



مدلسازی شبکه چشم بوسیله شبکه های عصبی مصنوعی

علیرضا خان تیموری
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی کامپیوتر
khanteymoori@gmail.com

محمد باقر منهاج
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی برق
mbmenhaj@yahoo.com

سینا تفضلی
دانشگاه زنجان
دانشکده مهندسی برق
tafazolisina@gmail.com

از این رو مدلسازی سیستم بینایی حداقل به پیشرفت چند موضوع زیر کمک خواهد کرد.

- به بررسی دقیق ساختار فیزیولوژیکی این سیستم منجر می شود و به دانشمندان علوم پزشکی کمک می کند عملکرد این سیستم را بهتر مطالعه کنند مانند [۱].

- بررسی از دیدگاه مهندسی در تمام سیستم های طبیعی منجر به الگوگیری برای ساخت دستگاه های مهندسی و حل مسائل مهندسی شده است.

- استفاده از مدل های سیستم بینایی، خصوصا مدل شبکه چشم، برای ساخت سیستم بینایی مصنوعی کاربرد دارد، برای مثال شبکه مصنوعی که به جای شبکه آسب دیده قرار می گیرد، از مدل محاسباتی شبکه برای تولید سیگنال مناسب استفاده می کند. در این حوزه می توان به پروژه ساخت شبکه مصنوعی دانشگاه Boston اشاره نمود که تا کنون نتایج قابل توجهی را داشته است. [۲].

تمرکز اصلی این مقاله بر روی مدلسازی شبکه چشم بوسیله شبکه های عصبی مصنوعی است. مسئله مورد نظر ارائه مدلی است که بتواند رفتار شبکه را بهتر دنبال نماید. علاوه بر مدل شبکه عصبی مدل های دیگر در سطوح مختلف نیز معرفی خواهند شد.

چکیده: هدف این مقاله ارائه مدل برای شبکه چشم است. در این مقاله ابتدا فیزیولوژی شبکه چشم مورد بررسی قرار گرفته است. مدلی ارائه شده که به خاطر شباهت هر چه بیشتر رفتار مدل به رفتار سلول های شبکه، از شبکه های عصبی مصنوعی برای طراحی ساختار مدل استفاده شده است. ورودی شبکه عصبی، شدت نور تابیده شده بر روی شبکه و خروجی آن فعالیت سلول های گانگلیون شبکه چشم می باشد. بین داده های حاصل از مدل و داده های بیولوژیکی مقایسه ای صورت گرفته است. این مقایسه نشان می دهد شبکه های عصبی به طور قابل قبولی می توانند رفتار سلول های گانگلیون را مدل کنند البته کارایی شبکه به ساختار، تعداد لایه های پنهان و الگوریتم تعلیم آن بستگی دارد. همچنین آزمایش ها نشان می دهد اگر خروجی در زمانهای قبل را به عنوان ورودی به شبکه عصبی بدهیم، سیستم دارای حافظه خواهد شد و این مسئله کارایی مدل را بسیار بالا برده و از رفتار تناوبی آن جلوگیری می نماید. این مدل در ساخت شبکه مصنوعی قابل استفاده می باشد و می توان آن را بصورت سخت افزاری پیاده سازی نمود و برای بازیابی جنبه هایی از بینایی افراد نابینا به کار برد.

واژه های کلیدی: شبکه (Retina)، مدلسازی (Modeling)، سلول گانگلیون (Ganglion Cell)، شبکه های عصبی (Neural Networks)

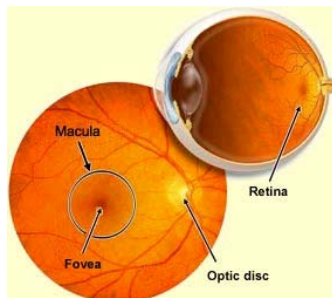
۱-۱ مبانی بیولوژیکی

شبکه اولین مرحله پردازش اطلاعات بینایی است و باینکه ساختار سلولی آن بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است هنوز هم جنبه های عملیاتی آن به درستی فهمیده نشده است. ساختار سلولی شبکه در چند لایه مرتب شده است که هر کدام از لایه ها دارای نوع خاصی از سلول هستند. شکل (۱) مکان شبکه بر روی چشم را نشان می دهد.

