نظریة تشدید وفقی در طبقه بندی سیگنالهای الکترواکلوگرام

علیرضا اخبارده دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه علم و صنعت ایران
عباس عرفانیان امیدوار استادیار مهندسی پزشکی، دانشکدة مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

حرکت کرة چشم باعث تغییر در سیگنال الکترواکلوگرام (EOG) می‌شود. میزان این تغییرات بستگی بهمیزان و جهت حرکت کرة چشم دارد. امروزه، تشخیص میزان و جهت حرکت کرة چشم از روی این پتانسیلها موضوع یکی از تحقیقات را در زمینه ارتباط انسان با ماشین تشکیل می‌دهد. هدف ما در این تحقیق، آشکار کردن حرکات مختلف چشم تنها از طریق سیگنال الکترواکلوگرام است. برای این منظور دو پروتکل متفاوت آزمایش در نظر گرفته شده است. در یک پروتکل، چشم از هر گوشة صفحه کامپیوتر بهطور تصادفی بهیکی از گوشههای دیگر صفحه حرکت می‌کند. در پروتکل دوم شش نقطه بر روی صفحه کامپیوتر در نظر گرفته شده است. چشم از هر نقطه بهطور تصادفی به یکی از نقاط دیگر حرکت می‌کند. تشخیص این تعداد حرکت مختلف چشم از سیگنال EOG برای اولین بار در این تحقیق انجام می‌شود. در این تحقیق، برای طبقهبندی EOG از چهار نوع شبکه عصبی مختلف مبتنی بر نظریه تشدید وفقی (ART) استفاده شده و کارائی آنها در تشخیص حرکت چشم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شبکههای عصبی مبتنی بر نظریه تشدید وفقی با دقت بالائی، قادر به تشخیص حرکتهای مختلف چشم هستند.

کلمات کلیدی: سیگنال الکترواکلوگرام، شبکههای عصبی مبتنی بر نظریه تشدید وفقی، طبقهبندی،حرکت چشم.

Discriminating Different Patterns of EOG Signal by Using Adaptive Resonance Theory Networks

A. Akhbardeh and A. Erfanian
Dept. of Biomed. Eng., Iran University of Science and Technology

Abstract

The difference in potential between the cornea and the posterior pole of the eye is known as the corneoretinal potential. Movement of the eye causes changes in the corneoretinal potential. These suggest the possibility of using the EOG signals to detect and track the eye movements. Recently, the detection of the eye movement has formed the foundation of much research in the area of human-computer communication. A new method of tracking and detecting the eye movement is developed here. It is based upon the measurements of the EOG signal. For this purpose, different kinds of eye movements, horizontal, vertical, and diagonal movements were considered. There is considerable overlap among the EOG patterns corresponding to these movements. This overlap degrades the performance of the classifiers. To overcome this problem, a dynamic classifier based upon the neural network is presented. We employ adaptive resonance theory (ART) for discriminating different patterns of the EOG signal. The results of this analysis show that through the use of the ART-networks accurate detection of the eye movement is obtained.

Key words: Electrooculogram, EOG, Adaptive resonance theory, Neural networks, Eye movement.

۱- مقدمه

در سالهای اخیر، استفاده از سیگنال الکترواکلوگرام[1] جهت ارتباط انسان و کامپیوتر مطرح شده است [۶-۱] . در سال ۱۹۹۳، Kaufman و همکارانش، یک رابط کامپیوتری بر مبنای EOG جهت ارتباط انسان و ماشین طراحی کردند. در این کار، یک صفحه منوی ۲*۳ بر روی مانیتور کامپیوتر در نظر گرفته شده است [۱]. سیگنال چشمی با استفاده از چهار الکترود که در چهار جهت کرة چشم نصب شده، ثبت شده است. شخص با حرکت دادن چشم و چشمکزدن ارادی، هدف موردنظر خود را از صفحه منوی ۲*۳ انتخاب می‌کند. جهت آشکار کردن حرکات چشم از میزان دامنة سیگنال و برای انتخاب، از پلک زدنهای ارادی استفاده شده است. دقت روش ارائه شده، در شرایط خاص و محدود حدود ۷۳% ادعا شده است. در حالتهایی که مابین حرکات همپوشانی (همسانی در سیگنال EOG تولید شده) وجود داشته باشد، این سیستم قادر بهتشخیص حرکات چشم با دقت بالا نیست (کارائی به کمتر از ۱۷ درصد می‌رسد) [۱].

در سال ۱۹۹۶، Tomita و همکارانش برای بیماران ALS[2] (در این بیماران سلولهای حرکتی ساقة مغز و طناب نخاعی با هم درگیر می‌شوند و باعث ایجاد نقص در عملکرد نرونهای حرکتی فوقانی و تحتانی و در نتیجه ناتوانی حرکتی می‌شود) یک موشوارة چشمی طراحی کردند [۲]. برای ثبت حرکات مختلف چشم نیز از چهار الکترود و برای انتخاب از پلک زدن ارادی چشم استفاده شده است. در این روش از سیگنال چشمی جهت حرکت دادن نشانه[3] بر روی صفحة کامپیوتر استفاده شده است. هنگام رسیدن نشانه بههدف بر روی صفحة کامپیوتر، انتخاب هدف با چشمک زدن ارادی انجام می‌شود. در این کار از مقادیر آستانة سیگنال جهت آشکار کردن حرکات چشم استفاده شده است. در سال ۱۹۹۷ نیز، Norris و همکارانش سیستم مشابهی را طراحی کردند [۳].

