



در مسیر تقلید از مغز و سامانه‌های پردازش زیستی، باید توجه ویژه‌ای به فضا‌های سیناپسی داشت و راهی برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری آن‌ها یافت. در این نوشته از میان تحقیقات گسترده‌ای که در این حوزه صورت گرفته است، سه مورد را انتخاب کرده‌ایم و با هم نگاهی به آن‌ها خواهیم انداخت.

این مطلب یکی از مقالات پرونده ویژه «مغزهای ماشینی؛ انسان یا برده؟» شماره 200 ماهنامه شبکه است. علاقه‌مندان می‌توانند کل این پرونده ویژه را از روی [سایت شبکه](#) دانلود کنند.

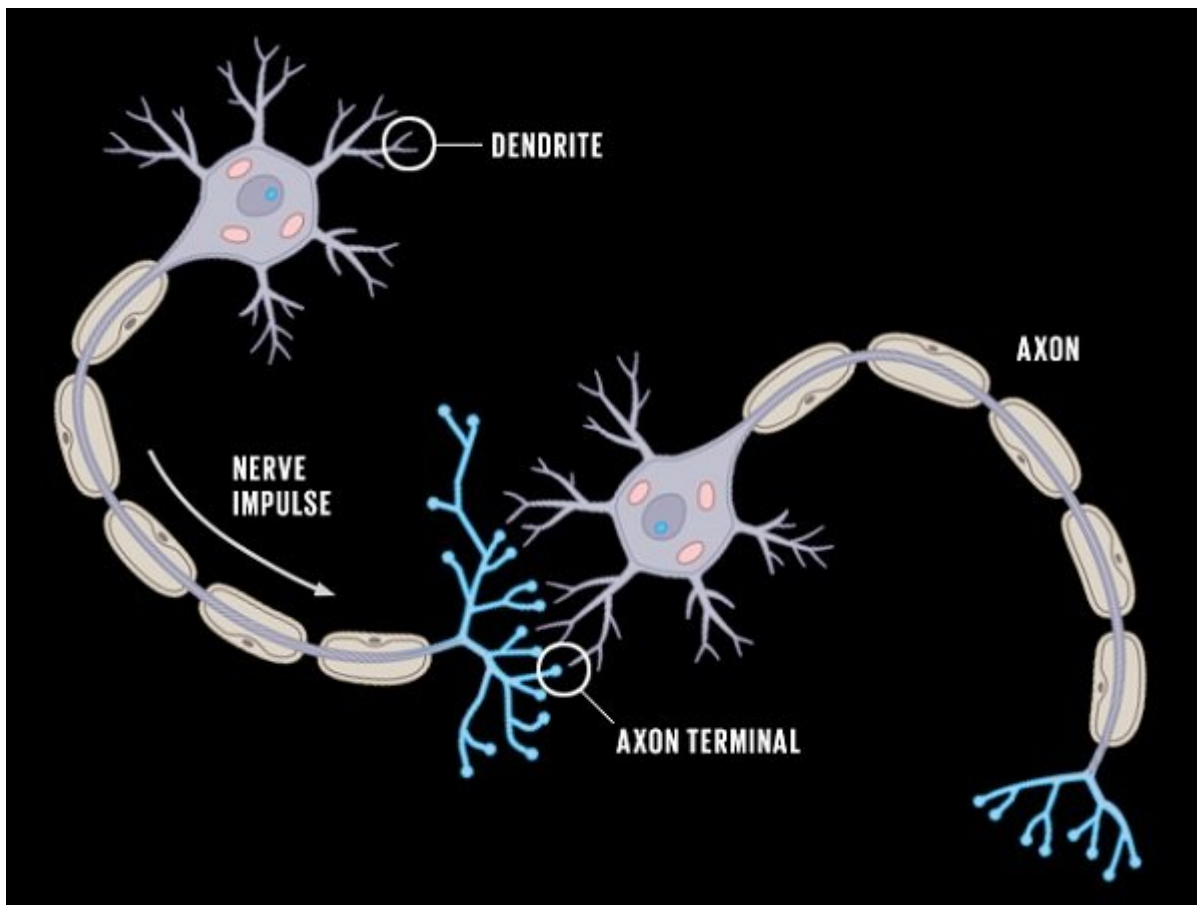
در حالی که توان مصرفی مغز معادل توان لازم برای روشن کردن یک لامپ است، مجموع توان مصرفی شبکه عصبی AlphaGo تقریباً به یک میلیون وات می‌رسد؛ یعنی ۵۰ هزار برابر مغز. این یکی از مشکلات بزرگ پیش روی توسعه شبکه‌های عصبی مصنوعی است و هرچه ماشین‌های ما هوشمندتر شوند، برای استفاده از آن‌ها در زندگی روزمره، به توان بیشتری نیاز خواهیم داشت. بخش مهمی از این ایراد، به ساختار سخت‌افزاری سامانه‌های هوش مصنوعی مربوط است. محققان سعی می‌کنند با الهام از مغز به عنوان یک سامانه پردازشی قدرتمند و بهینه، ضعف‌های موجود در طراحی سامانه‌های هوشمند را به کمترین میزان ممکن برسانند. در مسیر تقلید از مغز و سامانه‌های پردازش زیستی، باید توجه ویژه‌ای به فضا‌های سیناپسی داشت و راهی برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری آن‌ها یافت. در این نوشته از میان تحقیقات گسترده‌ای که در این حوزه صورت گرفته است، سه مورد را انتخاب کرده‌ایم و با هم نگاهی به آن‌ها خواهیم انداخت.

