

شبکه‌های عصبی مصنوعی

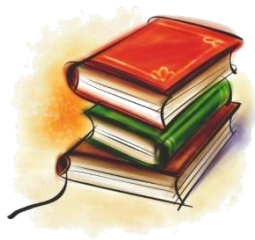
فصل اول: مقدمه. تاریخچه و شبکه مک‌کلاچ-پیتز

هادی ویسی

veisi@sharif.edu

دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین

نیم‌سال دوم ۱۳۹۲-۱۳۹۱



○ شبکه عصبی چیست؟

- شبکه‌های عصبی طبیعی

- کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی

- تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی

- تعاریف

- شبکه مک‌کلاچ-پیتز

- ساختار

- الگوریتم

- کاربرد

- مثال

شبکه عصبی؟ ...

○ کارهایی که مغز انسان انجام می‌دهد

- یادگیری (تشخیص چهره)

- ذخیره‌سازی اطلاعات

- تصمیم‌گیری

- پیش‌بینی

- محاسبه

- ...



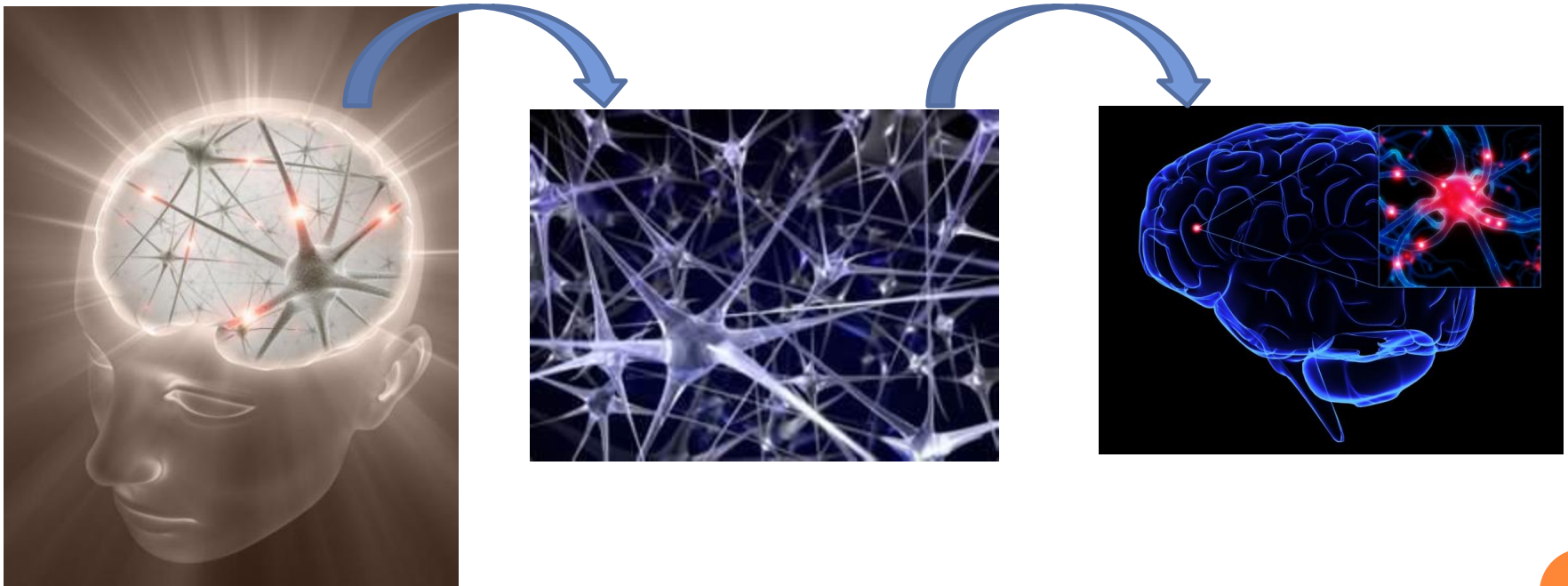
شبکه عصبی؟

○ مغز = شبکه‌ای بسیار بزرگ از عصب‌ها (نرون‌ها)

• ۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ نرون

• ۱۰.۰۰۰ اتصال برای هر نرون

○ شبکه عصبی مصنوعی = شبیه‌سازی شبکه عصبی طبیعی



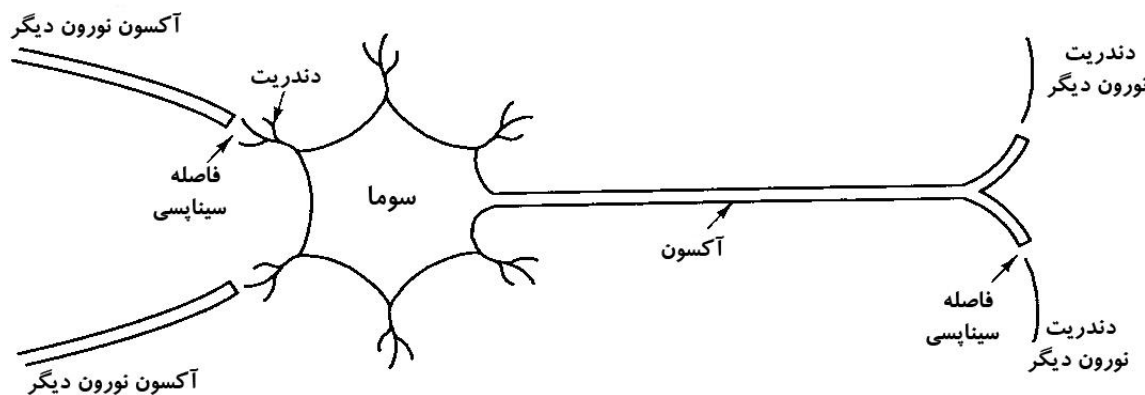
شبکه عصبی طبیعی ...

○ عنصر پردازشگر تشکیل‌دهنده یک شبکه عصبی مصنوعی

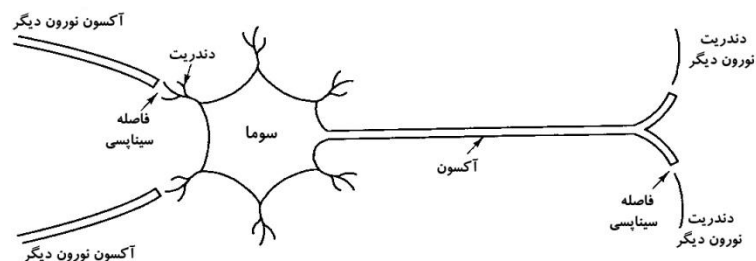
- نرون (Neuron) = عصب طبیعی (سلول مغزی)

○ سه جزء تشکیل‌دهنده یک نرون طبیعی

- دندریت‌ها (Dendrite): دریافت سیگنال از سایر نرون‌ها
- سوما (Soma) = بدنه سلول: سیگنال‌های ورودی به سلول را جمع می‌بندد
- آکسون (Axon): ارسال سیگنال به نرون(های) دیگر



شبکه عصبی طبیعی ...