۱- مقدمه

توجه روزافزون به ساختار سیستم بینایی از اهمیت حس بینایی سرچشمه می گیرد، چون بسیاری از ارتباطات با محیط اطراف توسط این حس انجام می پذیرد. بنابراین تعجب آور نیست اگر ادعا کنیم بیشترین تحقیقات در میان حس ها، چه در زمینه بیولوژیکی و چه در زمینه محاسباتی، بر روی حس بینایی انجام گرفته است.

سلول ها تشکیل یافته اند هدف مدل سازی می باشند و در سطوح بالاتر کل ارگانیسم به عنوان یک سیستم مورد بررسی قرار می گیرد. در اینجا به طور خلاصه مدل سازی واقع گرایانه و مدل سازی بوسیله شبکه عصبی سلولی معرفی می شوند و سپس به بحث اصلی یعنی مدل سازی بوسیله شبکه عصبی مصنوعی می پردازیم.



شکل (۱): شبکه و محل آن در چشم [۳]

۲-۲ مدل سازی واقع گرایانه

در مدل سازی واقع گرایانه، معادلات حاکم بر سیستم بیولوژیکی با استفاده از قوانین شیمی، فیزیک و بیولوژی استخراج می شوند. برای بدست آوردن مدل های واقع گرایانه باید با سیستم بیولوژیکی به طور کامل آشنا باشیم. در این نوع مدل سازی تعداد پارامترها زیاد بوده و تمام قوانین حاکم بر سیستم آن طوری که هستند باید در مدل منظور شوند. شاخص ترین کار در این حوزه مدل Hodgkin و Huxley است که در آن اولین مدل ریاضیاتی از پتانسیل عمل در سلول را پیشنهاد شد [۵].

جریان پردازش اطلاعات از سلول های گیرنده نور، که فتونهای نور را به سیگنال های الکتریکی تبدیل می کنند، شروع می شود. سلول های گیرنده نور به سلول های دوقطبی متصل هستند که آنها هم به نوبه خود به لایه بعدی یعنی سلول های گانگلیون متصلند. سلول های گانگلیون لایه آخر هستند که خروجی آنها به صورت ضربه است و اطلاعات را به صورت تغییر فرکانس تولید ضربه، به مغز منتقل می سازند. در شکل (۲) نمونه ای از پاسخ سلول های گانگلیون به ورودی متناوب نور نشان داده شده است. (منظور از ورودی متناوب، روشن و خاموش شدن محرک نور با یک دوره تناوب ثابت است).

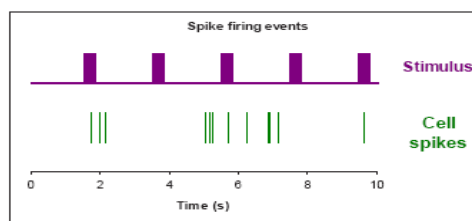
۳-۲ مدل سازی شبکه با استفاده از شبکه های عصبی سلولی (Cellular Neural Networks)

شبکه عصبی سلولی بوسیله Leon Chua در ۱۹۸۸ در برکلی معرفی شد و به عنوان یک تکامل مهم در دو دهه گذشته شناخته شده است. این زمینه به عنوان یک جهت پژوهشی جدید در شبکه های عصبی مورد توجه قرار گرفته است [۶].

یک CNN به عنوان یک ساختمان محاسبه گر که آرایه ای سه بعدی در فضای سیگنال های پیوسته است، تعریف می شود. پردازنده ها با دینامیک غیرخطی، سلول نام دارند که در نقاط شبکه ای آرایه قرار گرفته اند و به طور موضعی در یک همسایگی محدود به سلول های همسایه متصل هستند. الگوی ارتباطات محلی الگو همونوع سازی یا قانون سیناپسی نامیده می شود که می تواند دینامیک یا استاتیک، خطی یا غیر خطی، لحظه ای یا تاخیر دار باشد.

مهمترین مشخصه شبکه عصبی سلولی ساختار منظم هندسی و الکتریکی، موضعی بودن ارتباط بین اجزاء پردازشگر و برنامه پذیری آن می باشد.

مدل ارائه شده بوسیله CNN یک ابزار قوی و کارا برای مدل کردن شبکه و دیگر ابزارهای حسی بر پایه ساختار های واقعی بیولوژیکی است. ساختار مدل براساس ساختار واقعی شبکه و



شکل (۲): نمونه ای از پاسخ سلول های گانگلیون به ورودی متناوب نور [۴]

سیگنال های تولید شده توسط سلول های گانگلیون بوسیله عصب بینایی به مناطق بعدی سیستم بینایی در مغز مانند کورتکس اولیه بینایی انتقال می یابند.