در سامانه‌های پردازشی سنتی مبتنی بر معماری فون‌نویمان (Von Neumann)، واحد پردازش مرکزی (CPU) و واحد حافظه اصلی کاملاً از یکدیگر جدا هستند. اما در مغز انسان فرآیند پردازش و ذخیره‌سازی هم‌زمان انجام می‌شود. (شکل 1) در واقع، مغز از تعداد زیادی نورون و فضای [سیناپسی](#) تشکیل شده است که هریک از آن‌ها هم‌زمان هم نقش محاسباتی دارند و هم ذخیره‌سازی. چنین ساختار منحصر به فردی سبب می‌شود مغز در فعالیت‌های خود، توان را به بهینه‌ترین شکل ممکن مصرف کند. کامپیوترهای فعلی در این حوزه بسیار ناکارآمد هستند و حتی چنین سطحی از بهینه‌سازی دور از دسترس آن‌ها است.



به کجا چنین شتابان
پرونده ویژه «مغزهای ماشینی؛ انسان یا برده؟» منتشر شد

جدا بودن واحد پردازش از واحد ذخیره‌سازی در کامپیوترهای فعلی، امکان دستیابی به آن سطح از موازی‌سازی و کارایی مصرف توانی که در پردازش مغز زیستی شاهدیم از ما می‌گیرد. بسیاری از محققان معتقد هستند که نخستین گام برای دستیابی به سخت‌افزاری با کارایی مغز، ساخت سیناپس‌های مصنوعی است که مشابه سیناپس‌های زیستی عمل کنند. مغز از سیناپس برای انجام هم‌زمان پردازش و ذخیره‌سازی استفاده می‌کند. چنین راهکاری باعث صرفه‌جویی در مصرف توان می‌شود، زیرا نیاز نیست داده‌ها بین واحد پردازش و حافظه رد و بدل شوند.

