[illegible]

دانشگاه لرستان

دانشکده علوم پایه

گروه ریاضی

طراحی کنترل کننده های تطبیقی موجکی هوشمند با مد لغزشی وکاربرد آن در کنترل سیستم های خودخلبان(پهپاد)

نگارنده :

صبا یعقوبی پور

استاد راهنما:

دکتر مجید یاراحمدی

استاد مشاور:

دکتر ناصرعباسی

پایان نامه جهت دریافت درجه ی کارشناسی ارشد
در رشته ی ریاضی کاربردی
آذر ۱۳۹۱

□□ □□□□□

□□...

همه ی امتیازات این پایان نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات، کنفرانس ها یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه لرستان(یا اساتید یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیر و تشکر

از زحمات بی دریغ استاد عزیزم آقای دکتر مجید یاراحمدی که در گردآوری این پایان نامه بنده را با صبر و شکیبایی راهنمایی نمودند، صمیمانه تشکر می‌کنم که قطعا بدون راهنمایی های دلسوزانه و مدبرانه‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی رسید. از استاد گرامی آقای دکتر ناصر عباسی که مشاوره را تقبل فرمودند، تشکر می کنم. از اساتید گرامی آقایان، دکتر مجتبی قاسمی و دکتر بهمن غضنفری که داوری را تقبل فرمودند، صمیمانه تشکر می کنم. از پدر و مادر عزیزم تشکر می کنم.

چکیده

در این پایان نامه، روش کنترل مد لغزشی موجکی مبتنی بر تابع لغزشی متغیر با زمان با لایه مرزی تطبیقی ارائه می‌شود. سطح لغزشی متغیر با زمان، براساس یک پارامتر بازگشتی همه فرکانس‌های مدل نشده را فیلتر می‌کند. به منظور کاهش تاثیرات نامعینی‌های سیستم و فرکانس های مدل نشده، پهنای باند شکست فرکانس، پهنای لایه ی مرزی و پارامترهای حاصل از تقریب موجکی عصبی تعدیل خواهند شد. نوسانات شدید در سیگنال کنترل رخ نخواهد داد و هزینه کنترل کمتر از به روش های دیگرمی‌باشد. برای سهولت در بدست آوردن طراحی کنترل‌کننده ارائه شده، سه قضیه و یک لم اثبات می‌شود. به منظور بررسی عملکرد و فواید روش ارائه شده، خودخلبان پیچشی برای موشک EMRAAT که قابلیت هدایت با مانور BTT را دارد، طراحی می‌شود.

کلید واژه: تقریب موجکی عصبی، لایه مرزی، موشک، خودخلبان پیچشی، پهنای باند شکست فرکانس، کنترل مد لغزشی، پارامتر بازگشتی

مقدمه

کنترل سیستم‌های غیرخطی یک موضوع مهم در کنترل سیستم و کاربردهای واقعی آن است. کنترل مد-لغزشی به عنوان یک روش مرسوم، جهت طراحی کنترل مقاوم برای سیستم‌های غیرخطی نامعین در حضور اختلالات خارجی استفاده شده است. در تکنیک‌های مد-لغزشی، تبدیل مناسبی از خطای ردیابی انجام می‌شود، به طوری که یک مسئله‌ی خطای ردیابی به یک مسئله‌ی پایدارسازی مرتبه‌ی اول تبدیل می‌شود[۱۱]. کنترل مد-لغزشی یک کنترل گسسته را به کار می‌گیرد تا حالت سیستم را طوری هدایت کند که به سطح لغزشی برسد و از آن به بعد مسیرش را روی این سطح حفظ کند. اکثر سیستم‌های واقعی، غیرخطی و پیچیده اند و دارای دینامیک‌های نامعین هستند که به آسانی نمی‌توان مدل ریاضی آنها را استخراج کرد. ساماندهی نامعینی‌ها و اختلالات خارجی مستلزم کنترل با هزینه‌ی بالا می‌باشد. گسستگی در کنترل، نوسانات را به وجود می‌آورد و ممکن است منجربه فعال شدن فرکانس‌های مدل نشده شود که امری نامطلوب در کاربردهای واقعی می‌باشد. برای رفع این نواقص، روش‌های شناسایی سیستم[۱۳]، کنترل‌های فازی عصبی[۸]، کنترل مد-لغزشی با لایه مرزی فازی[۱۰] و الگوریتم‌های تقریب برای طراحی کنترل کننده‌ای ایده‌آل [۱۱ و ۱۵] استفاده شده است. موجک منجربه ایجاد ابزاری پیشرفته در بسیاری از تحقیقات علمی و واقعی شده است[۱۶]. شبکه‌ی موجکی می‌تواند به عنوان یک تقریبگر عمومی، مخصوصا در الگوریتم‌های تقریب و شناسایی به کار گرفته شود[۱۳]در این پایان نامه از کنترل مد-لغزشی فازی غیرمستقیم با لایه مرزی تطبیقی از طریق تابع لغزشی متغیر با زمان استفاده شده است[۱] . با این تفاوت که برای تقریب زدن توابع غیرخطی از شبکه‌های عصبی موجکی[1] استفاده

