بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

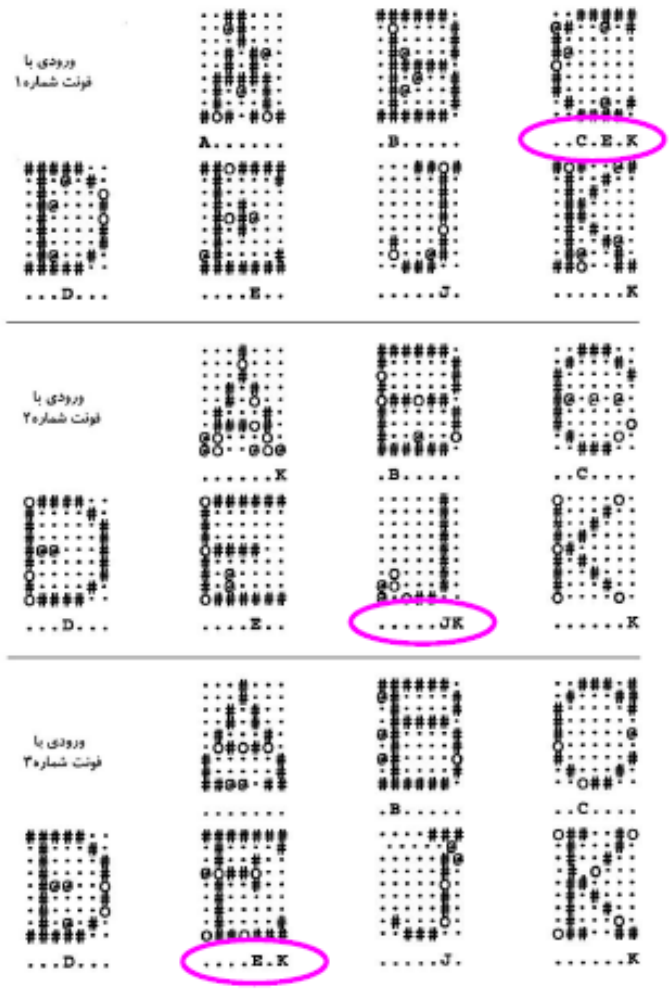
- شبکه های عصبی رقابتی
  - شبکه بیشینه
  - شبکه همینگ
  - شبکه کلاه مکزیکی

شبکه های عصبی رقابتی
Competitive Neural Networks

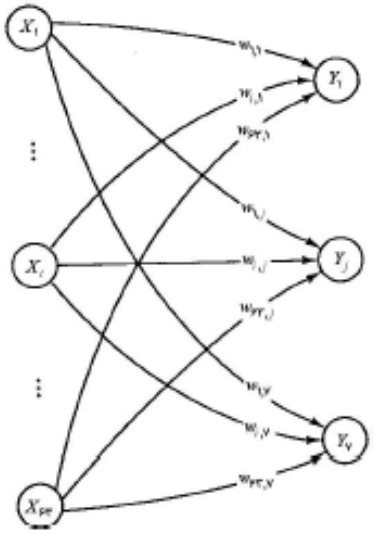
معرفی شبکه های رقابتی

- شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت
  - شبکهٔ بیشینه (MAXNET)
  - شبکهٔ همینگ
  - کلاه مکزیکی
- نگاشت‌های خودسازمانده کوهونن (SOM)
  - ساختار، الگوریتم، کاربرد و مثال‌ها
- یادگیری چندی‌سازی برداری (LVQ)
  - ساختار، الگوریتم، کاربرد و مثال‌ها
  - انواع دیگر LVQ (LVQ2، LVQ2.1 و LVQ3)
- شبکه انتشار متقابل

شبکه های رقابتی



- بازشناسی نویسه
  - شبکه با ورودی‌های نویزی
- تولید پاسخ توسط چند نرون خروجی
  - چند نرون برنده می‌شوند