عملکرد نرون طبیعی

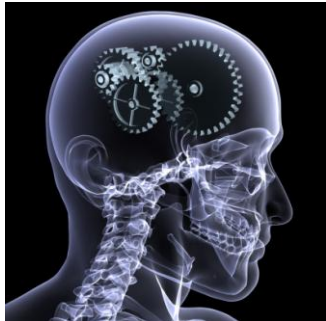
- دریافت سیگنال از سایر نرون‌ها توسط دندریت‌ها
- عبور سیگنال‌ها با یک فرآیند شیمیایی از فاصله سیناپسی (Synaptic Gap)
- عمل شیمیایی انتقال دهنده، سیگنال ورودی را تغییر می‌دهند (تضعیف/تقویت سیگنال)
- سوما سیگنال‌های ورودی به سلول را جمع می‌بندد
- زمانی که یک سلول به اندازه کافی ورودی دریافت نماید، برانگیخته می‌شود و سیگنالی را از آکسون خود به سلول‌های دیگر می‌فرستد.
- انتقال سیگنال از یک نرون خاص نتیجه غلظت‌های مختلف یون‌ها در اطراف پوشش آکسون نرون («ماده سفید» مغز) می‌باشد.
- یون‌ها = پتاسیم، سدیم و کلرید
- سیگنال‌ها به صورت ضربه‌های الکتریکی هستند



شبکه عصبی طبیعی ...

○ خلاصه ویژگی‌ها و خصوصیات نرون‌های طبیعی

- جزء پردازشگر (نرون) سیگنال‌های فراوانی را دریافت می‌کند.
- سیگنال‌های ورودی ممکن است با یک وزن در سیناپس سلول دریافت کننده، تغییر کند.
- جزء پردازشگر ورودی‌های وزن‌دار را جمع می‌بندد.
- نرون در شرایط مناسب (ورودی کافی)، یک سیگنال را به عنوان خروجی انتقال می‌دهد.
- خروجی یک نرون ممکن است به بسیاری از نرون‌های دیگر (شاخه‌های آکسون) برود.
- پردازش اطلاعات به صورت محلی صورت می‌گیرد.
- مفهوم حافظه در اجزای مختلف سلول توزیع می‌شود:
 - حافظه بلند مدت در سیناپس‌ها یا وزن‌های نرون قرار می‌گیرد.
 - حافظه کوتاه مدت با سیگنال‌های فرستاده شده توسط نرون‌ها مطابقت دارد.
- توانایی سیناپس می‌تواند با آزمایش و کسب تجربه تغییر کند.
- انتقال دهنده‌های عصبی برای سیناپس‌ها می‌توانند تحریک‌کننده (Excitatory) یا بازدارنده (Inhibitory) باشند.



شبکه عصبی مصنوعی ...

○ شبکه عصبی مصنوعی [Artificial Neural Network]

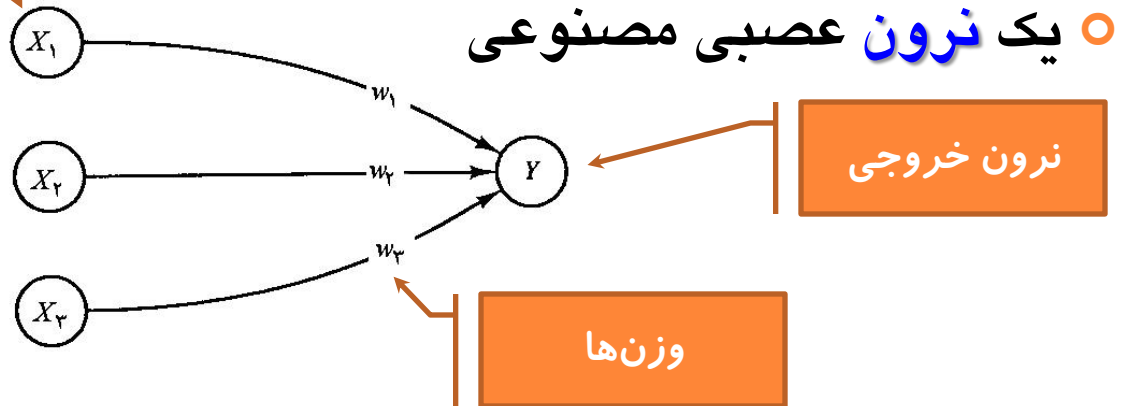
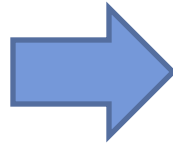
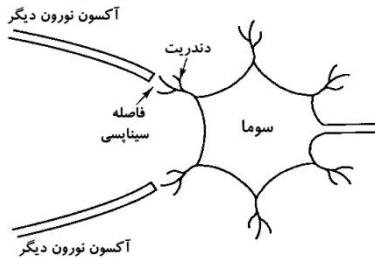
- یک سیستم پردازش اطلاعات با ویژگی‌های مشترکی با شبکه‌های عصبی طبیعی
- تعمیم یافته مدل‌های ریاضی تشخیص انسان بر اساس زیست‌شناسی عصبی

○ فرضیات پایه شبکه عصبی مصنوعی

- پردازش اطلاعات در اجزای ساده‌ای با تعداد فراوان، به نام نرون‌ها صورت می‌گیرد.
 - سیگنال‌ها در بین نرون‌های شبکه از طریق پیوندها یا اتصالات (Connections) آنها منتقل می‌شوند.
 - هر پیوند، وزن (Weight) مربوط به خود را دارد که در شبکه‌های عصبی رایج در سیگنال‌های انتقال یافته از آن پیوند ضرب می‌شود.
 - هر نرون یک تابع فعال‌سازی (Activation Function) را بر روی ورودی‌های خود اعمال می‌کند تا سیگنال خروجی خود را تولید نماید.
- تابع معمولاً غیرخطی است

شبکه عصبی مصنوعی ...

نرون‌های ورودی



- فعال‌سازی‌ها یا سیگنال‌های خروجی نرون‌های ورودی به ترتیب x_1 ، x_2 و x_3 هستند
- ورودی شبکه به نرون Y ، حاصل جمع وزن‌دار سیگنال‌های ورودی و وزن‌هاست:

$$y_{in} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 = \sum_i w_i x_i$$

- فعال‌سازی نرون Y با اعمال تابع فعال‌سازی f روی ورودی آن به دست می‌آید
- تابع سیگموئید (Sigmoid)

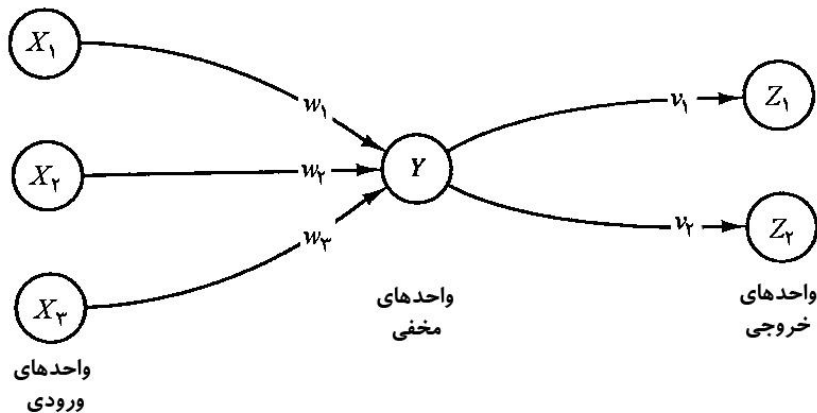
$$y = f(y_{in})$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$



شبکه عصبی مصنوعی ...