[1] Wavelet Neural Network

می‌شود و معادله‌ی لغزشی متغیر با زمان مفصلا بررسی می‌شود، که در آن تنظیم‌کننده‌ی بازگشتی[1] براساس یک پارامتر، به نام «پارامتر بازگشتی[2]» به منظور انتخاب ضرائب خطا در معادله‌ی لغزشی معرفی می‌شود. چنین معادله‌ی لغزشی همانند زنجیره‌ای از فیلترهای پایین‌گذر مرتبه اول، همه‌ی فرکانس‌های مدل نشده را فیلتر می کند. با تنظیم پارامتر بازگشتی پهنای باند شکست فرکانس و ضرائب حالت خطا در معادله‌ی لغزشی تعدیل خواهد شد. همچنین سرعت ردیابی افزایش می‌یابد و هزینه‌ی کنترل به طرز قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

[2]Rejection Regulator

[3]Rejection Parameter

فهرست مطالب :

۱- سیستم‌های هوشمند..... ۱

۱-۱ شبکه‌های عصبی..... ۲

۱-۱-۱ مقدمه..... **۲**

۱-۱-۲ نرون عصبی انسان ومعماری و شبکه عصبی..... ۳

۱-۱-۲-۱ شبکه‌های عصبی تک نرونه، تک لایه..... ۷

۱-۱-۲-۲ شبکه های چندلایه..... ۸

۱-۱-۳ انواع شبکه های عصبی مصنوعی از نظر مسیر جریان سیگنال..... ۹

۱-۱-۳-۱- شبکه‌های پیشخور..... ۹

۱-۱-۳-۲ شبکه‌های پسخور ۱۰

۱-۱-۴ مراحل طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی ۱۱

۱-۱-۴-۱ یادگیری یک پرسپترون..... ۱۲

۱-۱-۴-۲ انواع روش‌های آموزش شبکه..... ۱۳

۱-۱-۴-۲-۱ یادگیری نظارت شده ۱۳