ورودی : $x_1 \dots x_{63}$

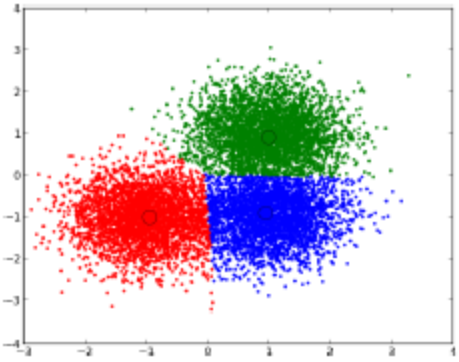
خروجی: $Y_1 \dots Y_7$

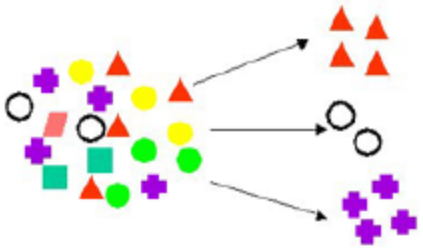
رقابت
- (Competition)
برای برنده شدن یک
نرون

شبکه های رقابتی

- شدیدترین نوع رقابت
  - تک‌برنده (Winner Take All)
  - فقط یک نرون در گروه رقابت کننده پیروز شده و دارای سیگنال خروجی غیرصفر است

- خوشه‌بندی (Clustering)
  - یادگیری بدون نظارت (Unsupervised)
    - بردارهای هدف متناظر با بردارهای ورودی موجود نیست (داده‌های آموزش دارای برچسپ نیستند)
  - جستجوی الگوهایی خاص یا نظم و ترتیب مشخصی در داده‌ها برای یافتن شباهت بین داده‌ها و اشیا
  - گروه‌بندی داده‌ها و اشیا در دسته‌ها(خوشه‌ها)ی بامعنی





شبکه های رقابتی

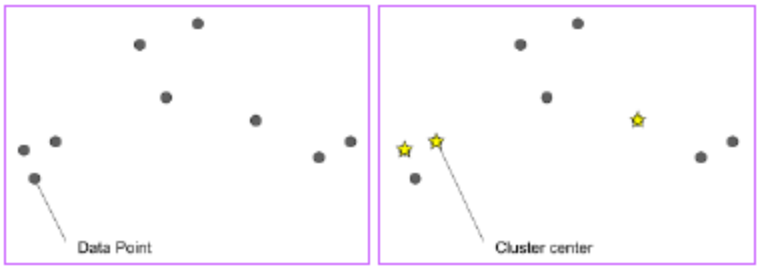
- چرا خوشه‌بندی؟
  - برچسپ‌گذاری داده‌ها بسیار زمان‌بر و پرهزینه است
  - توسعه آموزش برای حالت شبه‌نظارتی (semi-supervised)
    - آموزش اولیه یک دسته‌بندی کننده با داده‌های برچسپ‌دار محدود و سپس ادامه آموزش با داده‌های حجیم بدون برچسپ
  - اطلاع یافتن از ساختار داده‌ها (در بررسی‌های اولیه)
  - یافتن ویژگی‌های مناسب برای دسته‌بندی
  - شناسایی تغییرات تدریجی الگوها در زمان