در سال ۱۹۹۸ Kuno و همکارانش، یک سیستم انتخاب منو بر مبنای EOG ارائه کردند. در این سیستم، صفحة کامپیوتر بهشش منوی افقی تقسیم شده است. برای حل مشکل رانش سیگنال EOG ، سیستم هر چند مدت یکبار کالیبره می‌شده است. این تنظیم مجدد، یکی از محدودیتهای روش محسوب می‌شود. با این روش، دقت انتخاب حدود ۸۰% (تنها برای حالت افقی) ادعا شده است. حرکات سر باعث ایجاد اختلال در سیگنال EOG می‌شود. برای حل این مشکل، روشی ارائه شده است که در آن سر می‌تواند آزادانه حرکت کند [۴]. جهت تخمین حرکت سر، از یک وسیلة مغناطیسی که جلوی پیشانی نصب می‌شود، استفاده شده است. کارائی این روش در حالت حرکت آزادانة سر نسبت به حالت ثابت بودن سر، کمتر گزارش شده است.

سیستمهای ارتباط انسان با کامپیوتر که از سیگنال EOG استفاده می‌کنند، دارای مشکلاتی نیز هستند. از جملة این مشکلات، رانش سیگنال با زمان در اثر وجود مؤلفة حساس به نور در آن و حرکتهای ناخواستة سر و چشم و نیز شل شدن یا تغییر موقعیت ارتباط بین پوست و الکترودها، می‌باشند که باعث گمراه کردن سیستم و کاهش کارائی آن می‌شود. لذا سیستم باید در مقابل آنها مقاوم باشند.

برای رفع این مشکلات و افزایش قابلیت تشخیص حرکتهای چشم، ما در کار قبلی خود [۷] برای اولین بار از شبکه عصبی پس انتشار خطا و شبکه عصبی مبتنی بر توابع شعاعی جهت تشخیص دو حرکت چپ و راست چشم از سیگنال الکترواکلوگرام استفاده کردیم. محدود بودن تعداد حرکتها و کند بودن فرایند یادگیری در شبکههای عصبی پس انتشار خطا و مبتنی بر توابع شعاعی از مشکلات و محدودیتهای این کار محسوب می‌شود. برای رفع این محدودیتها، ما در این تحقیق تعداد حرکتهای چشم را از ۲ حرکت به ۱۶ و ۳۶ حرکت افزایش داده و از شبکهای عصبی مبتنی بر نظریه تشدید وفقی[4] (ART) جهت طبقهبندی سیگنال الکترواکلوگرام استفاده می‌کنیم.

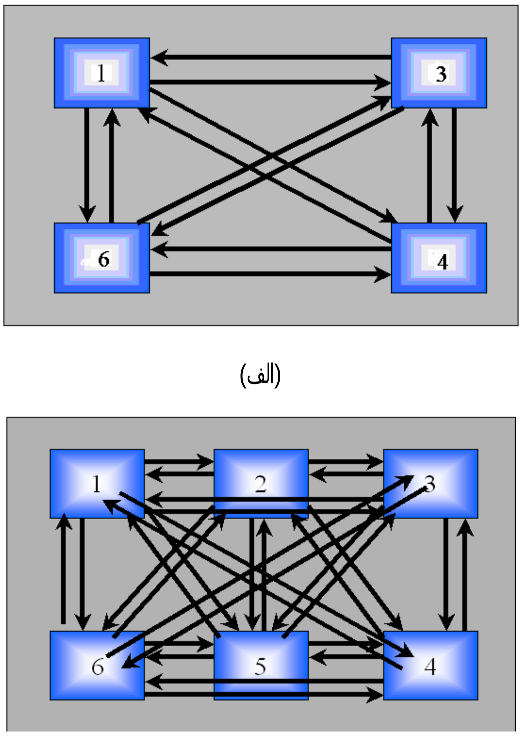
۲- روال آزمایش

بهمنظور اخذ سیگنال EOG و تشخیص حرکت چشم، آزمایشات مختلفی بر روی انسان انجام شده است. شخص بهصورت طبیعی و بدون هیچگونه عایقبندی از لحاظ صوت و نور، جلوی کامپیوتر می‌نشیند و یک هدف متحرکی را که بر روی صفحة کامپیوتر حرکت می‌کند با چشم تعقیب می‌کند. در این حالت، همزمان سیگنال EOG با نرخ ۲۵۶Hz نمونهبرداری می‌شود. برای اخذ سیگنال EOG از پنج الکترود استفاده شده

1- Electrooculogram
2- Amyotrophic Lateral Sclevosis
3- Cursor
4- Adaptive Resonance Theory (ART)

است. چهار الکترود در قسمتهای بالا، پایین، چپ و راست چشم قرار داده شده است. الکترود پنجم بعنوان زمین در لالهٔ گوش قرار داده شده است.

در این تحقیق، دو نوع روال آزمایش در نظر گرفته شده است. در پروتکل اول آزمایش، چشم از هر گوشهٔ صفحهٔ کامپیوتر بطور تصادفی به یکی دیگر از گوشههای صفحه حرکت می‌کند. در این پروتکل حرکات افقی، حرکات عمودی، حرکات اریبدار و ثابت ماندن بر روی یک هدف (جمعاً ۱۶ حالت حرکتی مختلف) وجود دارد شکل (۱ - الف).