۱-۱-۴-۲-۲ یادگیری نظارت نشده..... ۱۴

۱-۱-۵ الگوریتم پس انتشار خطا..... ۱۵

۱-۲ شبکه‌ی موجکی ۱۸

۱-۲-۱ تاریخچه ۱۸

۱-۲-۲ موجک..... ۱۸

۱-۲-۳ شبکه‌ی موجکی ۲۰

۱-۳ ۱-۳ مثال: کاربرد شبکه‌های خطی در پردازش سیگنال‌ها..... ۲۱

۱-۳-۱ تعریف مسئله..... ۲۱

۱-۳-۲ طراحی شبکه..... ۲۲

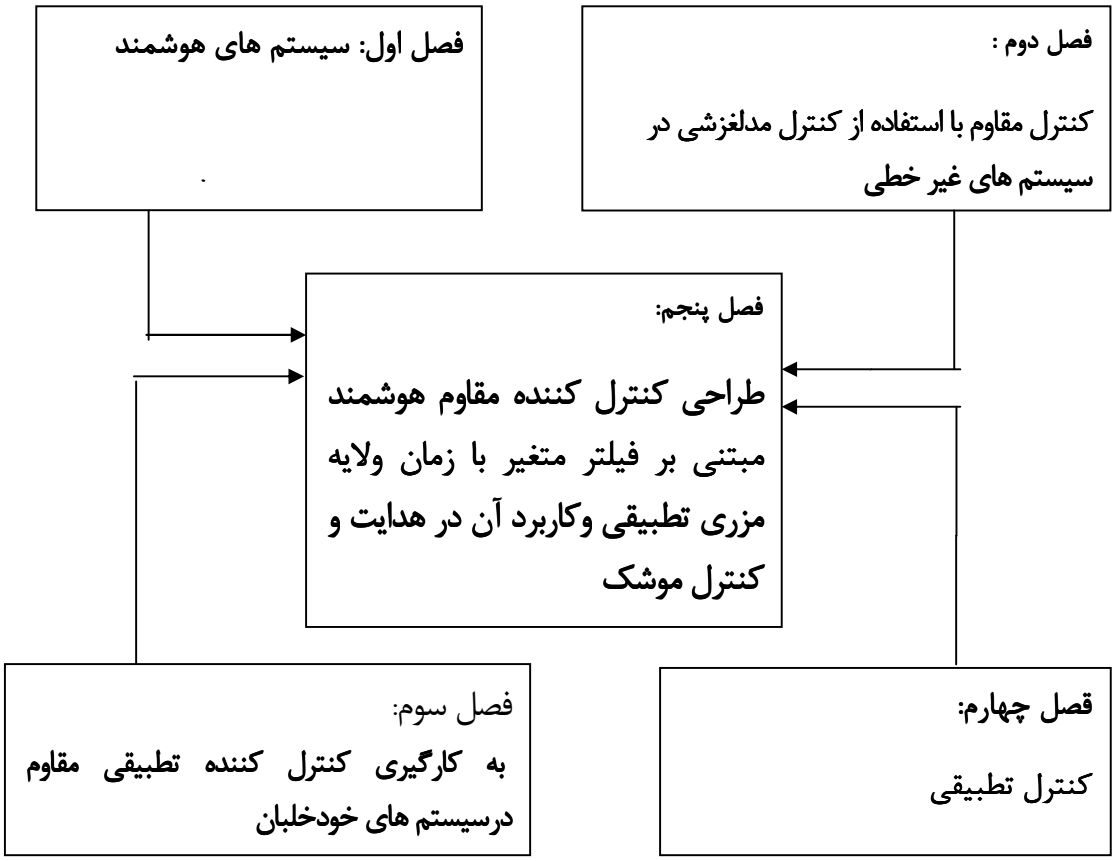
۲- کنترل مقاوم با استفاده از کنترل مدلغزشی در سیستم‌های غیرخطی.... ۲۳

۲-۱ سیستم‌های غیرخطی..... ۲۴

۲-۱-۱ مقدمه..... ۲۴
۲-۱-۲ تحلیل سیستم‌های غیرخطی..... ۲۴
۲-۱-۲-۱ تحلیل صفحه‌ی فازی..... ۲۴
۲-۱-۲-۱-۱پیکره‌های فازی..... ۲۴
۲-۱-۲-۱-۲ نقاط تکین..... ۲۵
۲-۱-۲-۱-۳ تحلیل صفحه فازی سیستم های غیرخطی..... ۲۵
۲-۱-۲-۱-۳-۱ چرخه حدی..... ۲۶
۲-۱-۲-۲ نظریه‌ی لیاپانوف..... ۲۶
۲-۱-۲-۲-۱سیستم های غیرخطی و نقاط تعادل..... ۲۷
۲-۱-۲-۲-۲پایداری..... ۲۸
۲-۱-۲-۲-۳روش مستقیم لیاپانوف..... ۲۸
۲-۲ کنترل مد- لغزشی..... ۳۰
۲-۲-۱ مقدمه..... ۳۰
۲-۲-۲ سطوح لغزشی..... ۳۰
۲-۲-۲-۱ حاشیه بهره..... ۳۵
۲-۲-۳ تقریب پیوسته از قاعده ی کنترل لغزشی..... ۳۷
۲-۲-۴ محاسبه شرط لغزشی در خارج لایه مرزی..... ۳۹
۲-۲-۵ کنترل لغزشی و تنظیم کننده‌ی بازگشتی..... ۴۹
۳-کنترل کننده مقاوم در سیستم‌های خودخلبان ۵۸
۳-۱ مقدمه و تعاریف..... ۵۹
۳-۱-۱ آیرودینامیک..... ۵۹

