌کند بی‌درنگ پس از بازشناسی حالت هیجانی (در اینجا محتوای هیجانی گفتار مدنظر است)، رفتار هیجانی همبسته آتی مطابق با آن در ذهن انسان تداعی شود. همچنین به‌طور برعکس زمانی که فردی مجموعه‌ای از رفتارها را از خود بروز دهد، انسان قادر است تا حالت هیجانی که فرد تحت تأثیر آن بوده است را تداعی و بازشناسی کند. این نوع حافظه به‌صورت دوسویه عمل می‌کند. شکل (۵) شمایی از این حافظه و عملکرد آن را نمایش می‌دهد.



شکل (۵): شمایی ساده از عملکرد حافظه تداعی‌گر ای دوسویه.

۳-۱ تشکیل حافظه انجمنی دوسویه

حافظه بَم به‌عنوان یک شبکه دیگر پیوندی، ارتباط‌دهنده جفت الگوهای دو مجموعه A و B و به‌صورت برعکس نیز است. در طی مرحله آموزش حافظه بَم، وزن‌های شبکه عصبی تنظیم می‌شود. وزن اتصالات از هر دو طرف شبکه متقارن است. این فرآیند، حافظه بَم را قادر می‌سازد تا k جفت از الگوهای A_k و B_k را ارتباط دهد.

مرحله آموزشی مستلزم به‌کارگیری بردار و ماتریس است. ماتریس وزن که با W نشان داده می‌شود یک ماتریس $n \times m$ است و با معادله (۸) محاسبه می‌شود. این ابعاد به ترتیب اشاره به تعداد اعضای بردار الگوهای مجموعه‌های A و B دارد. در اینجا T به معنای ترانهاده[1] است.

$$W = \sum_{k=1}^{m} A_k^T B_k \quad (۸)$$

$$W = A_1^T B_1 + \cdots + A_m^T B_m \quad (۹)$$

مجموعه A شامل n تا نورون $\{a_1, \cdots, a_n\}$ و مجموعه B نیز شامل m تا نورون $\{b_1, \cdots, b_m\}$ می‌باشند. نورون‌های a_i و b_j، واحدهای حافظه کوتاه-مدت[2] هستند و همچنین حالت‌های نورون‌ها را نشان می‌دهند. ماتریس ورودی w_{ij} اتصال سیناپسی از a_i تا b_j را بیان می‌کند و واحد حافظه بلند-مدت[3] محسوب می‌شوند. در حافظه بَم، علامت w_{ij} نوع اتصال سیناپسی را بیان می‌کند. بنابراین، اگر $w_{ij} > 0$ باشد آنگاه اتصال از نوع تحریکی[4] و اگر $w_{ij} < 0$ باشد اتصال سیناپسی از نوع مهاری[5] است و بزرگی[6] w_{ij}، قدرت اتصال را مشخص می‌کند.

بعد از مرحله آموزش، حافظه بَم قادر است تا هنگامی‌که یک الگو A_k به ورودی آن اعمال می‌شود الگوی B_k مرتبط با آن را بازیابی کند. فرآیند بازیابی مجموعه B از معادله (۱۰) و فرآیند بازیابی مجموعه A از معادله (۱۱) پیروی می‌کند.

$$B_k = A_k W \quad (۱۰)$$

$$A_k = B_k W_k^T \quad (۱۱)$$

در اینجا مجموعه A برابر با مجموعه الگوهای بردار هیجانی E و مجموعه B برابر با مجموعه الگوهای بردار رفتاری همبسته با حالات هیجانی E_B می‌باشند. بنابراین ماتریس وزن به‌صورت معادله (۱۲) است.

$$W = \sum_{k=1}^{m} E_k^T E_{Bk} \quad (۱۲)$$

باید توجه داشت که حافظه بَم با استفاده از اصل هِب، جفت الگوهای دودویی یا دوقطبی را رمزگذاری می‌کند. لذا مجموعه E و E_B را باید با استفاده قیود شرطی به مجموعه‌های دوقطبی تبدیل کرد. به این منظور، از شرط‌های (۱۳) برای قطبی کردن مجموعه E_B و از شرط‌های رابطه (۱٤) برای قطبی کردن مجموعه E استفاده می‌شود. ماتریس W جدید را بر اساس این دو مجموعه الگوی قطبی شده محاسبه می‌شود.