یک شبکه عصبی مصنوعی



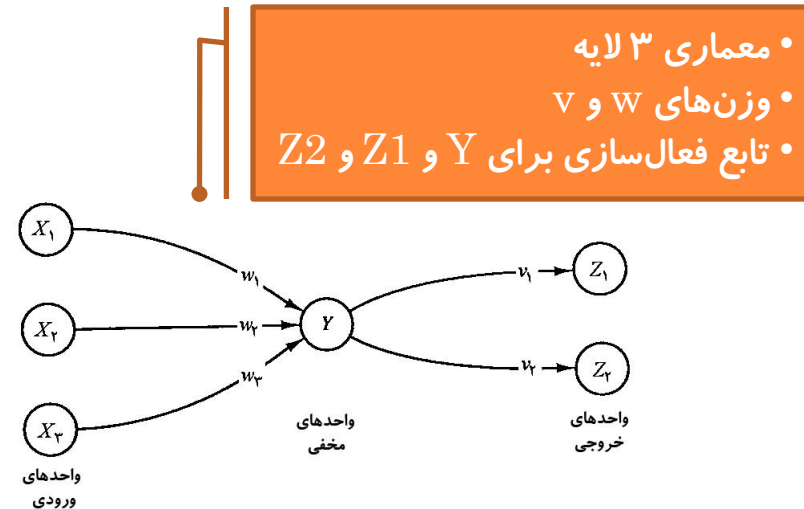
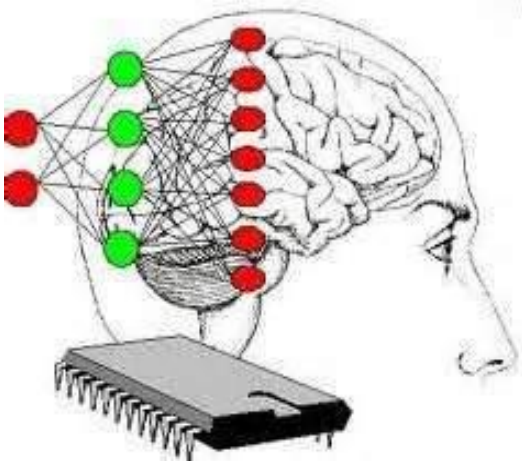
- سه لایه: ورودی، مخفی و خروجی
- دو دسته وزن: w ها و v ها

- در یک شبکه یک نرون می‌تواند ورودی‌های مختلفی را از چند نرون دریافت کند

شبکه عصبی مصنوعی

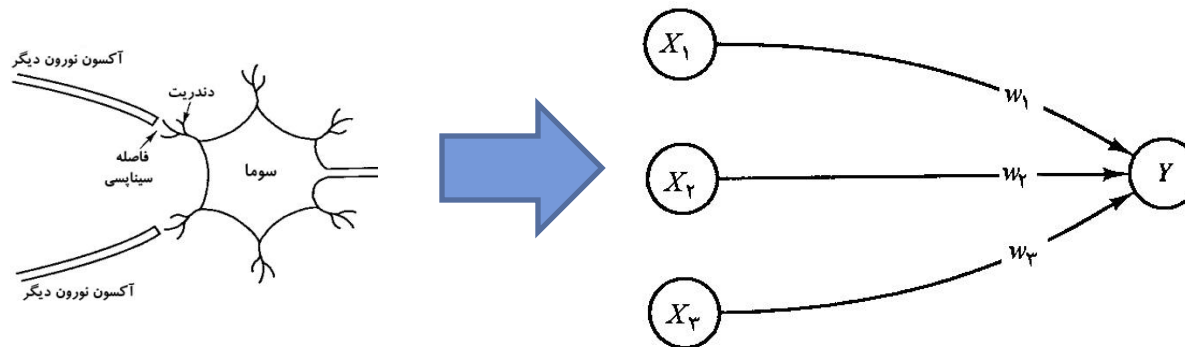
ویژگی‌های مشخص کننده یک شبکه عصبی مصنوعی

- ساختار یا معماری شبکه (Architecture): الگوی پیوندهای بین نرون‌های مختلف
- الگوریتم آموزش یا یادگیری (Training or Learning Algorithm): روش تعیین وزن‌های روی پیوندهای شبکه
- تابع فعال‌سازی شبکه (Activation Function) که هر نرون روی ورودی‌های خود اعمال می‌کند



شباهت شبکه‌های عصبی طبیعی و مصنوعی ...

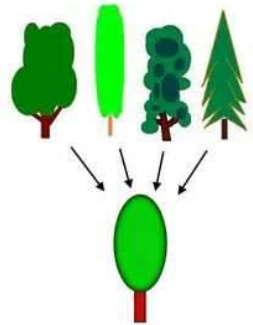
شبکه عصبی مصنوعی	شبکه عصبی طبیعی
اتصالات بین نرون‌ها	دندریت
وزن‌های شبکه	تغییر سیگنال ورودی هنگام عبور از فاصله سیناپسی
جمع وزن‌دار سیگنال‌های ورودی و وزن در نرون	جمع بستن سیگنال‌های ورودی در سوما
تابع فعال‌سازی	برانگیخته شدن سلول و ارسال سیگنال از آکسون



شباهت شبکه‌های عصبی طبیعی و مصنوعی

ویژگی‌های مهم مشترک

- تحمل‌پذیری در برابر خطا (Fault Tolerance)
 - از بین رفتن تعداد زیادی از نرون‌های طبیعی در طول زمان اما یادگیری ادامه می‌یابد



- تعمیم‌پذیری (Generalization) و مقاوم بودن در برابر نویز
 - تشخیص سیگنال‌های ورودی که با سیگنال قبلاً مشاهده شده تا حدودی متفاوت است
 - تشخیص چهره، تشخیص دستخط و ...