(الف)

(ب)

شکل ۱- نحوهٔ حرکت چشم بر روي صفحهٔ کامپیوتر درپروتکل اول (الف) و پروتکل دوم آزمایش (ب)

برای این منظور، چهار گوشه صفحه کامپیوتر در نظر گرفته شده است و در هر لحظه، فقط یک گوشه روشن می‌باشد. روشن شدن گوشهها بصورت کاملاً اتفاقی است. شکل (۲) نمونهای از سیگنالهای EOG اخذ شده و نحوهٔ حذف آرتیفکتهای موجود بر آن را در طول این نوع این آزمایش نشان می‌دهد. این نوع آزمایش، بر روی چهار نفر انجام شده است. فرد اول چهار روز، فرد دوم دو روز، فرد سوم و چهارم هر کدام یک روز مورد آزمایش قرار گرفتهاند. در هر روز آزمایشی مجموعاً ۳۰ آزمون انجام گرفته است. هر آزمون شامل ۱۴ حرکت مختلف چشم است. از هر آزمون، ویژگیهای سیگنال EOG ناشی از حرکت سوم تا دوازدهم (۱۰ حرکت) استخراج شده و برای آموزش شبکههای عصبی مورد استفاده قرار گرفتهاند. با توجه بهاینکه تعداد کل آزمونها ۳۰ تا می‌باشد، لذا تعداد کل حرکات چشم که مورد استفاده قرار می‌گیرند، ۳۰۰ حرکت می‌باشد. از این ۳۰۰ الگوی حرکتی، تعدادی برای آموزش شبکهها و تعدادی دیگر برای آزمایش شبکهها استفاده شده است.

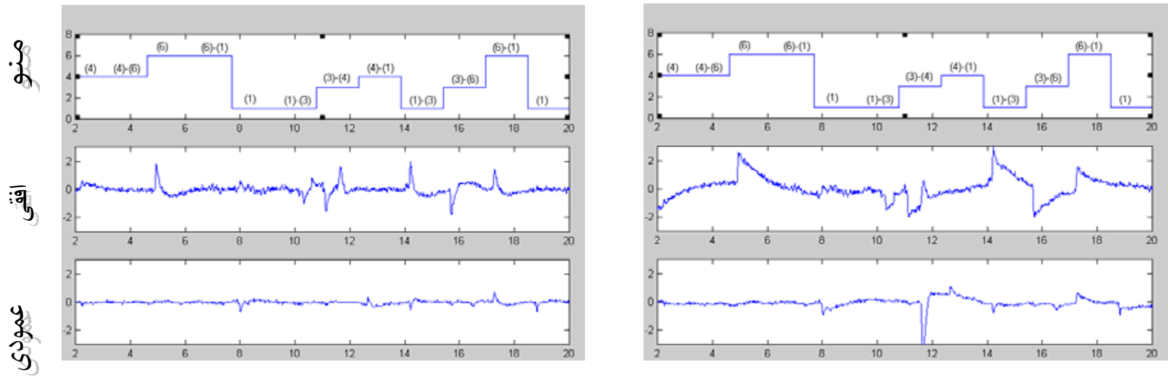
در پروتکل دوم، حرکات تصادفی چشم ما بین ۶ نقطه در روی صفحه کامپیوتر بطور تصادفی حرکت می‌کند. در آن حالت ۳۶ حالت حرکتی مختلف وجود دارد شکل، (۱ - ب). شکل (۳) نمونهای از سیگنالهای EOG اخذ شده را در این حالت را نشان می‌دهد. این آزمایش، بر روی چهار نفر انجام شده است. فرد اول چهار روز، فرد دوم دو روز، فرد سوم و چهارم هر کدام یک روز مورد آزمایش قرار گرفتهاند. در هر روز آزمایشی مجموعاً ۵۰ آزمون انجام شده است. هر آزمون شامل سیگنال EOG ناشی از ۱۴ حرکت تصادفی چشم است. از هر آزمون، ویژگیهای سیگنال EOG ناشی از حرکت سوم تا دوازدهم (۱۰ حرکت) استخراج شده و برای آموزش شبکههای عصبی مورد استفاده قرار گرفتهاند. با توجه به اینکه تعداد کل آزمونها ۵۰ تا می‌باشد، لذا تعداد کل دادههای بهدست آمده ۵۰۰ تا می‌باشد. از این ۵۰۰ الگوی حرکتی، تعدادی برای آموزش و تعدادی دیگر برای آزمایش شبکهها استفاده شده است.

۳- ویژگیهای سیگنال EOG

پژوهشگران قبلاً از میزان آستانهٔ سیگنال الکترواکلوگرام جهت کلاسهبندی سیگنال و تشخیص حرکت چشم استفاده کردهاند. بهعبارتی، آستانهٔ سیگنال، یک شاخص برای طبقهبندی سیگنال در نظر گرفته شده است. ما در این تحقیق، از همان ویژگیهای کار قبلی خود [۷] استفاده مـی‌کنیم. میانگین(۱)، پراش(۲) و تیزی(۳) و مقادیر منفرد(۴) بهعنوان ویژگیهای سیگنال EOG جهت تشخیص حرکت چشم در نظر

1- Mean
2- Variance
3- Sharpness
4- Singular Value

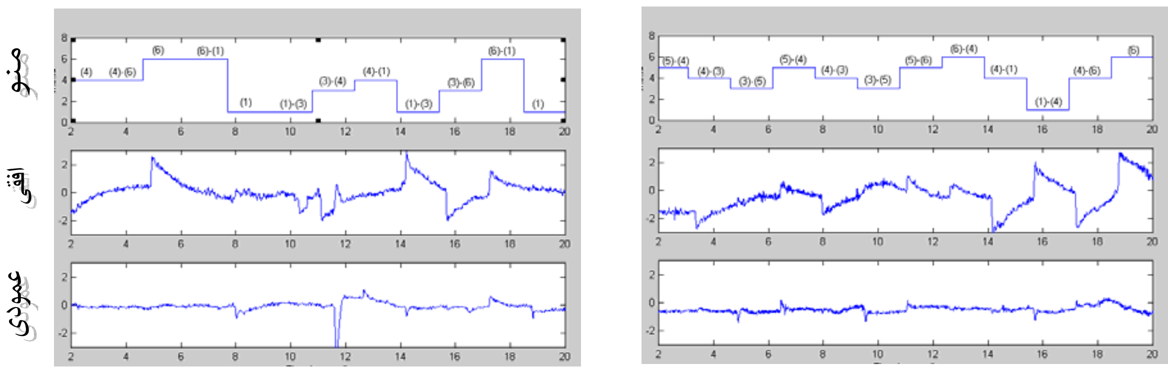
گرفته شده است. در حقیقت این ویژگیها، ورودی‌های طبقهبندی کننده را تشکیل می‌دهند. برای هر یک از کانالهای افقی و عمودی در طول یک حرکت، این پارامترها محاسبه و بهعنوان ورودی بهشبکه اعمال می‌شوند.