۲- مدل سازی

۱-۲ سطوح مختلف مدل سازی

مدل سازی سیستم های بیولوژیکی در سطوح متفاوتی انجام می گیرد. یک سیستم بیولوژیکی را می توان در سطح سلولی و مولکولی مدل کرد که در این صورت با مسئله مدل سازی واقع گرایانه روبرو هستیم. در سطح بالاتر شبکه های عصبی که از این

گذاشتن ۶۰ الکتروود بر روی شبکه مرغ و دادن ورودی ذکر شده به آن و ضبط فعالیت های سلول های گانگلیون بدست آمده است. داده ها توسط Erich Diedrich از دانشگاه Tuebingen آلمان ضبط گردیده است. داده ها به صورت فایل هایی با فرمت mcd هستند و توسط نرم افزار MC_Rack [۸] از کمپانی Multi Channel Systems قابل مشاهده و تحلیل می باشند. این نرم افزار رابطی به MATLAB دارد که با استفاده از آن می توان اطلاعات ضبط شده را در Workspace بارگذاری نمود و از آنها استفاده نمود. هدف، تعلیم یک شبکه‌ی عصبی با استفاده از رشته ضربه ها و انواع تحریک‌هاست. با توجه به قابلیت تطبیق بالای این سیستم‌ها، شبکه به صورت نسبتاً ایده‌ال ویژگی‌های فرآیند وقوع ضربه ها را یاد می‌گیرد. در هر لحظه از زمان، بوسیله اطلاعات داده شده به شبکه، شبکه باید قابلیت پیش‌گویی وقوع ضربه را داشته باشد. با توجه به فاصله‌ی زمانی، قطار ضربه تولید شده باید همانند قطار ضربه تولید شده توسط سلول‌های گانگلیون شبکه باشد. همانطور که ذکر شد، ورودی مورد نظر یک نور خاکستری است که با استفاده از CRT بر روی شبکه تابانده شده‌است. اگر ورودی تغییر بکند مثلاً روشن و خاموش بشود، ورودی شبکه عصبی به صورت پالس خواهد بود. ورودی می تواند به صورت سینوسی نیز باشد یعنی شدت نور تابیده شده به صورت سینوسی در زمان تغییر کند.

۳-۳ تعلیم شبکه‌ی عصبی

شبکه عصبی با استفاده از Neural Networks Toolbox در MATLAB شبیه‌سازی و تعلیم داده شد. برای مدل کردن پاسخ سلول‌های گانگلیون شبکه، تعداد زیادی آزمایش مدل‌سازی انجام شده است. آزمایشها در راستای دستیابی به ساختار شبکه‌ای انجام گرفته که دقیقترین تخمین از وقوع ضربه‌ها را بدهد.

اولین سری آزمایش‌ها با هدف پیدا کردن سریع‌ترین صحیح‌ترین الگوریتم یادگیری بود. توابع فعال‌سازی نیز آزمایش شدند. بعد از این سری آزمایش‌ها، شبکه توسط الگوریتم پس انتشار خطا برای حداقل کردن میانگین مربعات خطا بین

پارامترهای بدست آمده از اندازه‌گیری های آزمایشگاهی بدست می آید. نتایج بدست آمده از مدل بسیار شبیه به اندازه‌گیری های بدست آمده از شبکه است. ساختار پیشنهاد شده می تواند برای پیاده سازی سخت-افزاری استفاده شود. این سخت افزار می تواند در هر عضو مصنوعی حسی که نیاز دارد سیگنالهای صحیح بیولوژیکی را به مغز بفرستد، بکار گرفته شود [۷].

۳- مدلسازی شبکه‌ی بوسیله شبکه عصبی مصنوعی

در این بخش مدلسازی بوسیله شبکه های عصبی مورد بررسی قرار می گیرد که حاصل کار مولفان می باشد.

