

عنوان

پیاده سازی مقاله‌ی نگاشت یک بعدی مدل نورونی: اصلاح لاجستیک

۱ مقدمه

مغز انسان از انواع مختلفی از نورون‌ها تشکیل شده است. نورون‌ها مهم‌ترین و کلیدی‌ترین جز در پردازش‌های سیگنال مغز می‌باشند. در مغز انسان حدود 10^{11} نورون وجود دارد که هر کدام از این نورون‌ها ۱۰۰۰۰ اتصال سیناپسی با سایر نورون‌ها دارند. [۱]

در دستگاه اعصاب میلیاردها نورون وجود دارند که پیام‌های عصبی را به صورت امواج الکتریکی ملایم منتقل می‌سازند. اما پیام‌های عصبی تنها از یک نورون به نورون دیگر منتقل نمی‌شوند. دندریت‌ها و انتهای آکسون‌ها به چند شاخه منشعب می‌شوند و این شاخه‌ها با چندین نورون ارتباط پیدا می‌کنند، به طوری که هر نورون با چندین نورون مجاور مرتبط می‌گردد. تعداد ارتباطات نورونی در سراسر دستگاه اعصاب فوق‌العاده زیاد است. مسیرهای متفاوتی که هر پیام عصبی می‌تواند انتخاب کند تقریباً پایان ناپذیرند. اندیشه‌ها، احساسات و یاد‌های ما به عنوان الگوهای ویژه پیام‌های عصبی باقی می‌مانند و دائماً از طریق چند مسیر معین به مغز انتقال داده می‌شوند. هر پیام از میان میلیاردها آکسون و دندریت فقط یک مسیر خاص را انتخاب می‌کند.

پتانسیل عمل نقش مهمی در مکانیزم‌های ارتباطی بین نورون‌ها ایفا می‌کند. پتانسیل الکتریکی آن‌ها بصورت ناگهانی در دو طرف غشا سلول تغییر می‌کند. (شکل ۱) این پتانسیل می‌تواند در شکل ثابتی در مسیر آکسون‌ها و اتصالات نورونی با سایر نورون‌ها منتشر شود و پیش رود. [۱] در دستگاه اعصاب میلیاردها نورون وجود دارند که پیام‌های عصبی را به صورت امواج الکتریکی ملایم منتقل می‌سازند. اما پیام‌های عصبی تنها از یک نورون به نورون دیگر منتقل نمی‌شوند. دندریت‌ها و انتهای آکسون‌ها به چند شاخه منشعب می‌شوند و این شاخه‌ها با چندین نورون ارتباط پیدا می‌کنند، به طوری که هر نورون با چندین نورون مجاور مرتبط می‌گردد. تعداد ارتباطات نورونی در سراسر دستگاه اعصاب فوق‌العاده زیاد است. مسیرهای متفاوتی که هر پیام عصبی می‌تواند انتخاب کند تقریباً پایان ناپذیرند. اندیشه‌ها، احساسات و یاد‌های ما به عنوان الگوهای ویژه پیام‌های عصبی باقی می‌مانند و دائماً از طریق چند مسیر معین به مغز انتقال داده می‌شوند. هر پیام از میان میلیاردها آکسون و دندریت فقط یک مسیر خاص را انتخاب می‌کند



شکل 1. spiking [1]

خصوصیات عمومی نورون‌های تحریک‌پذیر، نیاز است که توسط یک مدل مناسب تخمین و ارائه شود. یک مدل مناسب نورونی باید از لحاظ محاسباتی ساده باشد و بتواند تمام الگوهای پتانسیل عمل^۱ یک نورون را که در سیستم‌های زیستی ثبت شده‌اند را نمایش دهد. مدل مناسب باید قادر باشد که نقطه تعادل نورون در عدم حضور تحریک‌کننده خارجی، که همان زمان استراحت نورون می‌باشد، را نشان دهد. در حضور تحریک‌کننده خارجی، نورون تحریک‌پذیر رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهد که این رفتارها *bursting* و *spiking* نام دارند. بنابراین علاوه بر نقطه تعادلی که نشان دهنده‌ی زمان استراحت نورون می‌باشد، نقطه تعادل دیگری که نشان دهنده‌ی حالت *firing* نورون می‌باشد باید نشان داده شود. نقطه تعادل حالت *firing* معمولاً یک سیکل محدود^۲ می‌باشد که با تغییر پارامترها این نقطه تعادل می‌تواند به سمت نقاط عجیب^۳ میل کند. یک مدل نورونی مناسب به زیر آستانه و فوق آستانه برای جذب‌ها نیاز دارد. در تحریک کمتر از حد آستانه، مسیر سیستم به حالت تعادل و استراحت جذب می‌شود. در مقابل، هنگامی که ورودی به اندازه کافی بزرگ باشد تا سیستم را به دامنه بیش از حد آستانه حرکت دهد، مسیر به حالت فایر شدن جذب می‌شود.^[۳]