۳-۱-۲ نیروهای وارده به موشک ازنظر آیرودینامیک..... ۶۰
۳-۲-۳ انواع موشک ازنظر محدودیت های مانوری..... ۶۵
۳-۲ مدل موشک BTT..... ۶۶
۳-۲-۱ معرفی..... ۶۸
۳-۲-۲ معادلات انتقالی حرکت..... ۶۸
۳-۲-۳ معادلات چرخشی حرکت..... ۷۱
۳-۲-۴ طراحی خودخلبان مسیری..... ۷۴
۳-۲-۵ مانورهای خودخلبان مسیری..... ۷۷
۳-۳ طراحی خودخلبان چرخشی..... ۷۵
۳-۳-۱ پایدارسازی دینامیک‌های صفر خودخلبان چرخشی..... ۷۸
۳-۳-۲ طراحی خودخلبان چرخشی..... ۸۰
۳-۳-۳ دستورات هدایت..... ۸۲
۳-۳-۴کران پایین برای زمان پایانی..... ۸۳
۳-۳-۵ مقاوم سازی خودخلبان چرخشی..... ۸۳
۳-۴ طراحی خودخلبان پیچشی..... ۸۴
۳-۴-۱اصلاح دینامیک های صفر خود خلبان پیچشی..... ۸۸
۳-۴-۲قانون کنترل مد لغزشی..... ۹۰
۳-۴-۲-۱ تعیین حداقل زمان ۹۰
۳-۴-۳ نتایج شبیه سازی..... ۹۳
۴-کنترل تطبیقی..... ۹۵
۴-۱ مقدمه..... ۹۶

۴-۲ طبقه بندی کنترل کننده‌های تطبیقی.....۹۶
۴-۳ کنترل تطبیقی مدل-مرجع ۹۷
۴-۳-۱ طراحی کنترل کننده‌ی تطبیقی مدل-مرجع.....۹۷
۴-۴ طراحی کنترل کننده‌ی مد لغزشی متغیر با زمان موجکی مقاوم (RWTVSMC).....۱۰۱
۴-۴ کنترل تطبیقی موجکی با مد لغزشی مبتنی بر تابع لغزشی متغیر با زمان و لایه مرزی تطبیقی.....۱۰۸
۴-۵ مثال.....۱۱۴
۵- طراحی کنترل کننده‌ی تطبیقی موجکی با مدلغزشی مبتنی بر فیلتر متغیر با زمان ولایه مرزی تطبیقی و کاربرد آن در هدایت و کنترل موشک.....۱۱۶
۵-۱ مقدمه.....۱۱۷
۵-۱-۲ شبیه سازی خودخلبان پیچشی.....۱۱۷
نتیجه گیری وپیشنهاد.....۱۲۳
پیوست ۱.....۱۲۴
پیوست ۲.....۱۲۵
الگوریتم برنامه متلب.....۱۲۶
برنامه ی متلب.....۱۲۷
واژه نامه ی فارسی به انگلیسی.....۱۳۲
کتاب نامه.....۱۳۴



:چارت ارتباط فصول

فصل اول:

سیستم‌های هوشمند

۱-۱ شبکه‌های عصبی

۱-۱-۱ مقدمه

یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN[1])، مدلی برای پردازش اطلاعات است که ازسیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد. سیستم پردازش اطلاعات مبتنی بر شبکه‌های عصبی، از شمار زیادی عناصر پردازشی به هم پیوسته (نرون‌ها[2]) تشکیل‌شده است که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کنند[۳۹]. ANNها نظیر انسان‌ها، با مثال یاد می‌گیرند و با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در طبیعت داده‌ها را، به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر به این سیستم‌ها، هوشمند گفته می‌شود، چرا که براساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را یاد می‌گیرند و با این یادگیری، فرآیند تصمیم نیز میسر می‌گردد. لذا یک سیستم هوشمند سیستمی است که مبتنی بر محاسبات نرم فرآیند یادگیری و تصمیم در آن نهادینه شده است.