(۱۳)

$$b_j' = \begin{cases} 1 \; if \; b_j > 0.5 \; or \; -0.5 \le b_j < 0 \\ -1 \quad if \quad b_j < -0.5 \quad or \quad 0 \le b_j < 0.5 \end{cases}$$

$$e_j' = \begin{cases} 1 \; if \; e_j > 0 \\ -1 \; if \quad e_j \le 0 \end{cases} \quad (۱٤)$$

جدول (۳) بردارهای قطبی شده مجموعه‌های E و E_B را نشان می‌دهد. همچنین ماتریس وزن حافظه بَم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود که درآن E'و E_B' اشاره به بردارهای قطبی شده دارد. در این پژوهش از نرم‌افزار MATLAB R2016a برای پیاده‌سازی حافظه بَم استفاده‌شده است.

جدول (۳): بردارهای قطبی شده مجموعه‌های E و E_B

حالت هیجانی	بردار هیجان (E)	بردار قطبی شده هیجان (E')	بردار رفتار (E_B)	بردار قطبی شده رفتار (E_B')
خشم	۱۰۰۰۰۰۰	۱،-۱،-۱،-۱،-۱،-۱،-۱	۰,۷۰۷۱ ،-۰,۷۰۷۱ ،-۱,۰۰۰۰	-۱ ،-۱ ،۱
کسلی	۰۱۰۰۰۰۰	-۱،۱،-۱،-۱،-۱،-۱،-۱	-۰,۷۰۷۱ ،۱,۰۰۰۰ ،-۰,۷۰۷۱	۱، -۱، -۱
انزجار	۰۰۱۰۰۰۰	-۱،-۱،۱،-۱،-۱،-۱،-۱	۰,۸٦٦٠ ،-۰,۵۰۰۰ ،-۱,۷۳۲۱	-۱، ۱، ۱
ترس	۰۰۰۱۰۰۰	-۱،-۱،-۱،۱،-۱،-۱،-۱	۰,۵۰۰۰ ،-۰,۸٦٦٠ ،-۰,۵۷۷٤	-۱، -۱، -۱
شادی	۰۰۰۰۱۰۰	-۱،-۱،-۱،-۱،۱،-۱،-۱	۰,۷۰۷۱ ،۰,۷۰۷۱ ،۱,۰۰۰۰	۱، ۱، ۱
غم	۰۰۰۰۰۱۰	-۱،-۱،-۱،-۱،-۱،۱،-۱	-۰,۵۰۰۰ ،-۰,۸٦٦٠ ،۰,۵۷۷٤	۱، -۱، ۱
حالت خنثی	۰۰۰۰۰۰۱	-۱،-۱،-۱،-۱،-۱،-۱،۱	-۰,۸٦٦٠ ،۰,۵۰۰۰ ،-۱,۷۳۲۱	-۱، ۱، -۱

[1] Transpose
[2] Short-term Memory (STM)
[3] Long-term Memory (LTM)
[4] Excitatory
[5] Inhibitory
[6] Magnitude

بعد از محاسبه ماتریس W، می‌توان با اعمال بردارهای الگوی هیجان E' به‌عنوان ورودی، در خروجی بردار الگوی رفتار هیجانی E'_B را با استفاده از معادله (۱۵) به دست آورد. همچنین، با اعمال بردارهای الگوی رفتار هیجانی E'_B به‌عنوان ورودی و اعمال قیود شرطی و با استفاده از معادله (۱۶) در خروجی بردار الگوی هیجان E' به دست می‌آید.

$$E'_B = E'W \quad (۱۵)$$

$$E' = E'_B W^T \quad (۱۶)$$

بر طبق قضیه (۱) شبکه بَم یک شبکه متقارن و پایداری است. تابع انرژی برای هر جفت الگوی (E'_i, E'_{Bi}) طبق معادله (۵) به‌صورت معادله (۱۷) قابل‌محاسبه است.

$$Energy(E'_i, E'_{Bi}) = -{E'_{Bi}}^T W E'_i \quad (۱۷)$$

٤- نتایج

در این پژوهش، پیش‌بینی رفتار هیجانی مبتنی بر محتوای هیجانی بازشناسی شده از گفتار هیجانی با استفاده از شبکه بَم شبیه‌سازی شد. چنین فرض شد که در طول زندگی با توجه به تجربیات گوناگون، قرار گرفتن در محیط‌های مختلف و یادگیری در انسان، گونه‌ای حافظه بلندمدت در مغز تشکیل می‌شود. این حافظه تشکیل‌شده، انسان را قادر می‌سازد تا در برخورد با فردی که در حال بیانِ گفتاری با لحن هیجانی است، حالت هیجانی او را بازشناسی کند و رفتارهای آتی همبسته باحالت هیجانی او را در ذهن تداعی و پیش‌بینی کند. همچنین، انسان قادر است تا با مشاهده مجموعه‌ای از رفتارها که توسط فردی انجام می‌شود، بفهمد که او دارای چه حالت هیجانی است.