زمان (میلی ثانیه)
(الف)

زمان (میلی ثانیه)
(ب)

شكل ٢- سیگنال EOG اخذ شده در هنگام حركتهاي تصادفي چشم مابين چهار نقطه بر روي صفحة كامپيوتر: (الف) سیگنال EOG فیلتر نشده. (ب) سیگنال فیلتر شده با فیلتر میان گذر [١٥-١] هرتز جهت حذف آرتيفكتهاي DC ناشي از حركت‌هاي ناخواستة سر و چشم. آرتيفكت پلك زدن با استفاده از روش حد آستانه حذف شده است.



زمان (میلی ثانیه)
(الف)

زمان (میلی ثانیه)
(ب)

شكل ٣- سیگنال EOG اخذ شده در هنگام حركتهاي تصادفي چشم مابين شش نقطه بر روي صفحة كامپيوتر: (الف) سیگنال EOG فیلتر نشده. (ب) سیگنال فیلتر شده با فیلتر میان گذر [١٥-١] هرتز

۴- نظریة تشدید وفقی در طبقهبندی سیگنال الکترواکلوگرام

ما در این پروژه از شبکههای عصبی مبتنی بر نظریه تشدید وفقی برای طبقهبندی سیگنالهای EOG استفاده کردهایم. برای این منظور، از چهار نوع مختلف شبکههای عصبی مبتنی بر نظریة تشدید وفقـی (ART) جهت طبقهبندی سیگنالهـای EOG استفاده شده و کارائی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. ایـن چهار نـوع شبکـه عبارتند از: ART 2A ، ART 2A-C، ART 2A-E و FUZZY ART. ورودی شبکهها را ویژگیهای سیگنال EOG مربوط به کانالهای افقی و عمودی تشکیل می‌دهد.

۱-۴- شبکه عصبی ART

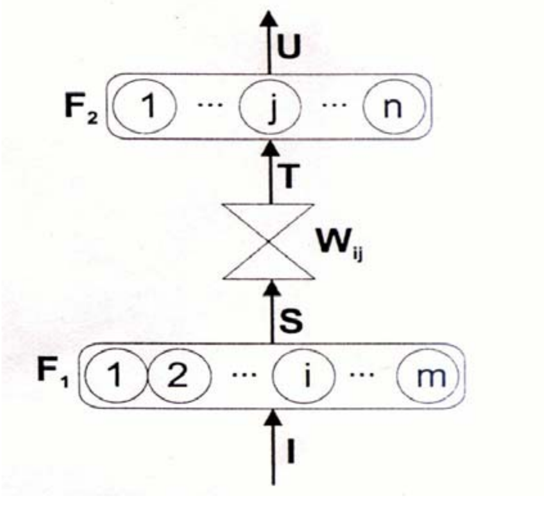
۱-۱-۴- معرفی ساختار کلی شبکههای عصبی نوع ART

الگوریتم مورد استفاده در شبکه ART، ارتباط نزدیکی با الگوریتم K میانگین[1] دارد[۸ و ۹]. الگوریتم K میانگین، یک مجموعة داده را به K دسته تجزیه میکند. پارامتر K نحوة تجزیة داده را مشخص میکند. در نقطة مقابل آن، ART از تشابه الگوها برای دستهبندی استفاده میکند. لذا مقدار K (تعداد دستهها) در ART، وابسته به فاصله ما بین الگوهای ورودی دارد. الگوریتم ART از یک معیار کمی بهنام پارامتر مراقب[۲] (ρ) برای تشخیص میزان شباهت دادهها، استفاده میکند. الگوریتم ART شامل طبقات پیش پردازش، جستجو و تطبیق است. طبقة جستجو نیز شامل مراحل انتخاب، همخوانی و باز نشاندن است. در طبقة اول (طبقة پیش پردازش)، الگوی ورودی (که شامل m عنصر است)، پردازش میشود (نرمالیزه کردن، رمزگذاری و غیره). پس از پردازش اولیه، در طبقة دوم (طبقة جستجو) این الگو با الگوهای ذخیره شده (که اصطلاحاً نمایندهها نامیده میشوند)، مقایسه میشود. اگر میزان شباهت ما بین این الگو و نزدیکترین الگوهای ذخیره شده به آن (نماینده شمارة J)، لااقل بزرگتر از مقدار پارامتر ρ (پارامتر مراقب) باشد، این نماینده (الگوی ذخیره شدة شمارة J)،کلاس الگوی ورودی را به ما میدهد. مقدار ρ در بازة [۱ و ۰] قرار دارد. اگر شباهت ما بین الگوی ورودی و نزدیکترین نماینده به آن ما بین (ρ,۱) قرار نگیرد، یک دستة جدید تشکیل میشود و الگوی ورودی، نماینده کلاس جدید خواهد بود. اما اگر یکی از دستههای قبلی با الگوی ورودی بهاندازة کافی همسان باشد، نماینده آن دسته، خود را با الگوی ورودی وفق خواهد داد (نماینده بسته به ضریب یادگیری شبکه، بهسمت الگوی ورودی میل میکند).