روشهای خوشه بندی

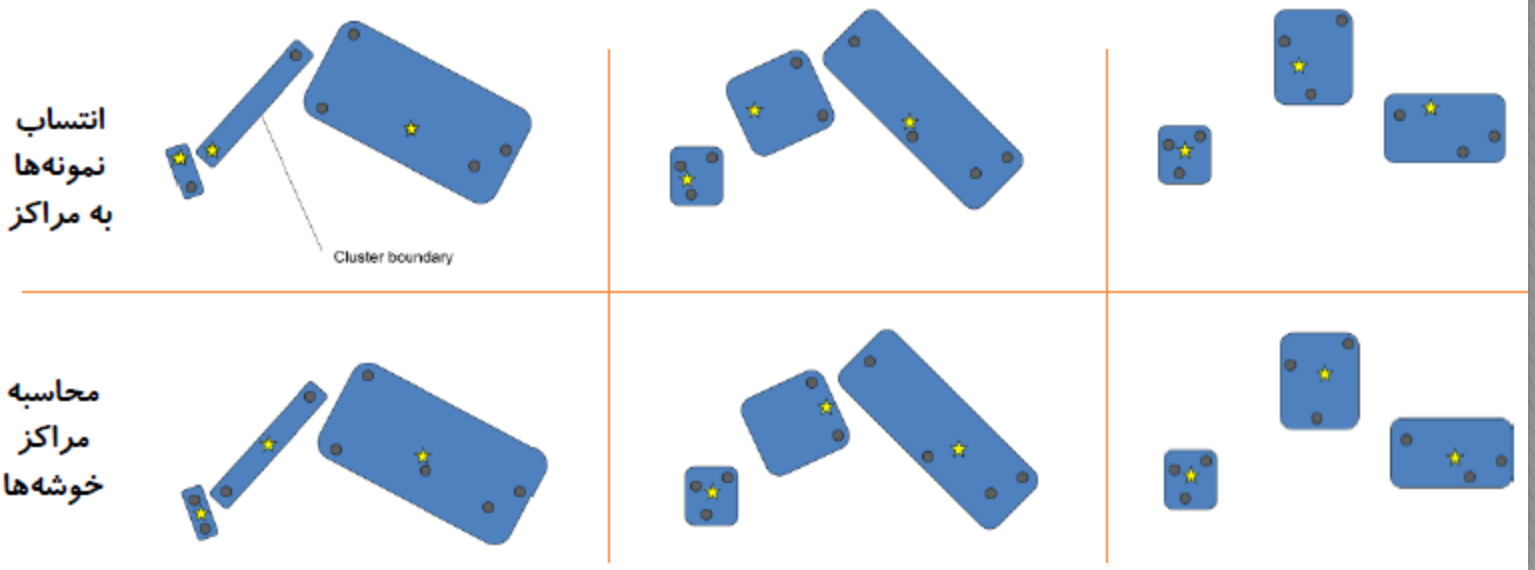
- خوشه‌بندی با روش K میانگین
  - داده‌ها: فرض کنید N نمونه D بعدی داریم: $\{x_1, x_2, \ldots, x_N\}$
  - هدف: خوشه‌بندی در K خوشه با مراکز $\{\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_K\}$

- روش K میانگین (K-Means)
  - مراکز خوشه‌ها را به صورت تصادفی مقداردهی کنید (می‌تواند هوشمندانه هم باشد)
    - تعداد K مرکز
  - تا زمانی‌که مقدار مراکز خوشه‌ها تغییر می‌کنند، مراحل زیر را تکرار کنید
    - با مقادیر موجود برای مراکز خوشه‌ها، نزدیک‌ترین خوشه به هر نمونه را پیدا کن (فاصله اقلیدسی)
    - با توجه به داده‌های هر خوشه، مراکز خوشه را دوباره محاسبه کن (میانگین نمونه‌ها)