از اهمیت ANN می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[۳۹]:

۱) شبکه عصبی، به دلیل فرآیند پردازش موازی، سرعت پردازش بالایی دارند.

۲) شبکه‌های عصبی امکان شبیه‌سازی سیستم‌های فاقد معادلات و روابط منطقی و ریاضی را دارند.

۳) شبکه‌های عصبی همانند مغز انسان به طور پیوسته در حال یادگیری و انطباق با محیط هستند. به این معنی که اگر شبکه برای یک وضعیت خاص آموزش دید امکان تعمیم نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای سیستم‌های مشابه وجود دارد.

۴) در شبکه‌ی عصبی، عملکرد کل سیستم حساسیت پایینی نسبت به عملکرد نرون‌ها به صورت منفرد دارد.

---

[1] Artificial Neural Network
[2] Neurons

۵) این روش قادر است برای داده‌ها، در شرایط عدم اطمینان، اعم از آنکه فازی باشند و یا شامل داده‌های مفقود شده، جواب منطقی ارائه دهد.

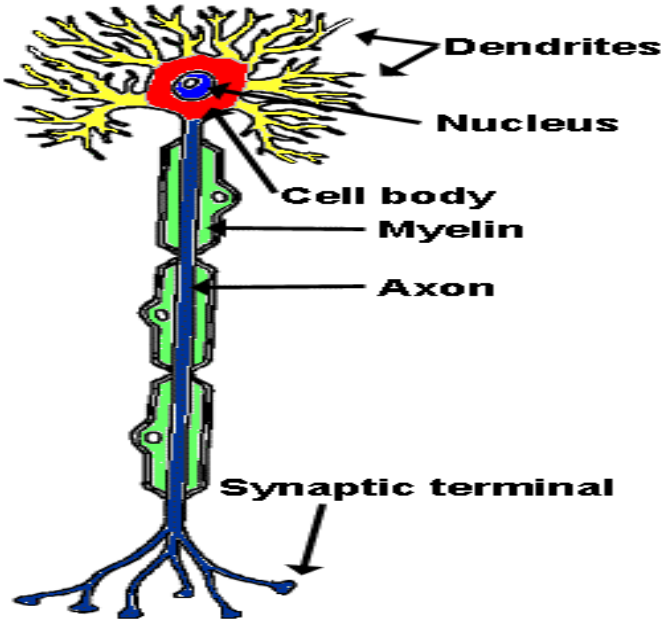
۱-۱-۲ نرون عصبی انسان و معماری شبکه عصبی

اولین سلول‌عصبی مصنوعی، درسال ۱۹۴۳بوسیله یک نرولوژیست به نام وارن مک‌کلوچ و یک منطق‌دان به نام والترپیتز ساخته‌شد[۳۹]. اما محدودیت‌های تکنولوژی در آن زمان، اجازه‌کار بیشتر به آن‌ها نداد. تحقیق درباره سلول‌های مغزی افراد و همچنین شناخت نرون‌ها یا رشته‌های مغزی و بیان یک راه نسبتا" متفاوت که یک سیستم هوشمند را بنا می‌کند، از تحقیقات گسترده امروزه می‌باشد[۴۰]

در یک سیستم عصبی، نرون (سلول عصبی) اصلی‌ترین عنصر پردازش می‌باشد. بمطور کلی در بدن انسان درحدود۱۰۰تریلیون نرون وجود دارد که تمام آن‌ها از سه قسمت اصلی تشکیل شده‌اند: بدنه سلول[۱]، دندریت‌ها[۲] و آکسون[۳]. همان‌طور که در شکل۱-۱ مشخص است هر نرون دارای تعدادی دندریت و یک آکسون است. دندریت‌ها به عنوان عناصر دریافت کننده سیگنال‌های الکتریکی هستند. سیگنال‌های الکتریکی را از آکسون نرون‌های دیگر به بدنه سلول می‌برند. بدنه سلول انرژی لازم را برای فعالیت نرون فراهم کرده و بر روی سیگنال‌های ورودی عمل می‌کند (که با یک عمل جمع جبری ساده و مقایسه با یک سطح آستانه مدل می‌گردد). آکسون نیز سیگنال‌های الکتروشیمیایی را از بدنه سلول به دندریت سایر نرون‌ها منتقل می‌کند. محل تلاقی یک آکسون از یک نرون به دندریت‌های سایر نرون‌ها را سیناپس[۴] می‌نامند. سیناپس‌ها واحدهای کوچکی هستند که ارتباط بین نرون‌ها را برقرار می‌سازد. زمانی‌که سیگنال‌های عصبی از آکسون سایر نرون‌ها به یک نرون می‌رسد، آن را تحریک می‌کند. نرون متناسب با