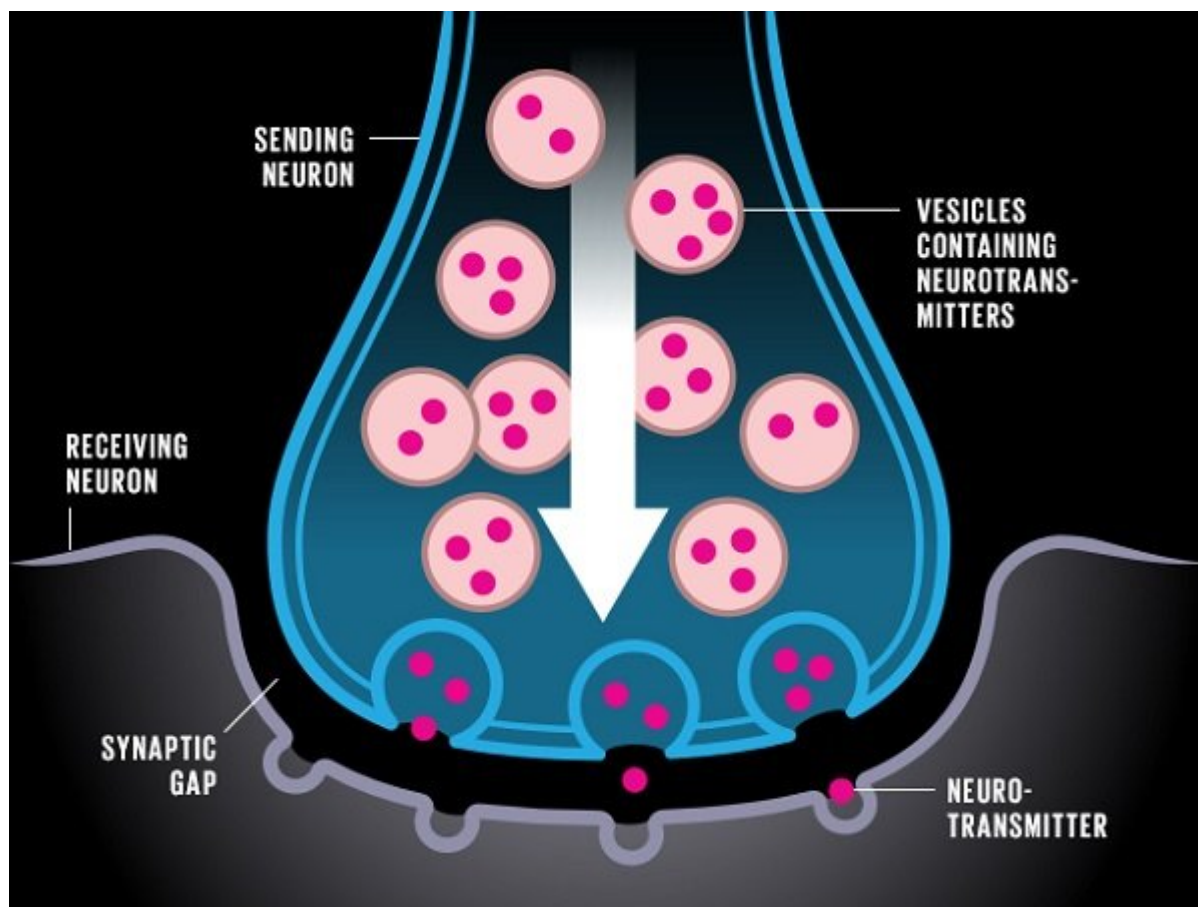


شکل 1- نمایی از نحوه ارتباط نورون‌ها با هم؛ نورون‌ها از طریق شاخه‌هایی به نام دندریت اطلاعات را به هم می‌رسانند.

شبیه‌سازی فضاهای سیناپسی

در یک مغز زیستی سلول‌های عصبی سیگنال‌های الکتریکی را به‌منظور پردازش و ذخیره‌سازی اطلاعات برای یکدیگر می‌فرستند. (شکل 2) بین این نورون‌ها فاصله‌هایی وجود دارد که سیناپس نام دارند و امکان رد و بدل شدن پیام‌ها را فراهم می‌کنند. هر زمان این پیام‌ها عبور می‌کنند، این اتصال هم قوی‌تر می‌شود و در نتیجه هر بار انرژی کمتری مصرف می‌شود. تعداد سیناپس‌ها بسیار بیشتر از تعداد نورون‌ها است و برای دستیابی به سامانه پردازشی که قادر به تقلید از مغز و سامانه عصبی انسان باشد، باید توجه ویژه‌ای به ساخت سیناپس‌های مصنوعی داشته باشیم. محققان سعی می‌کنند به‌جای ساخت یک شبکه عصبی در نرم‌افزار، سخت‌افزاری بسازند که شبیه سیناپس عمل کنند. در گذشته، برای شبیه‌سازی فرآیندهای شکل گرفته در سیناپس‌ها از قطعاتی نظیر ترانزیستورها و خازن‌ها

استفاده می‌شود. اگرچه این روش تا حدودی کار می‌کند، اما این قطعات شباهت بسیار کمی با سامانه‌های زیستی واقعی دارند، فضای بیشتری اشغال می‌کنند، توان بیشتری مصرف می‌کنند و عملکرد آن‌ها شباهت کمتری به نمونه زیستی دارد.