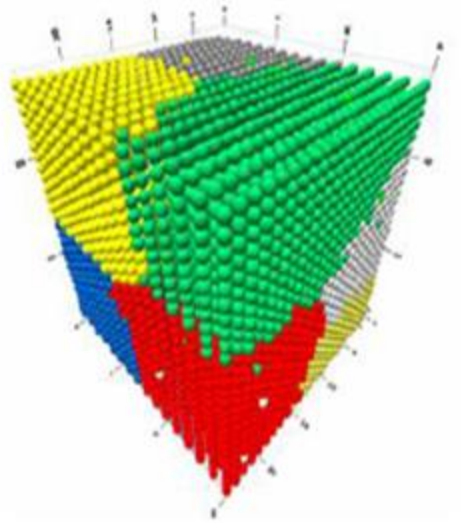
روشهای خوشه بندی



- خوشه‌بندی با روش K میانگین: مثال



روشهای خوشه بندی



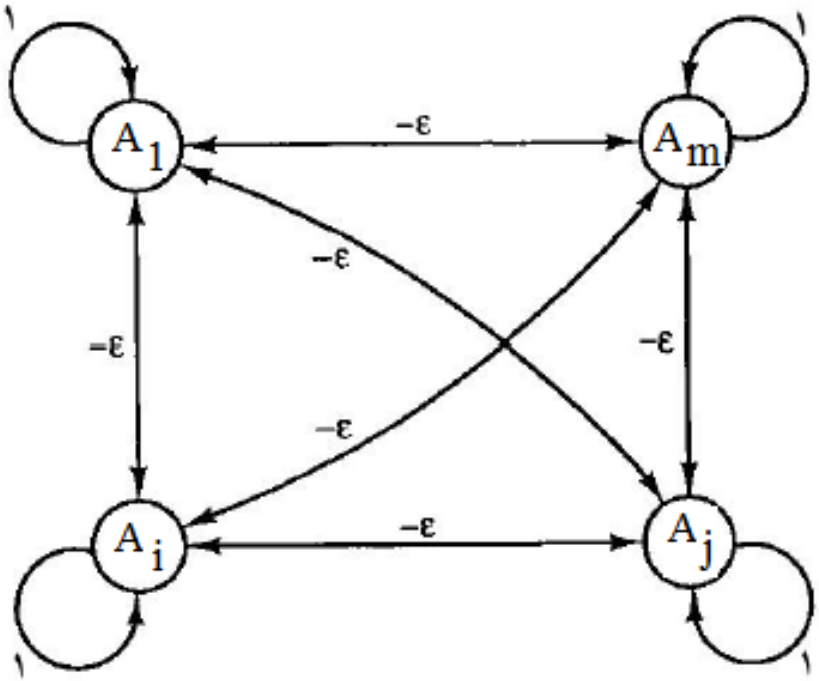
- خوشه‌بندی (Clustering) در شبکه عصبی
  - هر واحد خروجی نشانگر یک خوشه است
    - تعداد واحدهای خروجی بیانگر تعداد خوشه‌ها
  - شبکه‌ها
    - نگاشت خودسازمانده کوهونن (SOM)
    - شبکه‌های نظریهٔ نوسان وفقی (ART)

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ بیشینه (MAXNET)

- شبکه تک‌برنده
  - فقط نرونی که بزرگ‌ترین فعال‌سازی را دارد، می‌تواند «فعال» باقی بماند
  - استفاده به عنوان یک زیرشبکه برای انتخاب واحدی که ورودی آن بزرگ‌ترین مقدار را در میان واحدهای شبکه داراست
  - کلیه واحدهای شبکه، کاملاً به هم متصل هستند، از جمله به خودشان
  - وزن‌های شبکه متقارن هستند
  - وزن‌های شبکه ثابت بوده و شبکه الگوریتم آموزشی ندارد

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ بیشینه (MAXNET)

- ساختار
  - اتصال بازدارنده بین واحدهای مختلف با وزن ثابت منفی
  - اتصال تحریکی هر نرون به خودش با وزن ثابت مثبت



شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ بیشینه (MAXNET)

- تابع فعال‌سازی MAXNET

$$f(x)=\begin{cases} x & if \quad x>0 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

- کاربرد

ورودی کل از تمام واحدها

- مرحلهٔ ۰ – مقادیر فعال‌سازی‌ها و وزن‌ها را تعیین کنید ($0<\varepsilon<\frac{1}{m}$ ، $m=$ تعداد واحدها)

وزن‌ها:

$$w_{ij}=\begin{cases} 1 & if \quad i=j \\ -\varepsilon & if \quad i\neq j \end{cases}$$

$a_j(0)$ (= اولین سیگنال ورودی) را به عنوان ورودی گره A_j قرار دهید.

- مرحلهٔ ۱ – تا زمانی‌که شرایط توقف برقرار نیست، مراحل ۲ تا ۴ را انجام دهید.
- مرحلهٔ ۲ – فعال‌سازی هر گره را به‌روز کنید: $a_j(new)=f\left(a_j(old)-\varepsilon\sum_{k\neq j}a_k(old)\right), \quad j=1,\ldots,m$
- مرحلهٔ ۳ – فعال‌سازی‌ها را برای استفاده در تکرار بعدی ذخیره کنید: $a_j(old)=a_j(new), \quad j=1,\ldots,m$
- مرحلهٔ ۴ – شرایط توقف را بررسی کنید
  - اگر بیش از یک گره فعال‌سازی غیرصفر دارد، ادامه دهید،
  - در غیراین‌صورت کار را متوقف کنید.