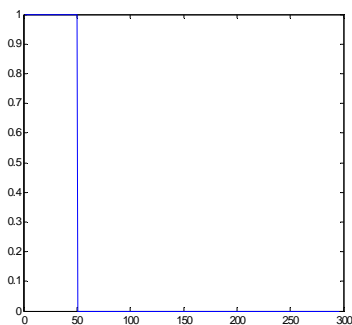
۱-۳ تعریف مسئله

اگر شبکه‌ی را به عنوان یک جعبه سیاه در نظر بگیریم در این صورت ورودی جعبه شدت نور تابیده شده به شبکه و خروجی آن فعالیت سلول های گانگلیون می باشد. در این صورت، مسئله پیدا کردن مدلی است که بتواند ورودی جعبه سیاه را به خروجی آن ربط دهد. شبکه های عصبی قابلیت بسیار زیادی در حل اینگونه مسائل دارند که در آنها بدون داشتن معادلات داخلی سیستم و با در اختیار داشتن ورودی و خروجی سیستم می توان شبکه را طوری تعلیم داد که الگوی رابطه بین ورودی و خروجی را پیدا نماید. شبکه‌های عصبی با تنظیم وزن‌های بین نورون‌ها تعلیم داده می‌شوند به طوری که یک ورودی ویژه یک خروجی ویژه تولید می‌کند.

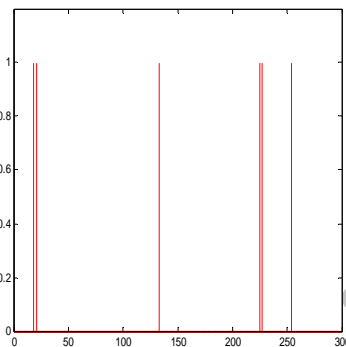
۲-۳ اجزاء مدل

ساختن مدل و شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB انجام گرفته است. هدف مدلسازی فعالیت‌های سلول های گانگلیون در هنگام اعمال یک ورودی است. ورودی موردنظر یک نور خاکستری است که با استفاده از CRT بر روی شبکه تابانده شده است. ایده اصلی تعلیم دادن یک شبکه عصبی با داده‌های حاصل از آزمایش حاصل از ثبت چند الکتروود از لایه سلول‌های گانگلیون و تلاش برای بدست‌آوردن ساختار قطارهای ضربه تولید شده است. داده های این آزمایش از

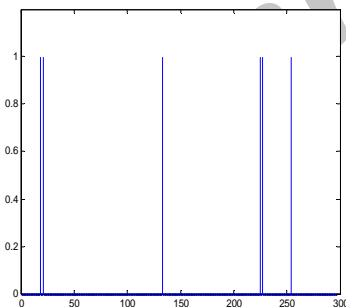
بهترین جواب ها با ۲۰۰ الگو و ۲ لایه با ۵ نرون در لایه پنهان با خطای صفر بدست آمد که در شکل (۴) نشان داده شده است.



الف) ورودی



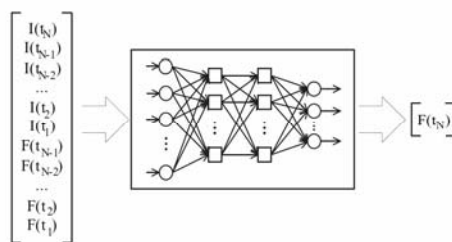
ب) خروجی سلول



ج) خروجی شبکه (MSE=0)

شکل (۴): مقایسه پاسخ واقعی سلول با پاسخ مدل شده با شبکه عصبی. ساختار استفاده شده در شبکه‌های عصبی با ۵ نرون در لایه پنهان است.