- پردازش‌های موازی با تعداد زیادی از واحدهای پردازشگر

کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ پزشکی

- ذخیره‌سازی حجم زیادی از اطلاعات پزشکی

- ورودی مجموعه‌ای از علائم یک بیماری خاص
- خروجی: پیدا کردن «بهترین» تشخیص و نحوه درمان آن با استفاده از الگوی ذخیره شده متناسب با علائم آن بیماری
- شبکه عصبی حافظه خودانجمنی

○ تولید گفتار (خواندن متن)

- تبدیل متن به گفتار برای خواندن متن



- سیستم NETtalk
- ورودی: حروف متن (هر حرف به همراه سه حرف قبل و بعد از آن)
- خروجی: صدای مربوط به آن حرف
- شبکه عصبی چندلایه

کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ پردازش سیگنال

- حذف نویز در سیگنال صدا (مکالمه تلفن)
- حذف نویز به صورت وفقی - Adaptive Noise Cancellation (ANC)
- شبکه عصبی آدالین
- حذف انعکاس صدا (اکو)

○ کنترل

- کنترل دمای اتاق
- مسیر حرکت ضد موشک
- دنده عقب رفتن کامیون
- شبکه پس انتشار بازگشتی

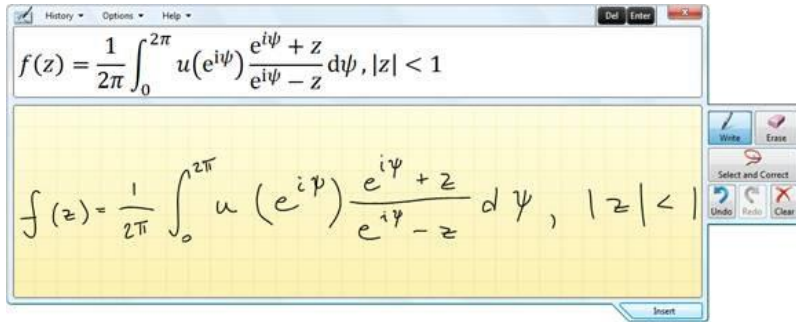


کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ بازشناسی الگو (تشخیص الگو) ...

• بازشناسی خودکار دست خط

○ شبکه‌های پسانتشار چندلایه



• بازشناسی نویسه‌های نوری (Optical Character Recognition: OCR)

○ شبکه Neocognitron



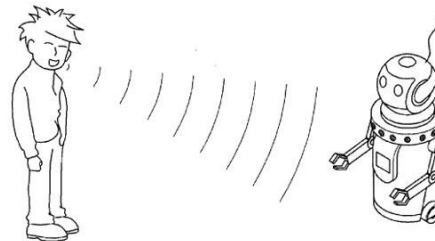
کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ بازشناسی الگو (تشخیص الگو)

• بازشناسی خودکار گفتار (Automatic Speech Recognition: ASR)

○ شبکه‌های چندلایه با اتصالات بازگشتی

○ نگاشت خودسازمانده کوهونن



• بازشناسی چهره (Face Recognition)



کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

تجارت

ارزیابی میزان خطرپذیری وام‌دهی

- ورودی: سال‌های اشتغال متقاضی، تعداد افراد تحت تکفل، درآمدهای فعلی و ویژگی‌های خود وام (مثل مبلغ، نرخ سود و ...)
- خروجی: پاسخ «قبول» یا «رد» برای دادن وام



پیش‌بینی

- مصرف برق کشور در سه ماه آینده
- وضعیت آب و هوا
- سود سهام



تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۴۰ - اولین شبکه‌های عصبی مصنوعی

- ۱۹۴۳ - معرفی نرون مک‌کلاچ-پیتز (اولین شبکه عصبی مصنوعی)

○ توسط وارن مک‌کلاچ و والتر پیتز در ۱۹۴۳ و توسعه در ۱۹۴۷

- ۱۹۴۹ - شبکه هب

○ توسط دونالد هب، یکی از روانشناسان دانشگاه McGill

○ ایده: اگر دو نرون به طور هم‌زمان فعال شوند، استحکام اتصال بین آنها باید افزایش یابد

○ اولین قانون یادگیری

○ دهه ۵۰ - پرسپترون

- معرفی توسط فرانک روزنبلات در سال ۱۹۵۸ و بهبود در ۱۳۵۹ و ۱۳۶۲

- شبکه لایه با الهام از شبکه چشم

- قانون یادگیری قوی‌تر از قانون هب، مبتنی بر روشی تکرار شونده برای تنظیم وزن



تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۶۰ - گسترش پرسپترون + آدالاین

• ۱۹۶۰ - شبکه آدالاین

- آدالاین (ADALINE) = نرون خطی افقی (ADaptive LInear NEuron) یا سیستم خطی افقی (ADaptive LINEar System)
- توسط برنارد ویدر و دانشجوی وی مارسیان (تد) هاف
- ارائه یک قانون یادگیری با نام قانون ویدر و-هاف (Widrow-Hoff Rule) یا میانگین مربعات کمینه (LMS) و یا قانون دلتا (Delta Rule)
- شباهت زیاد قانون یادگیری دلتا (مهندسی) با قانون پرسپترون (روانشناسی)
- تفاوت: در پرسپترون برای هر واحدی که پاسخ نادرست دارد، وزن‌های اتصال آن واحد تنظیم می‌شود، اما قانون دلتا وزن‌ها را طوری تنظیم می‌کند تا اختلاف بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب کمینه کند
- مادالاین: شکل توسعه یافته و چندلایه آدالاین
- قانون دلتا منجر به افزایش قابلیت تعمیم می‌شود
- قانون دلتا مبنای قانون پس‌انتشار (Backpropagation) برای یادگیری شبکه‌های چندلایه است

• ۱۹۶۹ - تشریح کامل پرسپترون توسط مینسکی و پاپرت



تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۷۰ - سال‌های خاموش

- عدم موفقیت پرسپترون‌های یک لایه در حل مسائل ساده‌ای (مانند تابع XOR)
- عدم وجود روشی کلی برای آموزش شبکه‌های چندلایه
- ۱۹۷۲ - اولین کار کوهونن از دانشگاه هلسینکی، روی شبکه‌های عصبی حافظه پیوندی
- ۱۹۷۷ - تحقیقات آندرسن از دانشگاه براون در زمینه شبکه‌هایی عصبی حافظه انجمنی و انتشار نظریاتش با نام «حالت مغز در یک جعبه» (Brain-State-in-a-Box)



تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۸۰ - شکوفایی شبکه‌های عصبی ...

• الگوریتم پسانتشار خطا برای آموزش شبکه‌های چندلایه

○ توسط پارکر در سال ۱۹۸۵ و لوکان در سال ۱۹۸۶

• شبکه‌های هاپفیلد

○ توسط هاپفیلد برندهٔ جایزهٔ نوبل در رشتهٔ فیزیک و عضو مؤسسهٔ فن‌آوری کالیفرنیا

○ به همراه دیوید تانک ، محقق AT&T

○ شبکهٔ عصبی با وزن‌های ثبات و فعال‌سازی افقی (جزو شبکه‌های حافظهٔ انجمی)

○ حل مسائل ارضای محدودیت مانند «مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد»

• نگاشت‌های خودسازمانده کوهونن (SOM)

○ توسط کوهونن از دانشگاه هلسینکی

○ استفاده در بازشناسی گفتار کلمات فنلاندی و ژاپنی ، حل «مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد» و آهنگ‌سازی



تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۸۰ - شکوفایی شبکه‌های عصبی ...