ورودی دو یا چند واحد یکسان و بیشینه ؟

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ بیشینه (MAXNET)

- مثال
  - چهار نرون و $\varepsilon = 0.2$
  - فعال‌سازی‌های اولیه (سیگنال‌های ورودی)

$a_1(0) = 0.2 \quad a_2(0) = 0.4 \quad a_3(0) = 0.6 \quad a_4(0) = 0.8$

$f(0.2-0.2(0.4+0.6+0.8))=f(-0.16)=0$

$f(0.4-0.2(0.2+0.6+0.8))=f(0.08)=0.08$

  - تکرار شبکه

$a_1(1) = 0.0$	$a_2(1) = 0.08$	$a_3(1) = 0.32$	$a_4 = 0.56$
$a_1(2) = 0.0$	$a_2(2) = 0.0$	$a_3(2) = 0.192$	$a_4 = 0.48$
$a_1(3) = 0.0$	$a_2(3) = 0.0$	$a_3(3) = 0.096$	$a_4 = 0.442$
$a_1(4) = 0.0$	$a_2(4) = 0.0$	$a_3(4) = 0.008$	$a_4 = 0.442$
$a_1(5) = 0.0$	$a_2(5) = 0.0$	$a_3(5) = 0.0$	$a_4 = 0.421$

برنده = واحد ۴
تنها واحد با مقدار فعال‌سازی غیرصفر

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- شبکهٔ دسته‌بندی مبتنی بر بیشترین شباهت
  - **یافتن بردارهای نمونه‌ای که بیشترین شباهت را به یک بردار ورودی دارند**
  - **بردارهای نمونه = وزن‌های شبکه**
  - **میزان شباهت بین بردار ورودی و بردارهای نمونه ذخیره شده = فاصله همینگ**
    - فاصلهٔ همینگ بین بردارها از تعداد کل مولفه‌های بردار، کم شده و عدد به دست آمده به عنوان فاصله بین بردارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **فاصلهٔ همینگ بین دو بردار = تعداد مؤلفه‌هایی که آن دو بردار در آن مؤلفه‌ها متفاوتند**

$$H\left(x_1=\begin{bmatrix}0\\1\\1\end{bmatrix},x_2=\begin{bmatrix}1\\1\\0\end{bmatrix}\right)=2 \quad \Rightarrow \quad \bar{H}=\frac{H}{n(=\#\ of\ dimentions)}=\frac{2}{3}$$

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- شبکهٔ همینگ . . .
  - برای بردارهای دوقطبی $\mathbf{x}$ و $\mathbf{y}$ داریم: $\mathbf{x}.\mathbf{y} = a - d$

تعداد مؤلفه‌های مشترک دو بردار

تعداد مؤلفه‌های متفاوت دو بردار (فاصلهٔ همینگ)

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},\ \mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} a = 1 \\ d = 2 \end{cases} \Rightarrow \mathbf{x}.\mathbf{y} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} = -1 = 1 - 2$$

- داریم:

شباهت

$$n = a + d \Rightarrow d = n - a \Rightarrow \mathbf{x}.\mathbf{y} = a - d = 2a - n \Rightarrow 2a = \mathbf{x}.\mathbf{y} + n \Rightarrow a = \mathbf{x}.\frac{\mathbf{y}}{2} + \frac{n}{2}$$

ضرب داخلی دو بردار= ضرب بردار وزن در ورودی شبکه

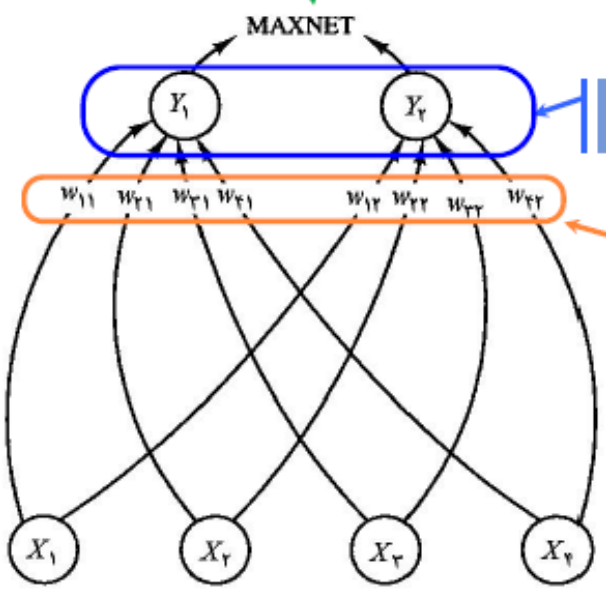
بایاس

- نصف مقدار بردار نمونه = وزن‌های شبکه و مقدار بایاس برابر با $n/2$
- شبکه واحدی که شبیه‌ترین بردار نمونه به بردار ورودی را پیدا می‌کند