۲ مدل‌های ارائه شده نورونی

تاکنون مدل‌های گوناگونی جهت ارائه این ویژگی‌های نورونی ارائه شده است. معادلات دیفرانسیل تفاضلی یکی از ابزارهای سنتی برای مدلسازی رفتار الکتریکی نورون‌ها بود که توسط هاجکین و هاکسلی در سال ۱۹۵۲ میلادی ارائه شد و کمی بعد این مدل توسط سایر دانشمندان توسعه یافت. با پیشرفت رایانه و علم تمایل استفاده از نگاشت^۴ افزایش یافت. بیشتر مدل‌هایی که بر اساس معادلات دیفرانسیل می‌باشند، دارای معادلات پیچیده با ابعاد بالا هستند که آنالیز مکانیزم‌های دینامیکی سیستم را سخت و مشکل می‌کند. بنابراین نگاشت می‌تواند یک مدل مناسب جهت نمایش و ارائه مکانیزم‌های دینامیکی باشد. نگاشت‌ها توانایی نمایش رفتارهای پیچیده‌ی سیستم با حجم محاسباتی کمتر را دارند. همچنین برای نمایش رفتارهای آشوبگونه و نوسانی یک سیستم با استفاده از معادلات دیفرانسیل حداقل به یک دو یا سه بعد نیاز داریم اما در نگاشت یک بعدی هم می‌توانیم تمام این رفتارها را نشان دهیم. در سال‌های اخیر از نگاشت برای مدل رفتار نورونی بسیار استفاده شده است. تعدادی از این مدل‌ها از رابطه زیر تبعیت می‌کنند.^[۳]

¹ firing

² Limit cycle

³ chaos

⁴ mapping

$$\begin{cases} x(k+1) = F[x(k), I \pm y(k)] \\ y(k+1) = y(k) \mp \varepsilon[x(k) - qy(k) - \sigma] \end{cases}$$

در این رابطه متغیرهای تند (دارای ثابت زمانی تند) و آهسته^۵ (دارای ثابت زمانی آهسته) داریم. مدل‌های ایزکویچ^۶، رولکو^۷، کاربج^۸ و چپالوو^۹ نمونه‌هایی از این مدل می‌باشند. تفاوت این مدل‌های نام برده شده در تفاوت انتخاب تابع غیرخطی دینامیک تند (F) و مقادیر پارامترهای دینامیک آهسته می‌باشد (σ و ε و q).

این مدل‌ها برای ارائه رفتارهای نوروئی طراحی شده‌اند، در حالیکه پارامترهای آن‌ها مکانیزم‌های طبیعی نرون را نمی‌توانند بطور واضح نمایش دهند. در واقع مدل‌هایی که براساس نگاشت می‌باشند به عنوان یک مدل پدیده شناسی شناخته می‌شوند.

نگاشت‌های دوبعدی توجه‌ها را برای شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی بزرگ جذب کرده‌اند، نگاشت‌های یک بعدی نیز به دلیل حجم محاسباتی کم مورد توجه قرار گرفته‌اند. بسیاری از نگاشت‌های یک بعدی جهت مدلسازی رفتارهای نوروئی، توسعه یافتند. [۳]

در این مقاله یک مدلی از رفتارهای پیچیده‌ی نوروئی، براساس نگاشت یک بعدی، با اعمال برخی اصلاحات بر نگاشت لاجستیک^{۱۰} طراحی شده است نگاشت لاجستیک با فرمول ساده اش ($x_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$) قابلیت نمایش دینامیک‌های متناوب و آشوبی را ندارد. اگرچه معادله اصلی نگاشت لاجستیک توانایی نمایش رفتار شبه نوروئی را ندارد اما در این مقاله با اعمال برخی از اصلاحات بر روی معادله اصلی لاجستیک، توانستند توانایی آن در نمایش رفتارهای مختلف نوروئی مانند bursting آشوبی و متناوب و همچنین spiking افزایش دهند.

⁵ Slow-fast prototype

⁶ Izhikevich

⁷ Rulkov

⁸ courbage

⁹ chialvo

¹⁰ logistic

۳ مدل ارائه شده در مقاله

معادله زیر، معادله مدل ارائه شده می باشد:

$$x_{n+1} = F(x_n) = \begin{cases} Ax_n^\alpha(1 - x_n^\beta) + k, & x_n \leq 1 \\ 1, & x_n > 1 \end{cases}$$

به این مدل، نگاشت اصلاح شده و محدود گویند.^{۱۱} برای ساخت این مدل نیاز است که سه اصلاح مهم بر روی نگاشت لاجستیک اصلی اعمال شود:

- (۱) افزودن پارامتر α و β بعنوان توان X_n .
- (۲) افزودن پارامتر k جهت شیفت تابع نگاشت در جهت بالا یا پایین.
- (۳) افزودن یک قسمت محدود کننده که باعث می شود که مقدار X_n از مقدار ۱ بیشتر نشود.

پارامتر A اثر مقیاس گذاری در نگاشت دارد که بسیار شبیه به پارامتر کنترلی در نگاشت لاجستیک اصلی می باشد. با افزودن پارامتر α به معادله، قوسی در قسمت صعودی نمودار به وجود می آید که وجود این قوس برای نمایش دینامیک های پاسخ نوروئی بسیار با اهمیت می باشد. میزان انحنای این قوس با تنظیم پارامتر α قابل تغییر می باشد. پارامتر k ، همانطور که گفته شد باعث می شود که دامنه پاسخ نوروئی هیچ گاه بیشتر از ۱ نشود که این تضمین کننده ی پایداری مدل می شود. پس می توان گفت که هیچ گاه پاسخ نوروئی با دامنه بی نهایت نخواهیم داشت. [۳]