در اینجا، بردارهای الگوی هیجان با E' در ماتریس (۱) و بردار الگوی رفتار هیجانی با E'_B در ماتریس (۲) نشان داده‌شده‌اند که از آن‌ها برای محاسبه ماتریس وزن W در ماتریس (۳) بر اساس معادله (۸) استفاده می‌شود.

$$E' = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$E'_B = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (۲)$$

$$W = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -3 & -1 & 3 \\ 1 & 3 & -1 \\ -3 & -1 & -1 \\ 1 & 3 & 3 \\ 1 & -1 & 3 \\ -2 & 3 & -1 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

با استفاده از ماتریس وزن W قادر هستیم به بردارهای الگوی هیجان E' و بردار الگوی رفتار هیجانی E'_B دست پیدا کرد. به‌این‌ترتیب در رابطه (۱۸) با اعمال بردار نخستین الگو از مجموعه E' می‌توان با استفاده از معادله (۱۵) به بردار الگوی هیجانی همبسته مرتبط با آن، که برابر با نخستین بردار در مجموعه E'_B است، دست پیدا کرد. به‌بیان‌دیگر، رفتارهای متناسب با آن حالت هیجانی را پیش‌بینی یا تداعی می‌شود. شایان‌ذکر است که قیود شرطی می‌بایست بر مقادیر به‌دست‌آمده اعمال می‌شوند. در اینجا به عضوهای منفی، مقدار ۱- و به سایر عضوهای مقدار ۱ تخصیص داده‌شده است.

$$E'_1 = [1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1] \rightarrow E'_1 W = [7\ -7\ -7] \rightarrow E'_{B1} = [1\ -1\ -1] \quad (۱۸)$$

همچنین، می‌توان با استفاده از الگوی رفتاری، حالت هیجانی را بازشناسی کرد. برای مثال در رابطه (۱۹) با اعمال پنجمین بردار

الگو از مجموعه E'_B با استفاده از معادله (۱۶)، حالت هیجانی همبسته که پنجمین بردار الگو از مجموعه E' است را می‌توان بازشناسی کرد. در اینجا نیز همچون محاسبات انجام‌شده در مثال (۱۸)، باید قیود شرطی اعمال شود، با این تفاوت که در این مرحله عضوی که دارای بیشینه مقادیر است، مقدار ۱ و سایر عضوها مقدار ۱- تخصیص داده می‌شود.

$$E'_{B5} = [1\ 1\ 1] \quad (۱۹)$$

$$\rightarrow E'_{B5}W = [-1\ -1\ 3\ -5\ 7\ 3\ -1]$$

$$\rightarrow E'_5 = [-1\ -1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1]$$

به‌این‌ترتیب حافظه انجمنی دوسویه یا بَم تشکیل می‌شود که قادر است تا مجموعه‌ای از الگوها را به یکدیگر مرتبط سازد و امکان بازیابی الگوی مرتبط با الگوی اعمال‌شده به آن را از هر دو طرف فراهم سازد. انرژی هر جفت الگو از میدان‌های E' و E'_B با توجه به تابع انرژی طبق معادله (۱۷) در جدول (٤) ارائه‌شده است. بر طبق قضیه (۱) ماتریس‌های وزن W به‌صورت دوسویه پایدار و همگرا هستند.

جدول (٤): انرژی جفت الگو از میدان‌های E' و E'_B

$Energy(E', E'_B)$	بردار قطبی شده رفتار (E'_B)	بردار قطبی شده هیجان (E')	حالت هیجانی
-۲۱	۱، ۱-، ۱	۱، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-	خشم
-۹	۱، ۱-، ۱-	۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱، ۱-	کسلی
-۱۵	۱-، ۱، ۱	۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱، ۱-، ۱-	انزجار
-۱۵	۱-، ۱-، ۱-	۱-، ۱-، ۱-، ۱، ۱-، ۱-، ۱-	ترس
-۹	۱، ۱، ۱	۱-، ۱-، ۱-، ۱، ۱-، ۱-، ۱-	شادی
-۱۵	۱، ۱-، ۱	۱-، ۱، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-	غم
-۹	۱-، ۱، ۱-	۱، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-، ۱-	حالت خنثی