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

ساختار

- نمایش دوقطبی
- ساختار: ورودی ۴ بعدی و دو کلاس خروجی



یافتن کلاس برنده

کلاس‌های خروجی = تعداد نمونه‌ها

وزن‌ها = نصف مقادیر بردارهای نمونه

- یافتن بردار نمونه‌ای که بیشترین شباهت را به بردار ورودی دارد

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- مثال (۱ از ۴) . . .
  - دو بردار نمونه $\mathbf{e}(1)=(1,-1,-1,-1)$ $\mathbf{e}(2)=(-1,-1,-1,1)$
  - بردارهای ورودی $(1,1,-1,-1)$ $(1,-1,-1,-1)$ $(-1,-1,-1,1)$ $(-1,-1,1,1)$

$$W=\begin{bmatrix}0.5 & -0.5\\ -0.5 & -0.5\\ -0.5 & -0.5\\ -0.5 & 0.5\end{bmatrix}$$

- مرحلهٔ ۰- بردارهای نمونه (m=2) را در وزن‌های شبکه ذخیره کنید:
  به بایاس‌ها نیز مقدار اولیه بدهید: $b_1=b_2=\frac{n}{2}=2$
- مرحلهٔ ۱- برای بردار $x=(1,1,-1,-1)$، مراحل ۲ تا ۴ را انجام دهید:
- مرحلهٔ ۲-

$$y_in_1=b_1+\sum_i x_i w_{i1}=2+1=3$$

$$y_in_2=b_2+\sum_i x_i w_{i2}=2-1=1$$

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه اول و بردار ورودی

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه دوم و بردار ورودی

- مرحلهٔ ۳- به‌دست می‌آید: $y_1(0)=3$ و $y_2(0)=1$
- مرحلهٔ ۴- چون $y_1(0)>y_2(0)$، نتیجه MAXNET: واحد نمونه مناسب برای بردار ورودی Y_1 =

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- مثال (۲ از ۴) . . .
  - مرحلهٔ ۱- برای بردار $\mathbf{x} = (1, -1, -1, -1)$، مراحل ۲ تا ۴ را انجام دهید:
  - مرحلهٔ ۲-

$$y_in_1 = b_1 + \sum_i x_i w_{i1} = 2 + 2 = 4$$

$$y_in_2 = b_2 + \sum_i x_i w_{i2} = 2 - 0 = 2$$

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه اول و بردار ورودی

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه دوم و بردار ورودی

  - مرحلهٔ ۳- بنابراین: $y_1(0) = 4$ و $y_2(0) = 2$
  - مرحلهٔ ۴- چون $y_1(0) > y_2(0)$ ،

نتیجه MAXNET: واحد نمونه مناسب برای بردار ورودی = Y_1

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- مثال (۳ از ۴) . . .
  - مرحلهٔ ۱- برای بردار $\mathbf{x} = (-1, -1, -1, 1)$، مراحل ۲ تا ۴ را انجام دهید:
  - مرحلهٔ ۲-

$$y_in_1 = b_1 + \sum_i x_i w_{i1} = 2 + 0 = 2$$

$$y_in_2 = b_2 + \sum_i x_i w_{i2} = 2 + 2 = 4$$

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه اول و بردار ورودی

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه دوم و بردار ورودی

  - مرحلهٔ ۳- بنابراین: $y_1(0) = 2$ و $y_2(0) = 4$
  - مرحلهٔ ۴- چون $y_1(0) < y_2(0)$،