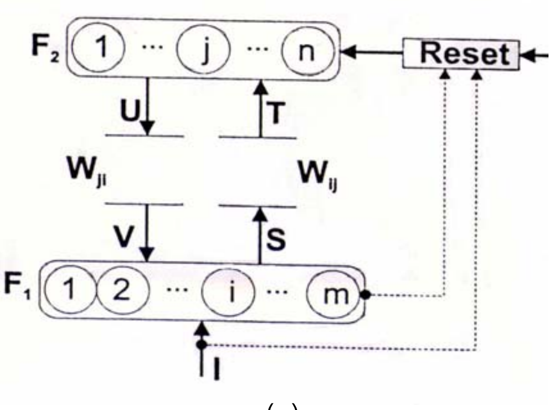
فرایند یادگیری در شبکه ART، رقابتی است، شکل (۴). m نرون لایة ورودی F_1، مقادیر الگوی ورودی $I=(i_1,...i_m)$ را ثبت میکنند. هر یک از نرونهای لایه خروجی F_2، فعالیت t_j $(1 \le j \le n)$ را از لایة F_1 دریافت میکند. در کل بردار فعالیت $T=(t_1,...t_n)$، از مقایسات بین الگوی ورودی I و نمایندههای $W_1=(w_{11},...w_{1m})$ تا $W_n=(w_1,...w_{nim})$ ساخته میشود. این نمایندهها در وزنهای اتصالی ما بین نرون های F_1 و F_2، ذخیره شدهاند. در این فرایند رقابتی، تنها یک نرون برنده میشود (نرون شماره J) و بقیه بازدهاند. لذا خروجیهای شبکه بهصورت زیر میباشند:

$$u_j=\begin{cases}1 & t_j>\max(t_k:k\neq j) \text{ اگر} \\ 0 & \end{cases} \qquad (۵)$$

یک روش محاسبه فعالیت t_j، و در نتیجه محاسبة اندازهگیری شباهت ما بین I و W_j بهصورت زیر است:



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) شبکة يادگيري رقابتي، (ب) شبکه ART

1- K-means
2- Viugilance

$$t_j = \sum_{i=1}^{m} w_{ij}.i_i \qquad (۶)$$

نرونی که بزرگترین مقدار t_j را داشته باشد (نرون شمارهٔ J ام) نرون برنده خواهد بود. پس از مشخص شدن نرون برنده، نماینده متناظر با آن، $W_J = (w_{1J},...w_{mJ})$، خود را با بردار ورودی I وفق می‌دهد. یک روش مناسب جهت تطبیق W_J با ورودی، حرکت آن بهسمت I است. یعنی:

$$W_J^{new} = \eta.I + (1-\eta).W_J^{old} \qquad (۷)$$

ضریب یادگیری[۱ و ۰) $\eta \in$ برای جلوگیری از حرکت سریع W_J و جلوگیری از ناپایدار شدن فرآیند یادگیری است. برای انتخاب اولیهٔ نمایندهها در این گونه شبکهها، می‌توان از اعداد اتفاقی استفاده کرد و یا بهصورت اتفاقی از دادههای آموزشی برداشت. این نوع شبکههای یادگیری رقابتی، هنگامیکه فواصل ما بین الگوهای ورودی زیاد باشد، بهسمت ناپایداری میل می‌کنند. همچنین راهی برای کنترل تعداد دستههای تولید شده وجود ندارد. ART این مسئله را با بسط شبکه یادگیری رقابتی به صورت شکل (۴ - ب)، حل کرده است. یک سری اتصالات جدید از F_2 به F_1 اضافه شده است. آنها در حقیقت وزنهای سیناپسی بالا به پائین (خروجی به ورودی) wji می‌باشند. فعالیت بالا به پائین (V) بهصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v_i = \sum_{j=1}^{n} u_j.w_{ji} \qquad (۸)$$

$$V = U.W_{ji} = W_J \qquad (۹)$$

با توجه بهاینکه تمام خروجیهای F_2 بهجز u_J صفر هستند، می‌توان بهرابطهٔ بالا رسید. لذا لایهٔ ورودی F_1، W_J را (که نمایندهٔ دستهٔ برنده J ام است) بهعنوان ورودی دریافت می‌کند.

بخش پیچیدهٔ پردازش سیگنال در ART، میزان انطباق W_J با الگوی ورودی I می‌باشد. این انطباق در شبکههای مختلف ART متفاوت است. این نوع شبکهها میزان شباهت بین الگوی ورودی و نماینده دسته نزدیک به این الگو را محاسبه می‌کنند، اگر میزان شباهت از ρ کمتر باشد، نرون برندهٔ J ام از عرصهٔ رقابت کنار گذاشته می‌شود (توسط سیگنال باز نشاندن[1]). سیگنال باز نشاندن، فعالیت نرون J را بهصفر تبدیل می‌کند. سپس یک نرون دیگر از F_2 که دارای فعالیت بیشتری است، بهعنوان نرون برنده انتخاب می‌شود. اگر یک نماینده به ما فعالیت بزرگتر یا مساوی مقدار ρ دهد، دیگر عمل باز نشاندن تکرار نمی‌شود و شبکه به حالت تشدید می‌رسد. موقعیت آخرین نرون برنده، دسته نهایی را که بردار ورودی به آن تعلق دارد، به ما می‌دهد. لازم بهذکر است که هیچکدام از نرونهای خروجی در ابتدا به صفر نشانده نمی‌شوند. در شبکههای ART عموماً نمایندهها، در طی دو مرحله تولید می‌شوند:

- قبل از انتخاب یک نماینده جدید، نمایندههای ذخیره شدهٔ پیشین، با الگوی ورودی، مقایسه می‌شوند.
- اگر هیچ یک از این نمایندهها با الگوی ورودی همخوانی نداشته باشند، این ورودی بهعنوان نماینده جدید انتخاب می‌شود.