شکل 2- طرحی بزرگ‌نمایی شده از محل تبادل پیام‌ها بین دو نورون؛ بین دو نورون فاصله‌ای وجود دارد و پیام با کمک پیام‌رسان‌های نورونی منتقل می‌شود. این فاصله فضای سیناپسی نام دارد.

مطلب پیشنهادی

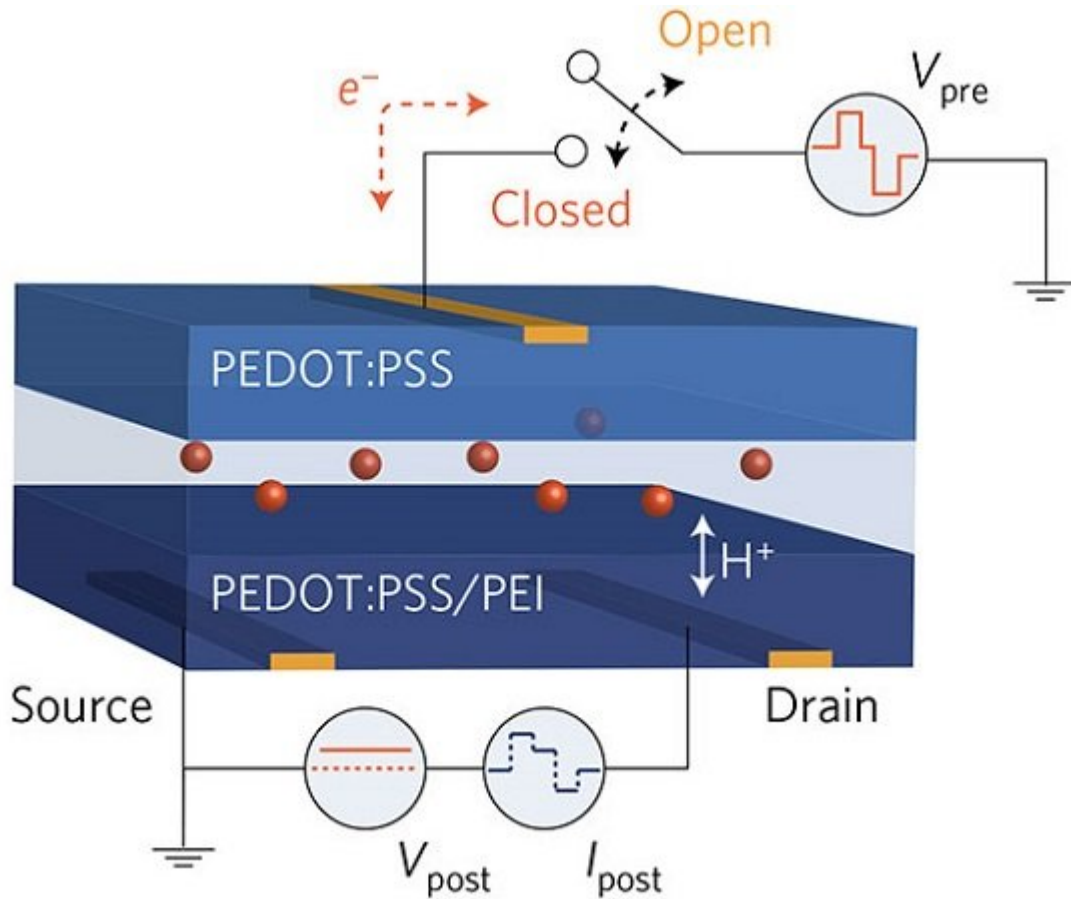


نظرات یک دانشمند علم اعصاب درباره مراقبت از مغز مغزتان را هک کنید تا به اوج موفقیت برسید