- شبکه‌های نظریهٔ نوسان وفقی (ART)

- توسط کارپنز و با همکاری گراس برگ
- نظریه‌ای برای شبکه‌های عصبی خودسازمانده

- شبکه Neocognitron

- توسط فوکوشیما و همکارانش در آزمایشگاه‌های NHK در توکیو
- شبکهٔ عصبی خاص منظوره برای بازشناسی نویسه‌ها
- بهبود یافته شبکهٔ خودسازمانده قدیمی‌تر با نام Cognitron (۱۹۷۵)

- ماشین بولتزمن

- تغییر وزن‌ها یا فعال‌سازی براساس تابع تراکم احتمال
- استفاده از ایده‌های کلاسیک شبیه‌سازی سردشدن تدریجی (Simulated Annealing) و تئوری تصمیم‌گیری بیز (Bayesian Decision Theory)

تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ...

○ دهه ۸۰ - شکوفایی شبکه‌های عصبی ...

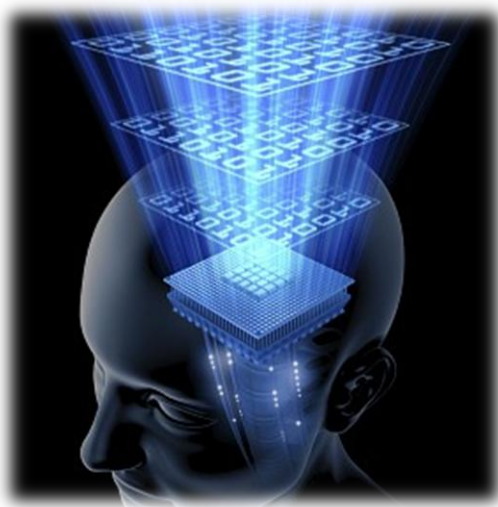
- مطالعات ریاضیاتی و زیست‌شناختی

- گراس برگ (مدیر مرکز سیستم‌های وفقی در دانشگاه بوستون)

- پیاده‌سازی سخت‌افزاری

- افزایش قابلیت‌های محاسباتی کامپیوترها و ساخت VLSI برای شبکه‌های عصبی

- ایجاد شرکت‌های مبتنی بر شبکه عصبی





تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی

○ دهه ۹۰ - دهه کاربرد

- به کارگیری شبکه‌های عصبی در کاربردهای مختلف
- توسعه شبکه توابع پایه شعاعی (RBF)
- ماشین بردار پشتیبان (SVM)

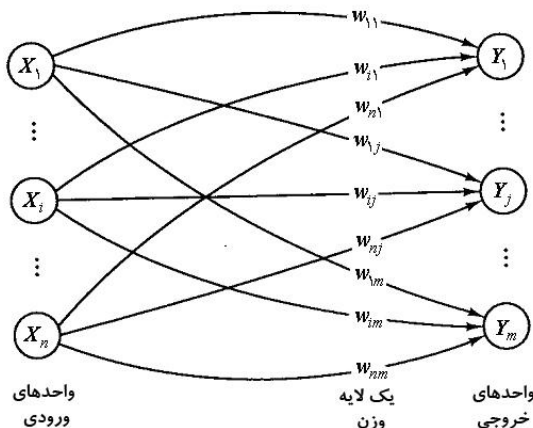
○ ۲۰۰۰ به بعد

- یادگیری عمیق (Deep Learning)

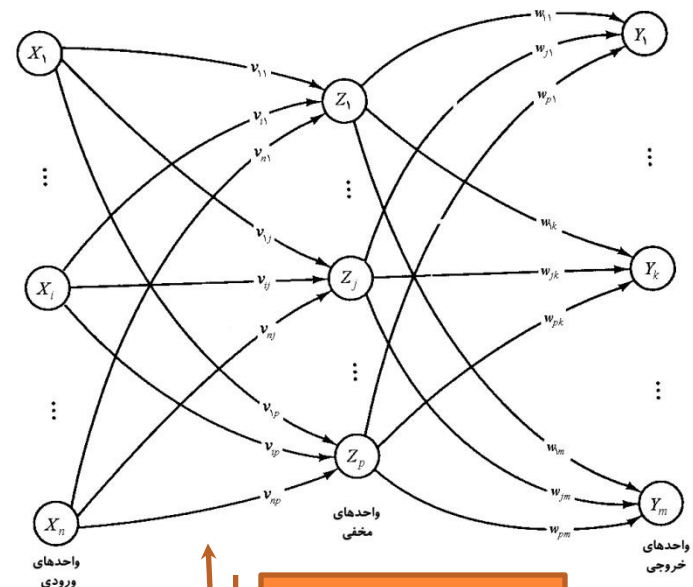
شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ ساختارهای رایج ...

- ساختار یا معماری: آرایش نرون‌ها در لایه‌ها و الگوهای ارتباط داخل و بین لایه‌ها
- شبکه‌های پیش‌خور (Feedforward) - سیگنال‌ها در یک جهت و از سمت واحدهای ورودی به سمت واحدهای خروجی (به سمت جلو) می‌روند



شبکه یک لایه



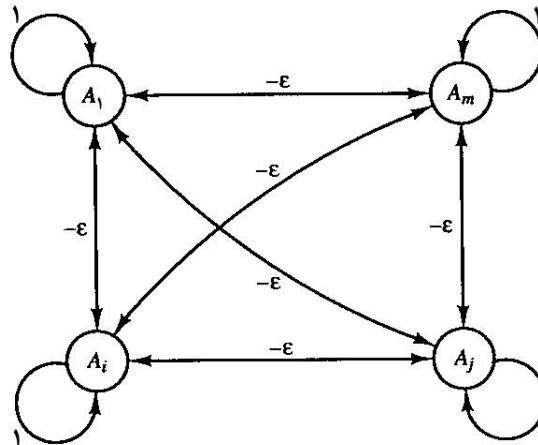
شبکه دولایه



شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ ساختارهای رایج

- شبکه بازگشتی (Recurrent)، مسیرهای بسته سیگنال از یک واحد به خودش وجود دارد
- شبکه رقابتی: واحدهای آن کاملاً به هم مرتبطند





شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ تنظیم وزن‌ها ...