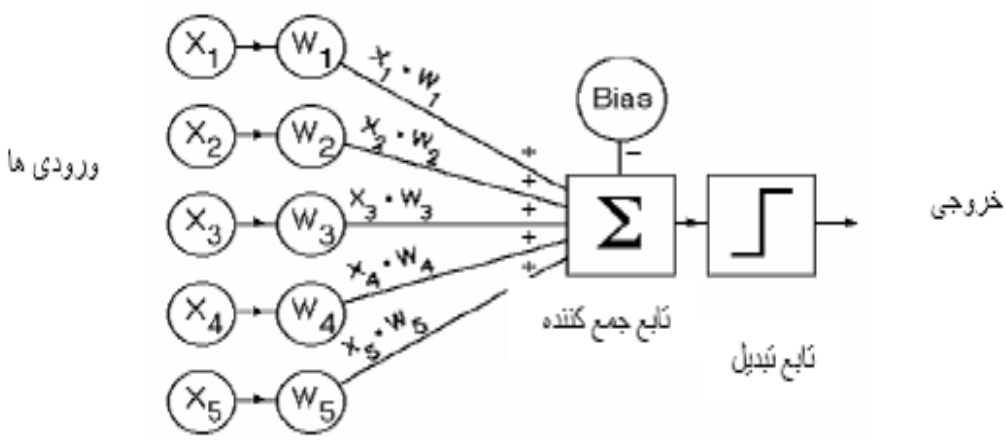
[1] Cell body
[2] Dendrites
[3] Axon
[4] -Synapses

هر یک از اتصالات ورودی خود یک ولتاژ کم را توسط سیگنال‌های عصبی، دریافت می‌کند و آن‌ها را با هم جمع می‌کند. اگر این مقدار به مقدار آستانه برسد نرون فعال می‌شود و به آکسون خود یک ولتاژ خروجی ارسال می‌نماید و آکسون نیز با توجه به شدت آن، ممکن است یک سیگنال را توسط سیناپس، به دندریت نرون‌های دیگر بفرستد یا اینکه به دلیل ضعیف بودن آن، هیچ‌گونه سیگنالی را عبور ندهد و به همین ترتیب تمامی فعالیت‌های مغزی انسان انجام می‌شود[۳۹].



شکل ۱-۱: ساختار سلول عصبی انسان

با این دید اجمالی از نحوه عملکرد نرون، باید سیستمی با تعدادی ورودی طراحی شود که با توجه به اهمیت هر یک (ضرایب وزن‌ها)، آن‌ها را با یکدیگر جمع ساده جبری نماید و توسط یک تابع موسوم به تابع تبدیل، آن‌ها را به نرون‌های دیگر ارسال نماید. شکل ۱-۲ الگویی از یک واحد پردازش را با توجه به نحوه عملکرد نرون‌ها ارائه می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، آکسون را می‌توان به خروجی، وزن را به ولتاژ و ورودی‌ها را به دندریت تشبیه نمود. از تابع تبدیل برای تعیین خصوصیات نرون استفاده می‌شود.



شکل ۱-۲: ساختار یک نرون عصبی مصنوعی

$$a=f(\boldsymbol{W}p+b) \qquad (۱-۱)$$

ورودی $p=[x_1,..,x_5]$ به نرون اعمال شده و با ضرب در $\boldsymbol{W=[w_1,\dots,w_5]}$ وزن دار می‌شود و مقدار بایاسb با این حاصلضرب جمع شده و حاصل، به عنوان ورودی به تابع انتقال f اعمال شده و خروجی نهایی حاصل می‌گردد.