۵- نتیجه‌گیری

هنگامی‌که فردی در معرض یک محرک هیجانی قرار می‌گیرد، حالت هیجانی او تغییر می‌کند. این تغییرات به‌وضوح در حالت‌های بدنی، لحن گفتار و رفتار انسان قابل‌ملاحظه است. تجارب مختلف سبب می‌شوند که مغز و ذهن انسان دچار تحول شوند مثلاً در اثر تکرار یک رویداد و اثرات آن، مغز همبستگی میان آن‌ها را یاد می‌گیرد. یادگیری برابر است با وزن‌دهی سیناپس‌ها یا اتصالات میان نورون‌های سازنده مغز و تکرار یادگیری سبب به‌روزرسانی این وزن‌ها می‌شود، به‌بیان‌دیگر حافظه در مغز شکل می‌گیرد. به‌طور خلاصه، مغز همبستگی میان محرک‌های هیجان، حالت‌های هیجانی و رفتارهای هیجانی همبسته با آن‌ها را یاد می‌گیرد. این حافظه تشکیل‌شده فرد را قادر می‌سازد تا حالت هیجانی مربوطه را بازشناسی کند و همچنین رفتار هیجانی آتی همبسته و مرتبط با آن را بازیابی نماید و بلعکس قادر است از رفتارهایی که یک فرد دارد به حالت هیجانی همبسته او پی ببرد. در اینجا، شاهد نوعی از حافظه به‌صورت حافظه انجمنی دوسویه هستیم که امکان تحریک و بازیابی دوسویه را فراهم می‌کند.

در این پژوهش، فرآیند فوق که شامل به یادسپاری الگوهای حالت‌های هیجان و الگوهای رفتار هیجانی به همراه یادگیری همبستگی میان این الگوها می‌شود را به‌صورت یک حافظه انجمنی دوسویه یا شبکه بَم مدل‌سازی کردیم. شبکه بَم یک شبکه دیگر پیوندی و نوعی شبکه عصبی مصنوعی دولایه است. در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی، وزن‌های اتصالات میان این دولایه تنظیم می‌شود و شبکه عصبی ارتباط جفت الگوهای دو مجموعه را یاد می‌گیرد. درنهایت خروجی مرحله آموزش یک ماتریس وزن است که برای هر دولایه نورون‌های شبکه عصبی متقارن است. در اینجا ورودی لایه نخست بر اساس الگوی حالت‌های هیجانی است و ورودی لایه دوم بردار الگوی رفتار هیجانی همبسته با آن حالات هیجانی است. شبکه بَم در طی مرحله آموزش رابطه بین جفت الگوهای مرتبط حالت هیجانی و رفتار هیجانی را یاد می‌گیرد. بعد از تشکیل بردار وزن، شبکه بَم تشکیل می‌شود و این امکان را فراهم

می‌آورد که بتوانیم با اعمال الگوی حالت هیجانی به حافظه بَم، الگوی رفتار هیجانی مربوطه را بازیابی کنیم و رفتار آتی هیجانی همبسته به حالت هیجانی را پیش‌بینی کنیم. به‌طور معکوس نیز می‌توانیم با داشتن الگوی رفتار هیجانی و اعمال آن به شبکه بَم، الگوی هیجانی مربوطه را بازیابی نماییم.

References

[1] Picard, R. W. (1995). Afective Computing. MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report, (321), 26.

[2] [Franti, E., Ispas, I., Dragomir, V., Dasc, M., Alu, Zoltan, E., & Stoica, I. C. (2017). Voice Based Emotion Recognition with Convolutional Neural Networks for Companion Robots. Romanian Journal of Information Science and Technology, 20(3), 222–240.

[3] [Alinezhad, B. (2010). A Study of the Relationship between Acoustic Features of "bæle" and the Paralinguistic Information, Journal of Teaching Language Skills. Shiraz, 2(1), 1–26.

[4] [Hasrul, M. N., Hariharan, M., & Yaacob, S. (2012). Human Affective (Emotion) behaviour analysis using speech signals: A review. 2012 International Conference on Biomedical Engineering, 217–222.

[5] Damasio, A. R. (2005). Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain. Penguin Books.

[6] [Plutchik, R. (2001). Integration, Differentiation, and Derivatives of Emotion. Evolution and Cognition, Vol. 7, No. 2.

[7] [Thornton, M. A. & Tamir, D. I. (2017). Mental models accurately predict emotion transitions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114(23), (pp. 5982–5987).

[8] [Sükei, E., Norbury, A., Perez-Rodriguez, Mm. M, Olmos, P. M. & Artés, A. (2021). Predicting emotional states using behavioral markers derived from passively sensed data: Data-driven machine learning approach. JMIR mHealth and uHealth, 9(3), (pp. 1–14).

[9] [Ryoo, E. C., Park, S. B. & Kim, J. K. (2013). The emotion prediction model based on audience behavior. 2013 International Conference on Information Science and Applications, ICISA 2013, (pp. 1–3).