- آموزش: تعیین مقادیر وزن‌های شبکه

- آموزش با نظارت (Supervised Learning)

- به ازای هر بردار ورودی، یک بردار هدف یا خروجی معادل در دسترس است
- طبقه‌بندی الگوها: بردار ورودی به دسته خاصی تعلق دارد (خروجی: «بله» یا «خیر»)
- پیوند الگو: خروجی یک الگو
- حافظهٔ انجمنی (Associative Memory): شبکه‌ای که برای پیوند مجموعه‌ای از بردارهای ورودی با مجموعه‌ای از بردارهای خروجی مطابق با آن آموزش داده می‌شود
- حافظهٔ خود انجمنی (Autoassociative Memory): بردار خروجی با بردار ورودی یکسان است
- حافظهٔ دیگر انجمنی (Hetroassociative Memory): بردار خروجی متفاوت از بردار ورودی است
- شبکه‌های پرسپترون چندلایه، شبکه‌های حافظهٔ انجمنی پیش‌خور و بازگشتی، یادگیری چندی‌سازی برداری (LVQ) و انتشار متقابل (CounterPropagation)



شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ تنظیم وزن‌ها ...

• آموزش بدون نظارت (Unsupervised Learning)

- بردارهای ورودی مشابه (دارای بیشترین شباهت) به هم را در یک دسته گروه‌بندی می‌کنند
- خوشه‌بندی (Clustering) بردارهای ورودی
- نگاشت‌های خودسازمانده کوهونن و نظریهٔ نوسان وفقی

• شبکه‌های با وزن ثابت

- نیازی به فرآیند آموزش تکراری ندارند
- حل مسائل بهینه‌سازی با محدودیت
- ماشین بولتزمن (بدون یادگیری) و شبکهٔ هاپلید پیوسته

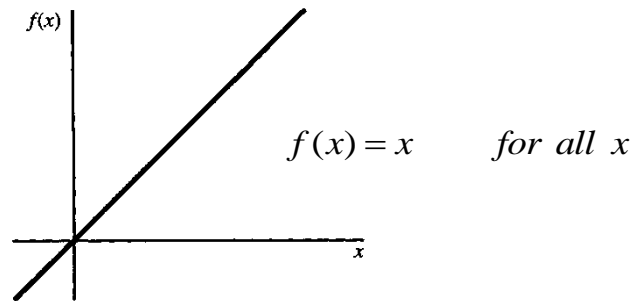


شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ توابع فعال‌سازی متداول ...

• تابع همانی (Identity Function)

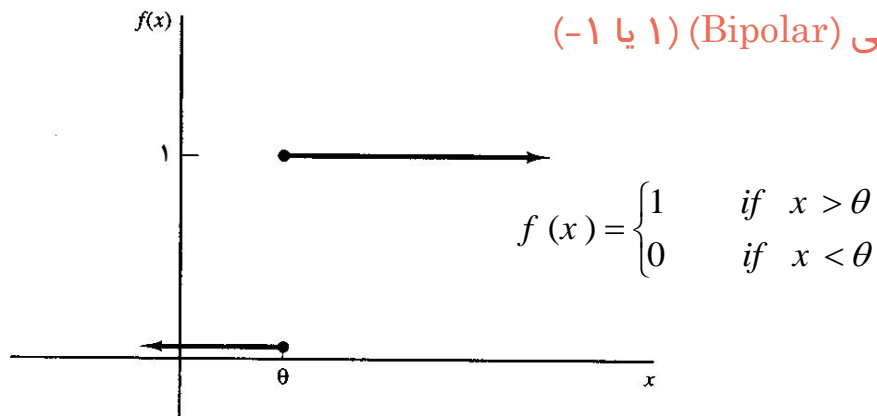
○ برای واحدهای ورودی



• تابع پله‌ای دودویی (Step Function)

○ تابع آستانه (Threshold Function) یا تابع هویساید (Heaviside Function)

○ خروجی = سیگنال دودویی (۱ یا ۰) یا دوقطبی (Bipolar) (۱ یا -۱)



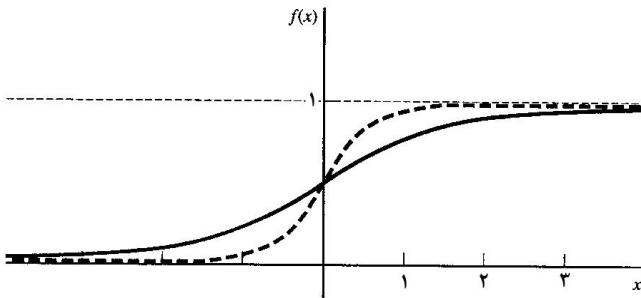


شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/ تعاریف ...

توابع فعال‌سازی متداول

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\sigma x)}$$

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)]$$



• توابع سیگموید (Sigmoid Functions)

• منحنی‌هایی به شکل S

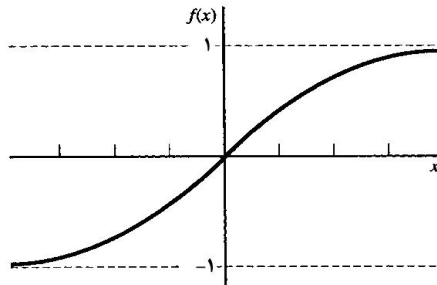
○ استفاده در شبکه‌های عصبی پس‌انتشار (نیاز به مشتق‌گیری)

○ سیگموید دودویی - تابع لجستیک (Logistic Function)

○ دامنه 0 تا 1، مقادیر مطلوب خروجی یا دودویی است و یا بین 0 و 1 است

○ سیگموید دوقطبی - شبیه به تابع تانژانت هیپربولیک (Hyperbolic Tangent Function)

○ دامنه -1 تا 1



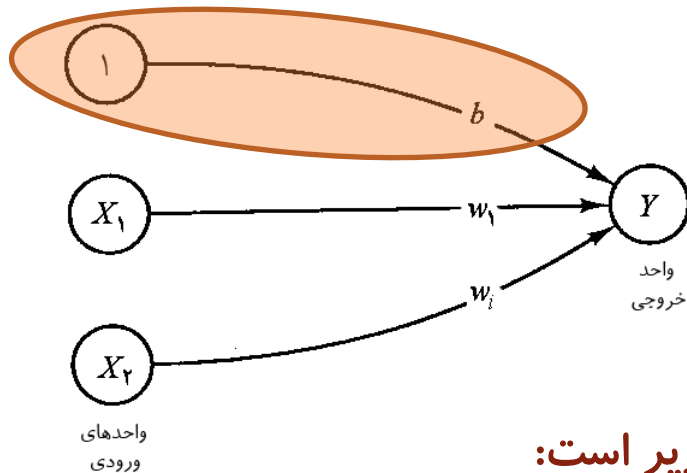
$$g(x) = 2f(x) - 1 = \frac{2}{1 + \exp(-\sigma x)} - 1 = \frac{1 - \exp(-\sigma x)}{1 + \exp(-\sigma x)}$$

$$g'(x) = \frac{\sigma}{2} [1 + g(x)][1 - g(x)]$$

شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/ تعاریف ...

○ بایاس ...