بنابراین اجزای یک شبکه عصبی عبارتند از[۳۹]:

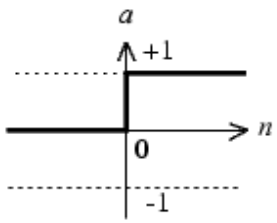
- **ورودی‌ها**: ورودی‌ها می‌توانند خروجی سایر لایه‌ها بوده و یا آنکه به حالت خام در اولین لایه و به صورت‌های زیر باشد:

۱-داده‌های عددی و رقمی ۲-متون ادبی، فنی و ... ۳-تصویر و یا شکل.

- **تابع جمع**: در شبکه‌های تک نرونی، تابع جمع در واقع خروجی مسئله را تا حدودی مشخص می‌کند و در شبکه‌های چند نرونی نیز تابع جمع میزان سطح فعالیت نرون در لایه‌های درونی را مشخص می‌سازد.

- **تابع تبدیل**: بدیهی است که تابع جمع پاسخ مورد انتظار شبکه نیست. تابع تبدیل عضوی ضروری در شبکه‌های عصبی محسوب می‌گردد. این تابع توسط طراح مسأله انتخاب می‌گردد و بر اساس انتخاب الگوریتم یادگیری، پارامترهای مسئله (وزن‌ها) تنظیم می‌گردد. انواع و اقسام متفاوتی از توابع تبدیل وجود دارد که بنا به ماهیت مسئله کاربرد دارند. تابع تبدیل معمولاً یک تابع پلکانی یا سیگموئیدی می‌باشد. در زیر برای نمونه، تابع تبدیل Hardlimit، خطی و لگاریتمی که در شبکه‌های عصبی توابع تبدیل رایجی هستند، به اختصار توضیح داده می شود.

۱- تابع تبدیلHardlimit

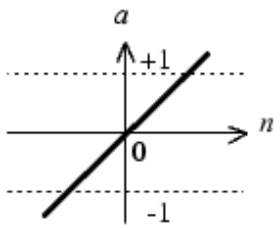


$a = hardlim(n)$

این تابع تبدیل درصورتی که $n<0$ باشد، خروجی0 و درصورتی که $n \geq 0$ باشد، خروجی 1 را تولید می‌کند. از این نوع تابع تبدیل برای دسته بندی کردن ورودی‌ها به دو کلاس محدود استفاده می‌شود و بیشتر در نرون های سازنده شبکه های پرسپترون کاربرد دارد.

۲- تابع تبدیل خطی

این تابع همان مقدار ورودی را به عنوان خروجی برمی‌گرداند

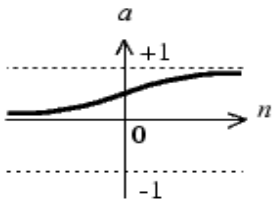


$a = purelin(n)$

۳- تابع تبدیل لگاریتمی

این تابع تبدیل مقادیر ورودی را در محدوده ∞- تا ∞+ دریافت کرده و برمبنای فرمول زیر یک مقدار خروجی بین 1 و 0 تولید می‌نماید.

$$a = \frac{1}{1+e^{-n}} \qquad (۲-۱)$$



$a = logsig(n)$

- **خروجی**: منظور از خروجی، پاسخ مسئله است.

۱-۱-۲-۱ شبکه های عصبی تک نرونه، تک لایه

معمولاًیک نرون با ورودی‌های زیاد، به تنهایی برای حل مسائل فنی- مهندسی‌کافی نیست. مثلا برای مدل‌سازی نگاشت‌هایی که دو خروجی دارند، ما احتیاج به دو نرون داریم که بصورت موازی عمل کنند، بنابراین یک لایه خواهیم داشت که از اجتماع چند نرون تشکیل شده است. اگر مدل شبکه عصبی شامل یک لایه نرون ورودی باشد که به طور مستقیم عمل تغذیه لایه خروجی را انجام دهد یک شبکه پرسپترون[1] ساده نامیده می‌شود. شکل۱-۳ نمونه‌ای از یک شبکه‌ی تک لایه را نشان می‌دهد.

[1] Perceptron