۲-۱-۴- شبکههای ART مورد استفاده در این تحقیق

در این تحقیق از چهار نوع مختلف شبکه ART جهت تشخیص حرکات مختلف چشم از سیگنال EOG استفاده شده است: ART 2A، ART 2A-C، ART 2A-E و FUZZY ART. در ART فازی، از AND فازی (Λ) بردارهای نماینده و بردار ورودی، برای یافتن دسته مناسب استفاده می‌شود. این عملگر بهصورت زیر تعریف می‌شود:

$$X \Lambda Y = \min\{x, y\} = (x_1 \Lambda y_1, ... \text{و} X_m \Lambda y_m)$$

در نقطه مقابل ART فازی، ART 2A از زاویه ما بین بردارهای نماینده و بردار ورودی (که ایندو در طبقهٔ پیش پردازش نرمالیزه شدهاند)، برای یافتن دسته مناسب استفاده می‌کند. عیب عمدهٔ ART 2A، کاستن اطلاعات مربوط بهاندازه بردار ورودی است (الگو به کمتر از یک نرمالیزه می‌شود). بهعبارت دیگر، ART 2A نمی‌تواند ما بین $A_1 = c.A_2$ و A_2 فرقی بگذارد. با استفاده از رمزگذاری مکمل، تمامی اطلاعات ذخیره شده در اندازهٔ A در جهت بردار $I = (A, A^c)$ رمز می‌شود. یک روش برای وارد کردن رمزگذاری مکمل بهداخل الگوریتم ART 2A، استفاده از آن بهعنوان یک مرحلهٔ پیش پردازش دیگر است (رمزگذاری مکمل با ART 2A یا اصطلاحاً ART 2A-C). با توجه

1- Reset

بهاینکه نمایندهها و الگوهای ورودی به یک نرمالیزه شدهاند. برای پیاده کردن این روش، لازم است که نرمالیزه کردن بهبعد از واحد پیش پردازش منتقل شود. راه دیگر برای نگهداشتن اطلاعات مربوط به دامنة بردار در پردازش سیگنال ART-2A، استفاده از اندازهگیری اقلیدسی شباهت (بهجای نوع متریک) و برداشتن واحد نرمالیزه کردن اندازه در طبقة پیش پردازش و طبقة تطبیق است. الگوریتم ART 2A با این تغییر الگوریتم ART 2A-E نامیده میشود. برای توضیح بیشتر به مرجع [۸] مراجعه شود.

۴-۱-۳- رمزگذاری کلاسهای تولید شده توسط شبکههای ART بهکلاسهای مطلوب

همانطور که ملاحظه شد، شبکههای ART الگوهای ورودی را به تعدادی خوشه تجزیه میکنند که از قبل تعداد این خوشهها مشخص نیست. اما در اکثر موارد و از جمله در این تحقیق لازم است که الگوهای ورودی بهتعداد مشخصی خوشه تجزیه شوند (طبقه بندی سیگنال EOG به تعداد اهداف موردنظر کاربر). لذا لازم است که کلاسهای تولید شده توسط شبکة ART بهکلاسهای مطلوب رمزگذاری شوند. برای نیل به این هدف، ما در این تحقیق از یک آرایه برای رمزگذاری استفاده کردهایم. روند کار بدین صورت است که در مد آموزش شبکه هنگامی که یک کلاس جدید ایجاد میشود، خروجی مطلوب، در یک عنصر آرایه ذخیره میشود که شمارة کلاس تازه تولید شده، آدرس آن عنصر میباشد. لذا در پایان آموزش آرایهای بهدست میآید که در عناصر آن خروجیهای مطلوب الگوهای آموزشی بارگذاری شدهاند و آدرس این عناصر شمارة کلاس تخصیص داده شده توسط ART برای الگوهای ورودی میباشند. در مد آزمایش، شبکه ART الگوی ورودی را بهیکی از کلاسهای خود اختصاص میدهد. شماره این کلاس به عنصری از آرایه اشاره میکند که مقدار آن عنصر کلاس نهایی (شمارة هدف یا منو) را مشخص میکند. این روش تبدیل کلاسهای شبکة ART را بهکلاسهای مطلوب رمزگذرای آرایهای مینامیم.

با استفاده از رمزگذاری آرایهای میتوان کلاسهای شبکة ART با تعداد شناور را بهتعداد معلومی کلاس مطلوب رمزگذاری کرد. در این تحقیق از این روش برای تشخیص حرکتهای چشم استفاده کردهایم. در بخشهای آتی نتایج طبقهبندی سیگنالهای چشمی با استفاده از شبکههای مختلف ART با رمزگذاری آرایهای آورده شده است.