راهکار الکترونیکی: باتری سه‌پایه

محققان دانشگاه استنفورد نمونه‌ای از یک سیناپس مصنوعی موسوم به ENODE (سرنام Electrochemical Neuromorphic Organic Device) طراحی کرده‌اند. این ابزار از مواد ارگانیک و قابل انعطاف ساخته شده است که با مغز سازگار بوده و علاوه بر اینکه محاسبات را مشابه مغز و با کمترین میزان مصرف توان در مقایسه با روش‌های مشابه انجام می‌دهد، امکان ساخت رابط‌های مغز - ماشین بهتری را نیز فراهم خواهد کرد. ایده ENODE مشابه همان چیزی است که در طبیعت رخ می‌دهد. ENODE از دو فیلم نازک از جنس مواد ارگانیک و منعطف تشکیل شده که فضای بین این دو با ماده‌ای الکترولیت پر شده است. این مجموعه توسط یک کلید اصلی (پالس) کنترل می‌شود. وقتی کلید باز است، [سیناپس](#) در حالت «فقط خواندنی» قرار دارد و وقتی بسته می‌شود، در حالت نوشتن قرار می‌گیرد و آماده ذخیره‌سازی اطلاعات می‌شود. برای ورود داده، ولتاژی به لایه بالایی فیلم اعمال

می‌شود که سبب آزاد شدن الکترون می‌شود. فیلم برای برگشتن به حالت تعادل خود، از لایه پایینی، یون هیدروژن قرض می‌گیرد. این فرآیند سطح اکسایش مجموعه و در نتیجه میزان رسانایی آن را تغییر می‌دهد. (شکل 3) درست نظیر سیناپس زیستی، در اینجا هم هرچه پالس الکتریکی اعمال شده قوی‌تر یا طولانی‌تر باشد، یون‌های هیدروژن بیشتری آزاد و در نتیجه رسانایی بیشتر می‌شود. به بیان ساده‌تر، این مجموعه شبیه یک باتری با سه پایه کار می‌کند که یک پایه آن (مثل ترانزیستور) برای کنترل میزان جریان عبوری از دو سر دیگر استفاده می‌شود.



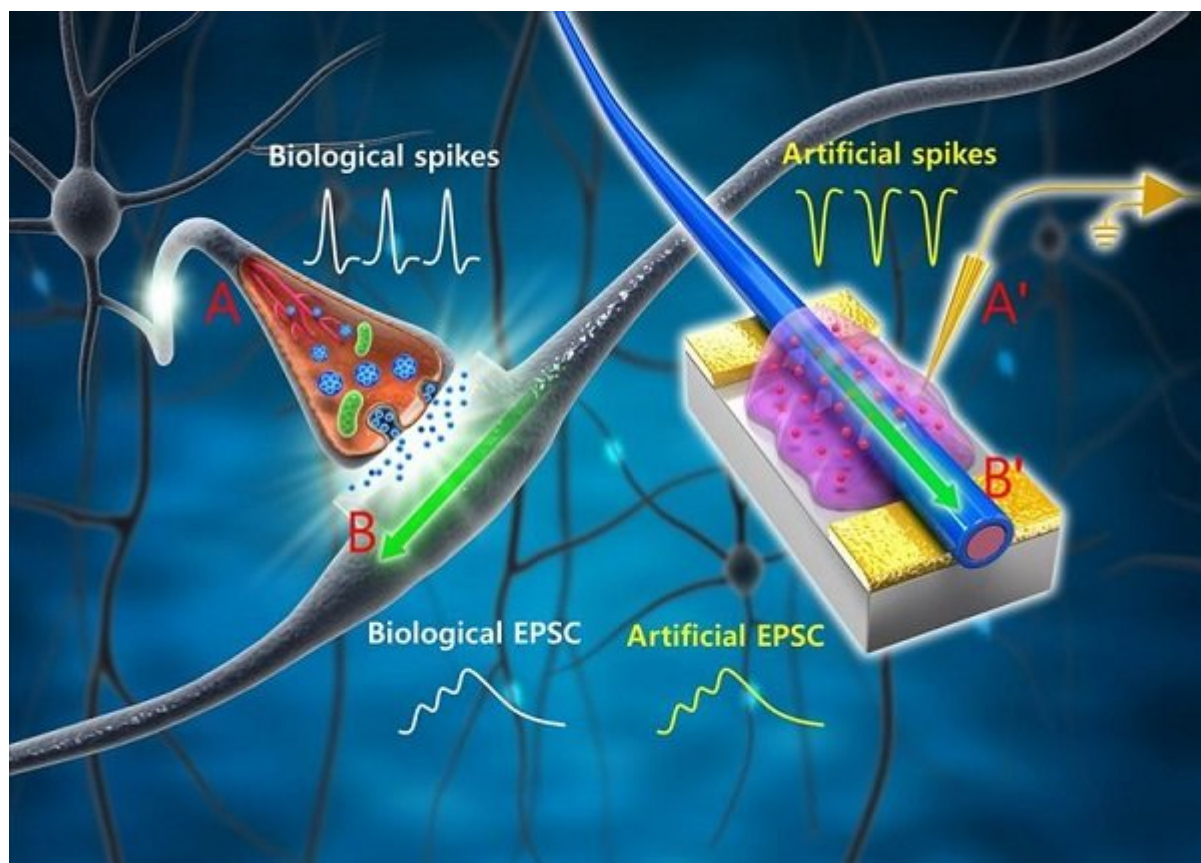
شکل 3- ENODE از دو صفحه پلیمری تشکیل شده است که با الکترولیت از یکدیگر جدا شده‌اند. اعمال پالس ولتاژ به صفحه بالایی، سطح اکسایش در صفحه پایینی را تغییر می‌دهد و این امر بر میزان رسانایی بین سورس و درین اثر می‌گذارد.