- در ورودی شبکه عصبی، علاوه بر ورودی‌های موردنظر، یک ورودی ثابت با مقدار ۱ نیز داشته باشیم.



$$y_in = 1 \times b + w_1 x_1 + w_2 x_2 = b + \sum_i w_i x_i$$

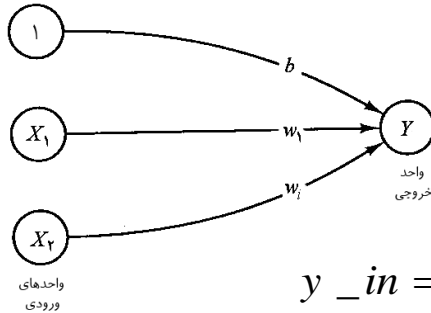
- تابع فعال‌سازی برای شبکه دارای بایاس به صورت زیر است:

$$f(y_in) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_in \geq 0 \\ -1 & \text{if } y_in < 0 \end{cases}$$

شبکه‌های عصبی مصنوعی: مفاهیم/تعاریف ...

○ بایاس ...

- وزن بایاس معادل آستانه ثابت در تابع فعال‌سازی پله

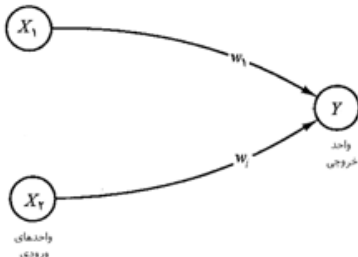


$$y_in = 1 \times b + w_1 x_1 + w_2 x_2 = b + \sum_i w_i x_i$$

$$f(y_in) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_in \geq 0 \\ -1 & \text{if } y_in < 0 \end{cases}$$

$$b + w_1 x_1 + w_2 x_2 \geq 0 \Rightarrow w_1 x_1 + w_2 x_2 \geq -b$$

○ حالتی که بایاس نباشد ولی آستانه ثابت غیر صفر باشد



$$f(y_in) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_in \geq \theta \\ -1 & \text{if } y_in < \theta \end{cases}$$

$$w_1 x_1 + w_2 x_2 \geq \theta$$

$$y_in = w_1 x_1 + w_2 x_2$$



شبکه مک‌کلاچ-پیتز...

○ نرون مک‌کلاچ-پیتز = اولین نرون مصنوعی ○ ویژگی‌ها

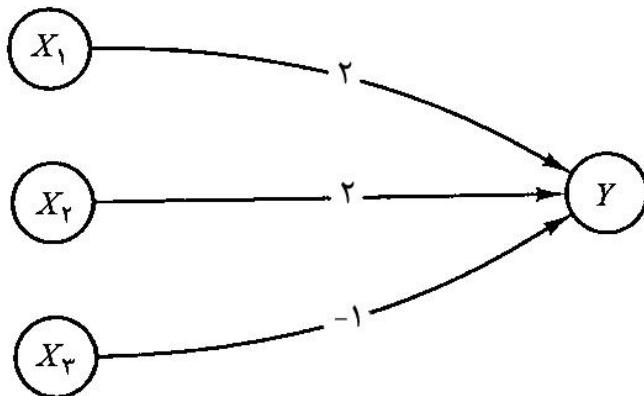
- تابع فعال‌سازی دودویی است
 - در هر مرحله زمانی، نرون یا برانگیخته می‌شود (فعال‌سازی ۱) و یا برانگیخته نمی‌شود (فعال‌سازی ۰)
- نرون‌های مک‌کلاچ-پیتز از طریق اتصالات مستقیم و وزن‌دار به هم متصل می‌شوند
- وزن مثبت روی اتصال = مسیر اتصال تحریکی، در غیر این صورت مسیر بازدارنده است.
 - تمام اتصالات تحریکی به یک نرون خاص، وزن‌های یکسان دارند
- هر نرون دارای سطح آستانه ثابتی است - اگر ورودی شبکه به آن نرون، بزرگ‌تر از مقدار آستانه باشد، نرون برانگیخته می‌شود
- سطح آستانه هر نرون طوری تعیین می‌گردد که بازدارندگی آن کامل باشد
 - ورودی بازدارنده غیر صفر مانع از برانگیخته شدن نرون می‌شود.
- عبور یک سیگنال از یک مسیر اتصال، به اندازه یک واحد زمانی طول می‌کشد



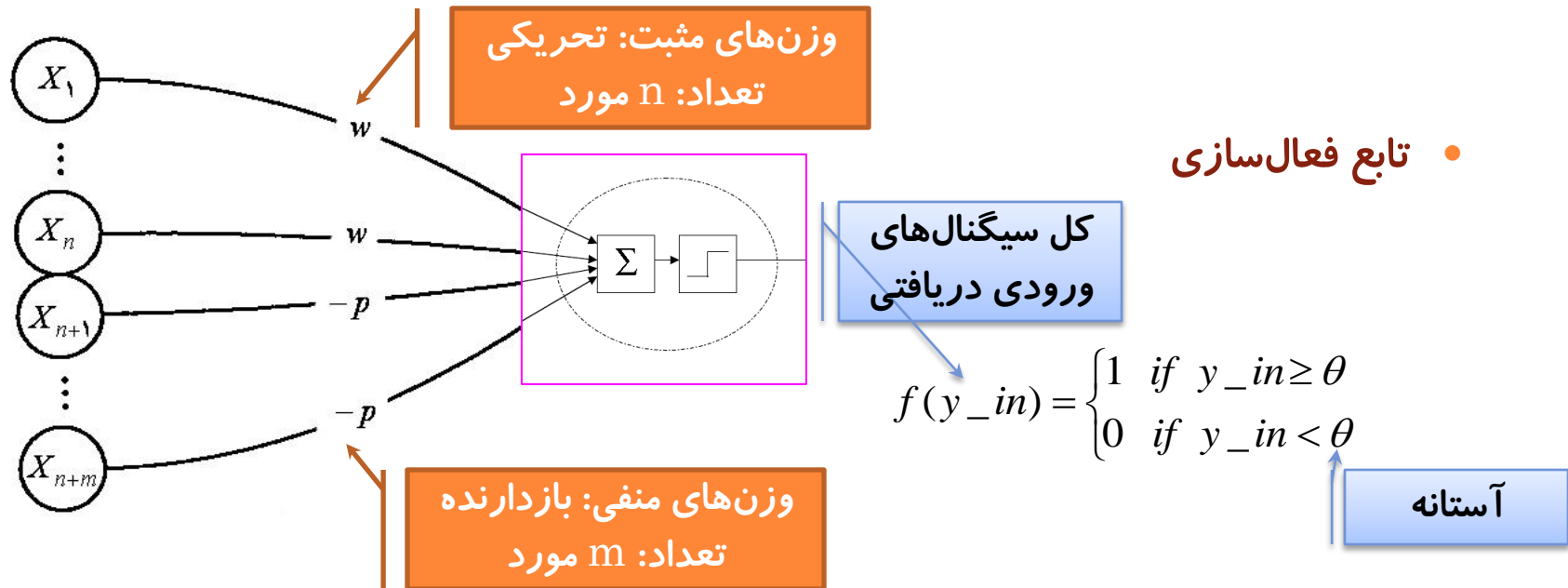
شبکه مک‌کلاچ-پیتز...