۴-۲- طبقهبندی سیگنالهای الکترواکلوگرام با استفاده از شبکههای ART

در ایـن تحقیـق از ساختـارهای مختـلف شبکـههـای ART (ART فازی، ATR-2A، ART 2A-C و ART 2A-E) برای طبقهبندی سیگنال EOG استفاده شده است. ورودیهای شبکه را ویژگیهای سیگنال EOG تشکیل میدهد. قبل از اعمال سیگنال EOG بهشبکه، نویز و آرتیفکت چشم از سیگنال حذف شده، سپس ویژگیهای مختلف سیگنال استخراج میشوند. نرخ یادگیری برای ART فازی، یک و برای نسخههای مختلف ART-2A، ۰/۱ انتخاب شده است. پارامتر شباهت (ρ) نیز برای هر چهار شبکه، بسیار نزدیک به یک (حداکثر مقدار) گرفته شده است تا بهتعداد دفعات کمتری برای همگرایی شبکه نیاز باشد. در مرحلة آزمایش شبکهها، گرة خروجی که بیشترین مقدار را داشته باشد. بهعنوان گره برنده انتخاب میشود. از مجموع آزمایشات انجام شده، تعدادی برای آموزش و تعدادی برای امتحان شبکه، استفاده شده است. الگوهای آموزشی بهصورت تصادفی بهشبکه اعمال شدهاند. از مزایای این روش آموزش آن است که شبکه سعی میکند خود را با تغییرات دائم ورودی تطبیق دهد و از این لحاظ قدرت یادگیری شبکه بالا میرود، اما در عوض سرعت یادگیری کاهش و زمان آموزش افزایش مییابد. تعداد خروجیهای شبکههای ART، در طی فرایند یادگیری تعیین میشود. ویژگیهای سیگنال EOG مربوط بهحرکت فعلی چشم بههمراه تخمین قبلی شبکه (تخمین موقعیت قبلی چشم)، ورودهای شبکه را تشکیل میدهد. تعداد ورودیهای شبکه در پروتکل اول آزمایش برابر با ۱۰ تا و در حالت پروتکل دوم آزمایش برابر با ۱۲ است. مجموعاً از ۳۰۰ الگو در حالت اول (۲۰۰ الگو برای آموزش و ۱۰۰ الگوی دیگر برای آزمایش) و از ۵۰۰ الگو در حالت دوم (۴۰۰ الگو برای آموزش و ۱۰۰ الگوی دیگر برای آزمایش) برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است. سه دسته مختلف الگوهای آموزشی و آزمایشی برای هر روز آزمایشی تشکیل شده، سپس برای هر یک از دستهها، شبکهای بهطور مجزا آموزش داده شده و آزمایش شده است، آنگاه متوسط نتایج بهدست آمده است.

۵- نتایج

۵-۱- نتایج تشخیص حرکتهای چشم مابین ۴ نقطه

در جداول (۱) تا (۴) نتایج حاصل از تشخیص حرکتهای چشم ما بین ۴ نقطه بر روی صفحة کامپیوتر با استفاده از شبکههای عصبی ART 2A، ART 2A-C، ART 2A-E و FUZZY ART آورده شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که می‌توان در بهترین حالت با نرخ متوسط ۸۸% شانزده حرکت چشم را تشخیص داد. نکتة دیگر اینکه کارائی شبکه ART فازی نسبت به سه شبکة دیگر بهتر است. کارائی دو شبکة ART 2A-C و ART 2A-E تقریباً یکسان است. ملاحظه می‌شود که بردار ویژگی "میانگین - حداکثر - حداقل" نسبت به دیگر ویژگی از قابلیت تفکیک بالاتری برخوردار است.

جدول ۱- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین چهار هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART فازی برای ۴ فرد، پس از کمتر از ۵ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش – تیزی	۷۶،۴	۷۵،۷	۴۹،۷	۸۶
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۳،۷	۸۰	۷۴،۷	۸۶،۴
مقادیر منفرد – تیزی	۸۴،۷	۷۶،۷	۵۴	۸۷،۴

جدول ۲- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین چهار هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A برای ۴ فرد، پس از کمتر از ۵ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش – تیزی	۶۴،۴	۵۹،۷	۳۷،۷	۷۹
میانگین - حداکثر - حداقل	۷۰	۴۳،۷	۶۲،۴	۷۸،۷
مقادیر منفرد – تیزی	۶۹،۷	۶۸	۴۵،۷	۵۸،۴

جدول ۳- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین چهار هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A-C برای ۴ فرد، پس از ۱۰ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش – تیزی	۷۲،۴	۶۹،۴	۴،۴۴	۸۶،۷
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۱،۷	۸۰،۴	۷۲	۸۴،۵
مقادیر منفرد – تیزی	۸۶	۴۸	۵۰	۸۱،۷

جدول ۴- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین چهار هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A-E برای ۴ فرد، پس از ۱۰ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش – تیزی	۷۳	۶۹	۴۴	۸۴،۷
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۱،۷	۸۰	۷۵	۸۴،۷
مقادیر منفرد – تیزی	۸۸	۷۹،۷	۵۰،۴	۸۷

۵-۲- نتایج تشخیص حرکت چشم مابین ۶ نقطه

در ایـن حالت ۳۶ حرکت مختلف وجود دارد. در جدولهـای (۵) تا (۸) نتایج تشخیص این ۳۶ حرکت با استفاده از شبکههای عصبی ART 2A ، ART 2A-C، ART 2A-E و FUZZY ART آورده شده است. ملاحظه می‌شود که سه شبکه ART 2A-C، ART 2A-E و FUZZY ART از کارائـی بالاتـری نسبت به ART 2A برخوردار است. مجدداً مشاهده می‌شود که بردار ویژگی "میانگین - حداکثر - حداقل" نسبت بهدیگر ویژگی از قابلیت تفکیک بالاتری برخوردار است.