مطلب پیشنهادی



ترفندهای تقویت مغز
اگر می‌خواهید قدرت مغزتان را افزایش دهید؛ این ده مطلب را بخوانید!

با این روش، محققان موفق شده‌اند 500 حالت رسانایی مجزا را به دست آورند که در مقایسه با دو حالت (صفر و یک) در کامپیوترهای سنتی بسیار چشمگیر است و برای استفاده در روش‌های مبتنی بر محاسبات عصبی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی راهکار بسیار مناسبی است. میزان توان مصرفی در این روش حدود یک دهم توانی است که پیشرفته‌ترین کامپیوترهای امروزی برای انتقال داده از واحد پردازش به واحد حافظه صرف می‌کنند. با این حال، مصرف توان این سیناپس مصنوعی نسبت به یک سیناپس واقعی، هزاران بار بیشتر است. این گروه معتقد است با کاهش اندازه کلی این سامانه، می‌توان مصرف توان آن را به حد چشمگیری کاهش داد و حتی به کمتر از مصرف



راهکار الکترونیکی: ترکیب دو نوع ممریستور

ممریستور یکی از گزینه‌های محبوب محققان برای ساخت سیناپس‌های مصنوعی است. ممریستور قطعه‌ای الکترونیکی است که مقدار مقاومتش به میزان شارژی که تا آن لحظه از درونش گذشته است بستگی دارد. در سامانه‌های زیستی رسیدن پیام عصبی به یک سیناپس، سبب باز شدن کانال‌ها می‌شود و یون‌های کلسیم به درون سیناپس جریان می‌یابند. این سبب آزاد شدن مواد شیمیایی موسوم به پیام‌رسان‌های عصبی می‌شود که از فاصله بین دو سلول عصبی یا همان سیناپس عبور کرده و پیام را به نورون بعدی منتقل می‌کنند. با کمک ممریستور می‌توان این رفتار یون‌های کلسیم که در اتصال بین دو نورون رخ می‌دهد را شبیه‌سازی کرد.

گروهی از محققان با استفاده از نوعی ممریستور (diffusive memristor) که در آن نانوذرات نقره به صورت مجتمع در فیلمی از جنس سیلیسیم اوکسی نیتريد بین دو الکتروود قرار گرفته‌اند، روشی برای ساخت سیناپس مصنوعی ارائه کردند. این فیلم در حالت عادی یک عایق است، ولی وقتی به الکتروودها پالس ولتاژ اعمال می‌شود ترکیبی از گرما و نیروهای الکتریکی، اجتماع نانوذرات نقره را درهم می‌شکند و این نانوذرات درون فیلم پخش شده و یک مسیر رسانا تشکیل می‌دهند که جریان الکتریکی را از یک الکتروود به الکتروود دیگر می‌رساند. وقتی ولتاژی در کار نباشد، دما کاهش می‌یابد و نانوذرات بار دیگر مجتمع می‌شوند.