[10] [Kleinginna, P. R. & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of motivation definitions, with a suggestion for a consensual definition. Motiv Emot Volume 5, Issue 3, pp 263–291.

[11] Edelman, G. M. (2004). Wider than the sky: The phenomenal gift of consciousness. Yale University Press, USA.

[12] Nolen-Hoeksema, S., Fredrichson, B. L., Loftus, G. R. & Wagenaar, W. A. (2009). Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology (15th ed.). Cengage Learning EMEA, Italy.

[13] Levenson, R. W. (1994). Human emotions: A functional view. In P. Ekman & R. Davidson (Eds.), The nature of emotion: Fundamental questions. New York: Oxford University Press, 123–126.

[14] Ax, A. (1953). The physiological differentiation between fear and anger in humans. Psychosomatic Medicine, 15, 433–442.

[15] Funkenstein, D. (1955). The physiology of fear and anger. Scientific American, 192, 74–80.

[16] Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific nervous system activity. Psychophysiology, 27, 363–384.

[17] Thagard P. (2005). Mind: Introduction to cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press.

[18] Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161–1178.

[19] Cowie, R., Douglas- Corive, E., Tsapatsoulis, N., Votsis, G., Kollias, S., Fellenz, W., & Taylor, J. G. (2001). Emotion recognition in human-computer interaction. IEEE Signal Processing Magazine, 18(1), 32–80.

[20] Nwe, T. L., Foo, S. W., & De Silva, L. C. (2003). Speech emotion recognition using hidden Markov models. Speech Communication, 41(4), 603–623.

[21] Baars, B., & Gage, N. (2013). Fundamentals of Cognitive Neuroscience: A Beginner's Guide. Academic Press.

[22] Fuster, J. M. (2004). Upper processing stages of the perception action cycle. Trends in Cognitive Sciences, 8(4), 143–145.

[23] Bose, N. K. & Liang, P. (1996). Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and Applications, McGraw-Hill, USA.

[24] Kartalopoulos, S. V. (1996). Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic: Basic Concepts and Applications. IEEE Press.

[25] Kosko, B. (1987). Adaptive bidirectional associative memories. Appl. Opt., 26(23), 4947–4960.

[26] Yik, M., Russell, J. A., & Steiger, J. H. (2011). A 12-Point Circumplex Structure of Core Affect.

American Psychological Association. 11(4), 705–731.

[27] Scherer, K. R., Shuman, V., Fontaine, J. R. J., & Soriano, C. (2013). The GRID meets the Wheel: Assessing emotional feeling via self-report. In J. R. J. Fontaine, K. R. Scherer, & C. Soriano (Eds.), Components of emotional meaning: A sourcebook. Oxford: Oxford University Press.

[28] Desmet, P. M. A., & Hekkert, P. (2007). Framework of Product Experience. International Journal of Design, 1(1), 13-23

Journal of Applied And Basic Machine Intelligence Research (ABMIR)

Applied and Basic Machine Intelligence Research

Vol. 1, No. 2, Autumn & Winter 2023, pp.67-80

A New Model for Predicting Emotional Behavior Based on Bidirectional Associative Memory

Mahsa Ravanbakhsh*

Institute for Cognitive Sciences Studies (ICSS), Tehran, Iran

Article Information

Original Research Paper

Received:
2023 March 7

Accepted:
2023 June 20

Keywords:
Predicting Emotional Behavior, Bidirectional Associative Memory, Emotional Behavior, Emotional State, Emotion

Corresponding Author*:
mahsa.ravanbakhsh@gmail.com

Abstract

A person's emotional state changes due to the emotional stimulus he is experiencing. During a conversation, these changes are noticeably reflected in his voice and tone of speaking as well as in the linguistic components of his speech. On the receiving side, the listener can recognize the emotional content of the received message and also, predict the emotional behavior associated with it. The human nervous and cognitive system is able to perform this process efficiently and effortlessly despite all the complexities involved in computationally defining a model for this process. In other words, it recognizes the emotional content in the speech and predict a set of related behaviors for the speaker according to that recognized emotional state. This issue is crucial in human-machine interaction studies. Here, a model based on Bidirectional Associative Memory is presented, which can predict the corresponding emotional behavior based on the emotional state. The results of the simulation show that this model is able to perform the process of mapping bidirectionally between emotional states and the set of behaviors related to emotional states and is robust against some degrees of information incompleteness and the presence of some level of noise.

: 10.22034/ABMIR.2023.19829.1026

E-ISSN: 2821-2037 /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).