جدول ۵- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین شش هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART فازی برای ۴ فرد، پس از از ۵ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش - تیزی	۵۷،۴	۴۰	۲۷	۶۷،۴
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۷،۷	۴۹،۷	۵۵،۷	۷۸
مقادیر منفرد – تیزی	۷۳،۷	۴۰	۲۷،۷	۷۷،۷

جدول ۶- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین شش هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A برای ۴ فرد، پس از از ۵ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش - تیزی	۳۶،۷	۳۶،۴	۲۰،۴	۵۴
میانگین - حداکثر - حداقل	۵۷	۱۸	۳۷،۴	۴۹
مقادیر منفرد - تیزی	۳۸،۷	۲۸،۴	۲۴	۵۰،۴

جدول ۷- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین شش هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A-C برای ۴ فرد، پس از ۱۰ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش - تیزی	۵۱	۳۱،۴	۲۳	۶۶،۴
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۶	۵۴،۷	۴۸،۴	۷۹
مقادیر منفرد - تیزی	۶۳،۴	۴۴،۷	۲۵،۷	۷۱،۷

جدول ۸- درصد تشخیص صحیح حرکات تصادفی مابین شش هدف، به ازاء ویژگیهای مختلف با استفاده از شبکة ART-2A-E برای ۴ فرد، پس از ۱۰ دورة یادگیری

ویژگیها	فرد اول	فرد دوم	فرد سوم	فرد چهارم
میانگین - پراش - تیزی	۵۱،۴	۳۲،۷	۲۶	۷۱،۴
میانگین - حداکثر - حداقل	۸۶،۴	۵۸،۴	۴۷	۷۸،۷
مقادیر منفرد - تیزی	۶۶	۴۷	۲۵،۷	۷۵

۶- نتیجهگیری

در این مقاله، یک روش برای تشخیص حرکات چشم از سیگنال الکترواکلوگرام با استفاده از شبکههای عصبی ارائه شد. یکی از مهمترین اهداف تشخیص حرکتهای چشم از سیگنال الکترواکلوگرام، ارتباط انسان با کامپیوتر بر مبنای سیگنال الکترواکلوگرام است. با وجود تحقیقات وسیع در این زمینه، هنوز مشکلات عمدهای در این راستا وجود دارد. همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد محققین قبلاً از میزان آستانة سیگنال EOG جهت طبقهبندی سیگنالهای چشمی و تشخیص حرکت چشم استفاده کردهاند. استفاده از این روش، بهعلت وجود رانش در سیگنال و تغییرات آن در زمان، پلک زدنهای غیر ارادی و نیز اینکه بعضی از حرکات چشم باعث ایجاد سیگنال الکترواکلوگرام مشابه میشوند، کاربرد روش آستانهای و دقت آنرا محدود میسازد. در این مقاله برای اولین بار از شبکههای عصبی مبتنی بر نظریة تشدید وفقی برای تشخیص حرکات مختلف چشم استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان میدهد که میتوان ۱۶ حرکت مختلف چشم را در بهترین حالت بهمیزان حدود ۸۸ درصد و ۳۶ حرکت را در بهترین حالت بهمیزان حدود ۸۷ درصد با استفاده از ویژگیهای حداکثر - حداقل - میانگین سیگنال EOG تشخیص داد. باید توجه داشت که هیچگونه انتخابی در الگوها برای آموزش و آزمایش انجام نگرفته است. علاوه بر این، همانطور که در شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است، حرکات تصادفی کاملاً پیچیده و در بعضی از حالات باعث ایجاد سیگنال الکترواکلوگرام مشابه میشوند. با وجود این مسئله و نیز رانش سیگنال در زمان و پلک زدنهای غیر ارادی، شبکههای عصبی مبتنی بر نظریة تشدید وفقی، با دقت نسبتاً بالائی قادر بهتشخیص میباشند.

تشکر و قدردانی

آزمایشها و پردازشهای این تحقیق در آزمایشگاه پردازش سیگنالهای بیولوژیک دانشکدة برق دانشگاه علم و صنعت ایران انجام شده است. لازم بهذکر است که سیگنالها توسط سیستم EOG طراحی شده در این آزمایشگاه اخذ شده است.

مراجع

[1] E. Kaufman, A. Bandopadhay, and B. D. Shaviv, "An Eye Tracking Computer User Interface, "in virtual Reality symposium, pp. 120-121, 1993.

[2] Y. Tomito Y. Igarashi, and S. Honda, "Electro-oculography Mouse for Amyotropic Lateral Sclerosis Patients," in Proc. Int. Conf. IEEE/EMBS, Amsterdam, vol. 18, pp. 1780-1781, 1996.

[3] G. Norris, E. Wilson, "The Eye Mouse, An Eye Communication Device," in Proc. 19th Int. Conf. IEEE/EMBS, pp. 66-67 1997.

[4] Y. Kuno, T. Yagi, Y. Uchikawa, "Development of eye pointer with free head-motion," in Proc. 20th Int. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, vol. 20. pp. 1750-1752, 1998.

[5] Y. Kuno, T. Yagi, Y. Uchikawa, "Biological Interaction between Man and Machine." Proc. IROS. Pp. 318-323, 1997.

[6] M. Yamada, T. fukuda, "Eye word processor (EWP) and peripheral controller for the ALS patient,", IEE proc., vol. 134, no. 4, 1987.

[۷] علیرضا اخبارده، عباس عرفانیان امیدوار، "تشخیص حرکتهای چپ و راست چشم با استفاده از سیگنالهای EOG جهت ارتباط انسان با کامپیوتر". ششمین کنفرانس بینالمللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، ۱۳۷۹.

[8] T. Frank, K. Kraiss, and T. Kuhlen, "Comparative analysis of fuzzy ART and ART-2A network clustering performance," IEEE Transactions on Neural Network, vol. 9, pp. 544-559, no. 3, 1998.

[9] N. Srinivasa, and N. Ahuja, "A topological and temporal correlator network for spatio-temporal IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 10, pp. 356-371, no. 2, 1999.