از آنجا که این فرآیند بسیار مشابه رفتار یون‌های کلسیم در سیناپس‌های زیستی است، چنین ابزاری می‌تواند از انعطاف‌پذیری کوتاه‌مدتی که در نورون‌ها رخ می‌دهد تقلید کند. با ترکیب این ممریستور با نوع دیگری از ممریستورها که متکی بر میدان‌های الکتریکی هستند (drift memristor) و برای کاربردهای ذخیره‌سازی بهینه‌سازی شده‌اند، می‌توان به ویژگی انعطاف‌پذیری بلندمدت سیناپس‌های زیستی موسوم به STDP (سرنام Spike-Timing-Dependent Plasticity) نیز دست یافت. STDP قدرت اتصال بین نورون‌ها را بر اساس زمان‌بندی پالس‌ها تنظیم می‌کند.

بازسازی دقیق انعطاف‌پذیری سیناپسی گامی مهم در ساخت کامپیوترهایی است که شبیه مغز عمل می‌کنند. در ساخت این سیناپس از روش تولید مشابه روشی که برای ساخت حافظه‌های مبتنی بر ممریستور توسعه داده شده‌اند استفاده می‌شود و می‌توان به جای نانوذرات نقره، از نانوذرات مس استفاده کرد. محققان مدعی هستند که قادرند این سیناپس مصنوعی را کوچک‌تر از یک سیناپس انسان بسازند، زیرا بخش مهم این ابزار عرضی حدود 4 نانومتر

دارد. این باعث می‌شود در مقایسه با روش‌های معمول ساخت سخت‌افزارهای مغزی، بتوان دستگاه‌هایی با مصرف توان بسیار کمتری ساخت. لازم به ذکر است در روش‌های سنتی شبیه‌سازی یک سیناپس به حدود 10 ترانزیستور نیاز است.

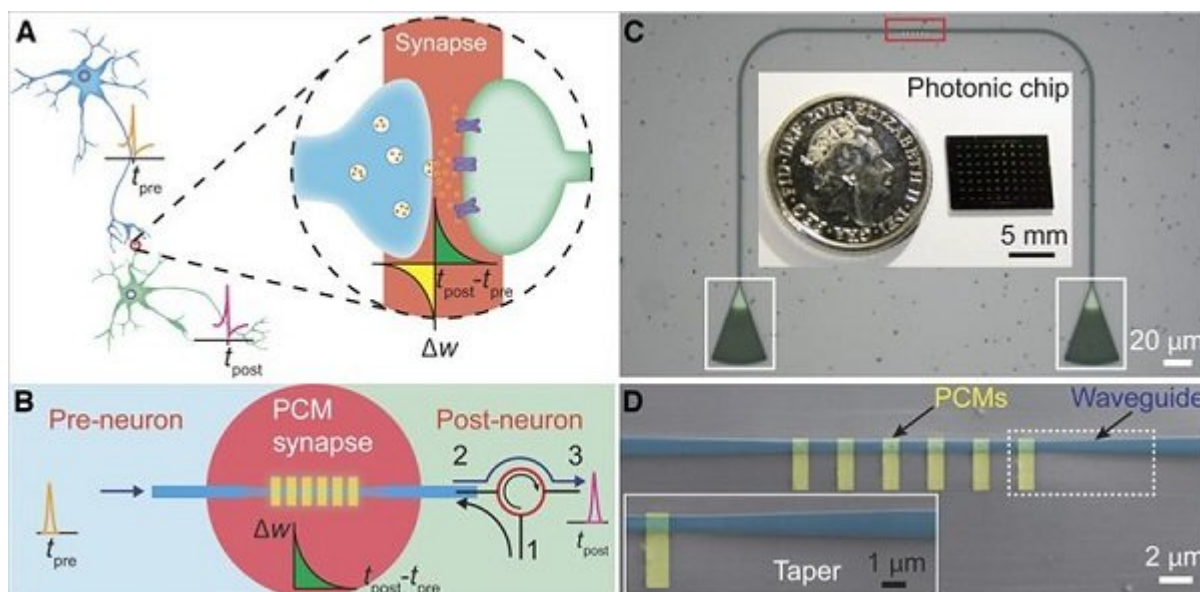
مطلب پیشنهادی



فکر می‌کنید رشد مغزتان تا کی ادامه دارد؟
۱۰ روش اثبات شده رشد مغز از زبان عصب‌شناسان و نورولوژیست‌ها