○ مثال (نرون مک‌کلاچ-پیتز)

- اتصال از X_1 به Y و اتصال از X_2 به Y ، تحریکی هستند
 - اتصالات تحریکی وزن‌های مثبت یکسانی دارند، چون به یک واحد وارد می‌شوند
 - همچنین اتصال X_3 به Y ، بازدارنده (منفی) است
 - یک واحد زمانی طول می‌کشد تا سیگنال از واحدهای X به واحد Y برسند
 - مقدار آستانه برای واحد Y برابر با ۴ است. چرا؟
- این مقدار به این واحد امکان می‌دهد که گاهی اوقات برانگیخته شود،
- اگر سیگنال غیرصفری در اتصال بازدارنده دریافت شود، از برانگیخته شدن واحد Y جلوگیری می‌کند



شبکه مک‌کلاچ-پیتز: ساختار ...



تمام وزن‌های تحریکی که به هر واحد وارد می‌شوند باید یکسان باشد

بازدارندگی کامل = هر ورودی بازدارنده غیر صفر مانع از برانگیخته شدن نرون؟

$$\theta > nw - p$$

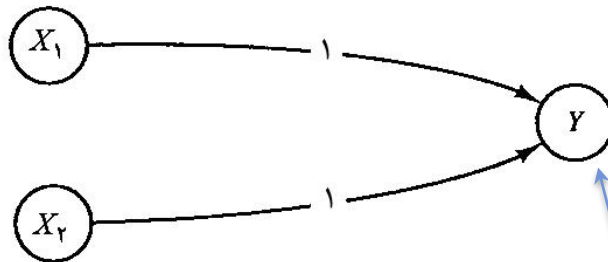


شبکه مک‌کلاچ-پیتز: الگوریتم ...

- وزن ثابت و مقدار آستانه مشخص برای تابع فعال‌سازی
- جهت تعریف توابع منطقی ساده

مثال: تابع AND

- خروجی «درست» است اگر هر دو مقدار ورودی «درست» باشند



x_1	x_2	\rightarrow	y
1	1		1
1	0		0
0	1		0
0	0		0

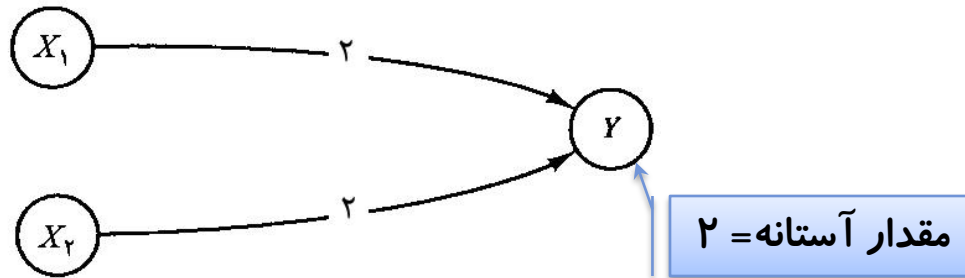
مقدار آستانه = ۲



شبکه مک‌کلاچ-پیتز: الگوریتم ...

مثال: تابع OR

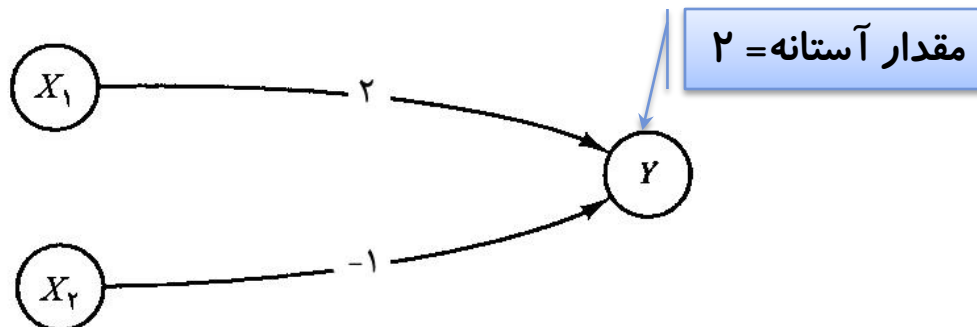
- خروجی «درست» است اگر هر یک از مقادیر ورودی «درست» باشد



x_1	x_2	$\rightarrow y$
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

مثال: تابع AND NOT

- خروجی «درست» است اگر مقدار ورودی اول «درست» و مقدار ورودی دوم «نادرست» باشد



x_1	x_2	$\rightarrow y$
1	1	0
1	0	1
0	1	0
0	0	0

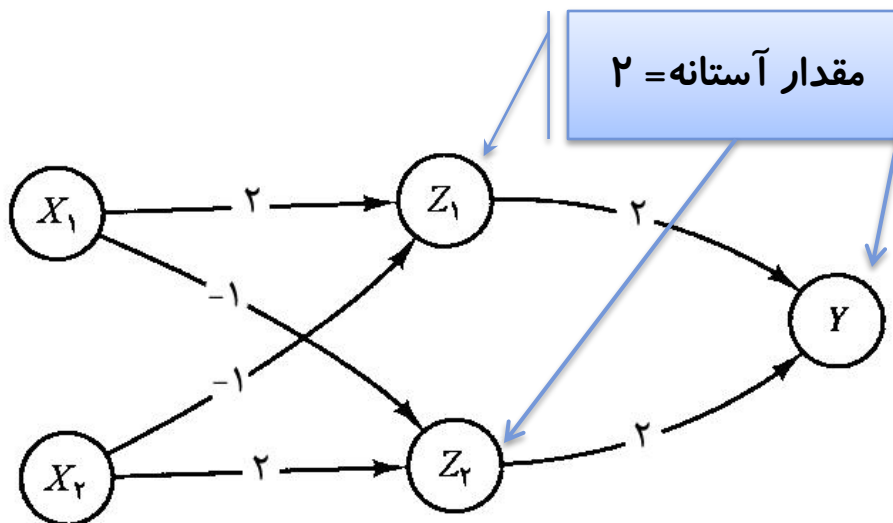
شبکه مک کلاچ-پیتز: کاربرد

○ تابع XOR

- خروجی «درست» است اگر فقط یکی از مقادیر ورودی «درست» باشد

x_1	x_2	\rightarrow	y
1	1		0
1	0		1
0	1		1
0	0		0

$$x_1 \text{ XOR } x_2 \leftrightarrow (x_1 \text{ ANDNOT } x_2) \text{ OR } (x_2 \text{ ANDNOT } x_1)$$



- استفاده از یک شبکه دولایه

- لایه اول شامل دو عملگر AND NOT
- لایه دوم عملگر OR