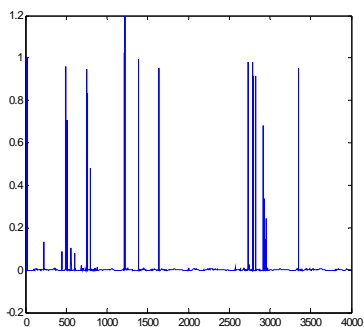
ضربه های تعلیم داده شده و ضربه های واقعی، تحت تعلیم قرار گرفت. جهت خطای هر وزن، با استفاده از گرادیان مختلط نزولی Powell-Beale (تابع `traincgb` در نرم افزار MATLAB) محاسبه شد، و اندازه‌ی پله با استفاده از روش جستجوی خط Charalambous (در MATLAB `srchcha`) تعیین شد که نرخ یادگیری تطبیقی توسط درونیایی مکعبی و قسمت کردن تولید می‌شود. جستجو برای پیدا کردن بهترین ساختار شبکه دسته‌ی دومی از محرک‌ها را نمایان می‌کند. تعداد نوروں‌ها و لایه‌های پنهان متفاوت انتخاب شده است تا مدل ارائه شده بدون *overfitting* و *underfitting* داده‌ها باشد. ورودی‌های شبکه با پنجره‌ای از قطارهای ضربه به طول ۰,۰۹۶ ثانیه و دسته‌هایی با دقت ۱ میلی ثانیه مشخص می‌شود. مقدار خروجی نوروں‌ها نشان دهنده ی تقریب وقوع ضربه است. به بیان دیگر، شبکه رشته محرک‌های $\{I(t_1), I(t_2), \dots, I(t_N)\}$ و مقدار قطار ضربه در زمان $\{t_i\}, i=1, 2, \dots, N-1$ یعنی $\{F(t_1), F(t_2), \dots, F(t_{N-1})\}$ (در صورت وجود ضربه و ۰ در نبود ضربه) را به عنوان ورودی گرفته و سپس برای تولید یک ضربه در زمان t_N ، یعنی $F(t_N)$ تعلیم داده می‌شود [۴]. خروجی این شبکه مقدار پیش بینی شده ضربه در زمان t_N است. شبکه جلوسوی ۳ لایه با اتصالات کامل با ورودی و خروجی مورد نظر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳): ساختار ورودی، خروجی شبکه عصبی [۴]

۴-۳ شبیه سازی و نتایج

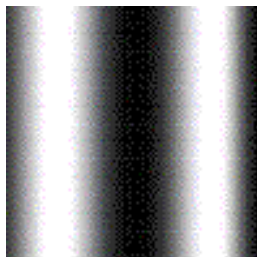
برای نشان دادن کارایی مدل، ضربه های واقعی سلول‌ها همراه با مقدار متناظر تخمین زده شده بوسیله مدل شبکه عصبی رسم شده اند. ورودی یک بردار با بعد $N=96$ است که وقتی بردار ۹۵ تایی ضربه ها در زمان های قبل را اضافه می‌کنیم بعد آن برابر $N=95+96=191$ خواهد شد. شبکه با تعداد مختلف از الگوها آموزش داده شده است.



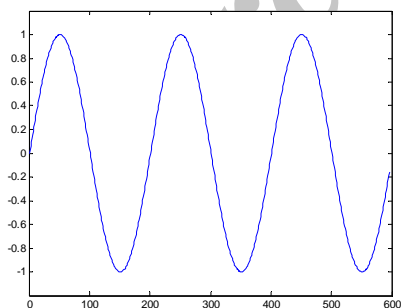
ج) خروجی شبکه

شکل (۶): مقایسه پاسخ واقعی سلول با پاسخ مدل شده با شبکه عصبی. ساختار استفاده شده، شبکه عصبی با ۱۰ نرون در لایه پنهان اول و ۵ نرون در لایه پنهان دوم است. تعداد الگوها به ۴۰۰۰ تا افزایش یافته است.

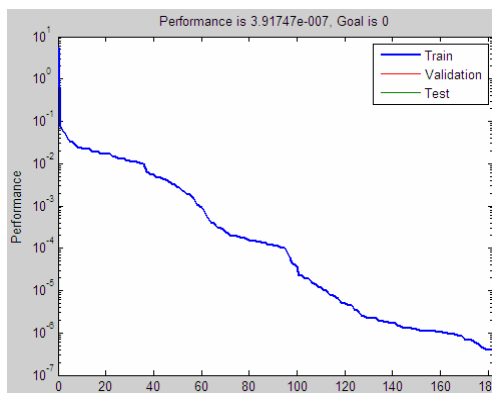
شبکه با ورودی سینوسی و تعداد ۵۰۰ الگو با ساختار ۱-۵-۱۰ شبیه سازی شد. شکل (۷) نتایج شبیه سازی را نشان می دهد.