راهکار نوری: ترکیب نور و نورومورفیک

به‌تازگی گروهی از محققان انگلیسی و آلمانی موفق شده‌اند با پیوند زدن محاسبات نوری و سخت‌افزارهایی که با الهام از مغز ساخته شده‌اند، خود را به راهکارهای طبیعت نزدیک‌تر کنند. آن‌ها توانسته‌اند با استفاده از مدارهای نوری، یک سیناپس سخت‌افزاری را پیاده‌سازی کنند. (شکل 4) این راهکار نوری امکان ارتباطات پرسرعت‌تری را نسبت به روش‌های پیشین ارائه می‌دهد و در مقایسه با روش‌های ارتباطی الکترونیکی، میزان مصرف توان بسیار پایین‌تری دارد. این سیناپس مصنوعی که بنا بر ادعای طراحانش «نخستین سیناپس نوری متجمع جهان» است، گامی رو به جلو برای ترکیب محاسبات نوری و محاسبات نورومورفیک محسوب می‌شود و مزایای هر دو حوزه را در هم ادغام کرده است. این محققان سیناپس خود را با استفاده از PCM (سرنام Phase-Change Material) ساخته‌اند که از جمله کاربردهای این ماده در ساخت سی‌دی‌ها و دی‌وی‌دی‌های قابل بازنویسی است. علاوه بر این، سیناپس مصنوعی شامل یک موج‌بر هم است. گرما بر میزان قابلیت جذب نور PCM اثر می‌گذارد و بدین ترتیب می‌توان از این ویژگی برای کنترل میزان نور عبوری از موج‌بر استفاده کرد.



شکل ۴- الف) ساختار نورون و سیناپس زیستی

ب) طرحی از ساختار سیناپس مصنوعی نوری

ج) تصویر میکروسکوپی از درون تراشه؛ ورودی و خروجی نوری با کادر سفید و سیناپس مصنوعی با کادر قرمز مشخص شده است.

د) نمایی بزرگ‌تر از سیناپس مصنوعی (کادر قرمز شکل ج)

به‌عقیده Qiangfei Xia دانشیار دانشگاه ماساچوست که روی روش‌های الکترونیکی برای پیاده‌سازی محاسبات نورومورفیک کار کرده است، سیناپس نوری ایده هوشمندانه‌ای است و این امکان را فراهم می‌کند تا میزان مصرف

توان کاهش یابد. اگرچه به این نکته هم اشاره می‌کند که هم سیناپس و هم موج‌برها نسبت به قطعات الکترونیکی بزرگ هستند: «هنوز مشخص نیست تا چه میزان می‌توان این سیناپس‌های نوری را به صورت آرایه‌های بزرگ بسته‌بندی کرد تا در کاربردهای مربوط به محاسبات نورومورفیک قابل استفاده باشند.» روش تولید این سیناپس‌ها با فرآیند معمول ساخت تراشه‌ها سازگار است و این محققان به‌منظور به نمایش گذاشتن مقیاس‌پذیری روش خود، تراشه‌ای با طول تقریبی یک سانتی‌متر ساخته‌اند که 70 سیناپس نوری را در خود جای داده است. البته این فقط گام نخست است. ساخت نورون‌های نوری و اتصال آن‌ها به هم با استفاده از این سیناپس‌ها کار به مراتب دشوارتری است.

تاریخ انتشار:

22 فروردین 1397

نشانی منبع:

<https://www.shabakeh-mag.com/cover-story/12091/%DA%A9%D8%A7%D9%85%D9%BE%DB%8C%D9%88%D8%AA%D8%B1%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%AA%D9%81%DA%A9%D8%B1-%D8%B3%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%87-%D8%B4%D8%AF%D9%87-%D8%A8%D8%B1-%D9%BE%D8%A7%DB%8C%D9%87-%D8%B3%DB%8C%D9%86%D8%A7%D9%BE%D8%B3-%D9%85%D8%B5%D9%86%D9%88%D8%B9%DB%8C-%D9%88-%D9%85%D8%AD%D8%A7%D8%B3%D8%A8%D8%A7%D8%AA-%D8%B9%D8%B5%D8%A8%E2%80%8C%DA%AF%D9%88%D9%86>