الف) ورودی آزمایشگاهی

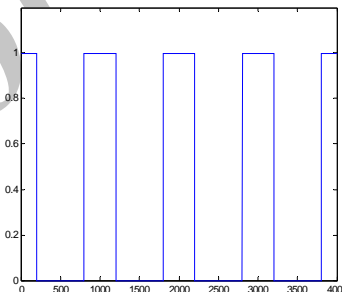


ب) ورودی شبکه

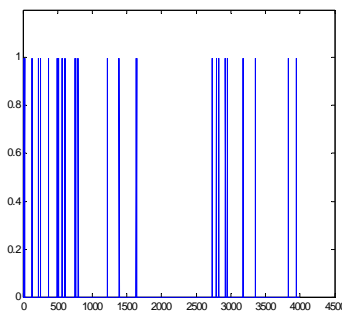


شکل (۵): خطای شبکه با ۲۰۰ الگو و با ساختار ۱-۵-۱۰ ($MSE=0$)

اگر تعداد الگوها را به ۴۰۰۰ تا افزایش دهیم خطای کمی افزایش می یابد ولی باز هم شبکه توانایی دنبال کردن پاسخ سلول را دارد. این مسئله در شکل (۶) نشان داده شده است.



الف) ورودی



ب) خروجی سلول

۷- مراجع

[۱] Ralf Wessel, Christof Koch, And Fabrizio Gabbiani, *Coding Of Time-Varying Electric Field Amplitude Modulations In A Wave-Type Electric Fish*, Journal Of Neurophysiology, Vol. ۷۵, No. ۶, June ۱۹۹۶

[۲] www.bostonretinalimplant.org.

[۳] www.Thebrain.Mcgill.Ca, Vision

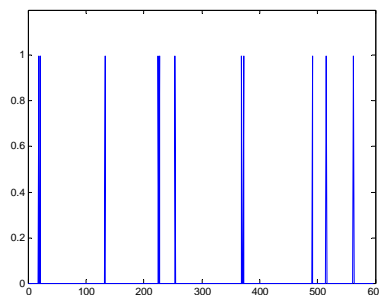
[۴] Jose Antonio Henriques Germano, Ricardo Manuel Simoes Baptista, *Artificial Retina: Development Of A Bio-Inspired Model With Configurable Implementation*, Universidade Tecnica De Lisboa Instituto Superior Tecnico, ۲۰۰۴

[۵] Hodgkin, A. L. And Huxley, A. F., *Currents Carried By Sodium And Potassium Ions Through The Membrane Of The Giant Axon Of Loligo*, Journal of Physiology, Vol ۱۱۶, No ۴, April ۱۹۵۲

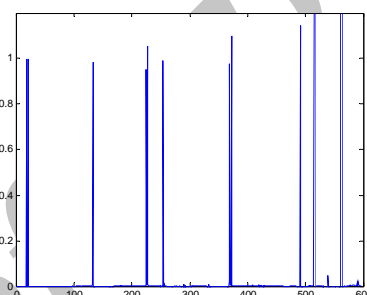
[۶] Leon O. Chua, Lin Yang, *Cellular Neural Networks: Theory*, IEEE Transactions On Circuits And Systems, Vol ۳۵, No ۱۰, October ۱۹۸۸

[۷] Corina Botoca, *Some Aspects Of Cellular Neural Networks And Their Applications*, Transactions On Electronics And Communications, Tom ۴۸ (۶۲), Fascicola ۱, ۲۰۰۳

[۸] www.Multichannelsystems.com



ب) خروجی سلول



ج) خروجی شبکه

شکل (۷): مقایسه پاسخ واقعی سلول با پاسخ مدل شده با شبکه عصبی با ورودی سینوسی. ساختار استفاده شده، شبکه عصبی با ۱۰ نرون در لایه پنهان اول و ۵ نرون در لایه پنهان دوم است.

۵- نتیجه گیری

معرفی ایده اضافه کردن ضربه های قبلی بسیار موثر بوده است. در نتیجه، شبکه های عصبی دقت بیشتری در پیش بینی ضربه ها دارند. وجود ضربه های قبلی در ورودی باعث می شود سیستم دارای حافظه شود. با توجه به ساختار شبکه، رفتار قطار ضربه تقریباً مدل شده است. این مدل در مراحل پیشرفته تر در ساخت شبکه مصنوعی قابل استفاده می باشد. می توان آن را بصورت سخت افزاری پیاده سازی نمود و برای بازیابی جنبه هایی از بینایی افراد نابینا به کار برد.

۶- تشکر و قدردانی

لازم است از آقای Erich Diedrich از دانشگاه Tuebingen آلمان که داده های آزمایشگاهی را در اختیار ما گذاشتند صمیمانه تشکر نمائیم.