نتیجه MAXNET: واحد نمونه مناسب برای بردار ورودی Y_2 =

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: شبکهٔ همینگ

- مثال (۴ از ۴)
  - مرحلهٔ ۱- برای بردار $\mathbf{x} = (-1, -1, 1, 1)$ ، مراحل ۲ تا ۴ را انجام دهید:
  - مرحلهٔ ۲-

$$y_in_1 = b_1 + \sum_i x_i w_{i1} = 2 - 1 = 1$$

$$y_in_2 = b_2 + \sum_i x_i w_{i2} = 2 + 1 = 3$$

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه اول و بردار ورودی

شباهت همینگ = تعداد مؤلفه‌های مشترک بردار نمونه دوم و بردار ورودی

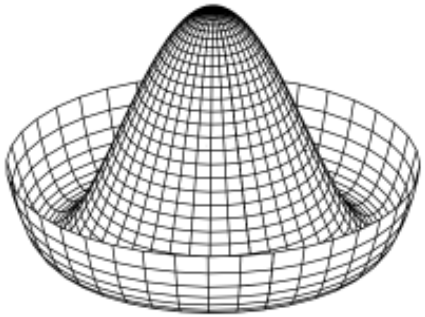
  - مرحلهٔ ۳- بنابراین: $y_1(0) = 1$ و $y_2(0) = 3$
  - مرحلهٔ ۴- چون $y_1(0) < y_2(0)$،

نتیجه MAXNET: واحد نمونه مناسب برای بردار ورودی = Y_2

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

- شبکه تک برنده
  - مشابه MAXNET (افزایش تقابل بین واحدها برای رقابت)
  - یک زیر شبکه است

- هر نرون دارای تعدادی «همسایهٔ همکار» با اتصالات تحریکی (با وزن‌های مثبت) است
  - «همسایهٔ همکار»، نرون‌هایی هستند که در مجاورت نرون مورد نظر قرار دارند
- هر نرون دارای تعدادی «همسایه رقیب» با اتصالات بازدارنده (با وزن‌های منفی) است
  - «همسایه رقیب» - نرون‌هایی که تا حدودی دورتر از نرون موردنظر هستند
- برای هر نرون ممکن است چند نرون در فاصلهٔ دورتر نیز باشند که به آنها متصل نباشد



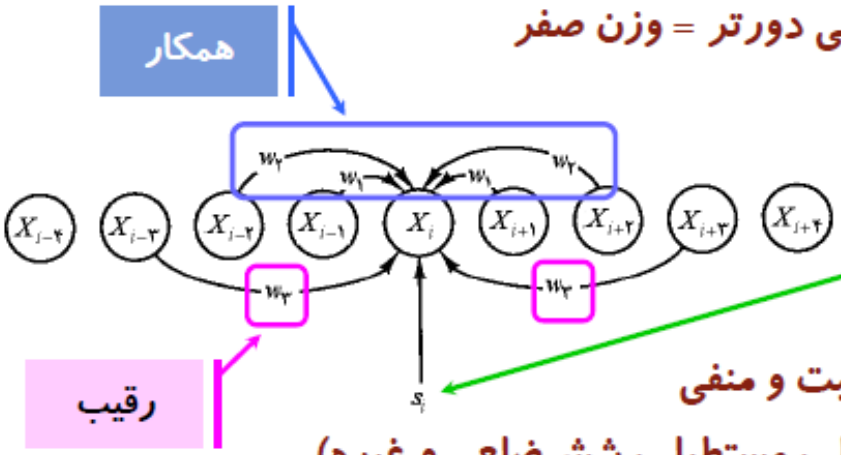
شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

این شبکه در سال 1989توسط کوهونن ارائه شد. هدف از بکار بردن این شبکه، افزایش تمایز بین ورودی ها می باشد، در این شبکه هر واحد با وزن های مثبت به همسایه های همکار و با وزن های منفی به همسایه های رقیب واقع در لایه خود وصل می شود.

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

ساختار

- اتصالات شامل دو ناحیهٔ متقارن، همسایگان همکار و همسایگان رقیب در اطراف هر نرون
- همسایگان **همکار**: اتصال درون ناحیهٔ نزدیک‌تر، وزن‌های مثبت (تحریکی) و اغلب با مقدار یکسان (در اینجا با شعاع ۲)
- همسایگان **رقیب**: اتصال درون ناحیهٔ خارج از منطقه مثبت، وزن‌های منفی (بازدارنده) است (در اینجا با شعاع ۳ و خارج از منطقه مثبت)
- عدم اتصال واحد نمونه به واحدهای خیلی دورتر = وزن صفر

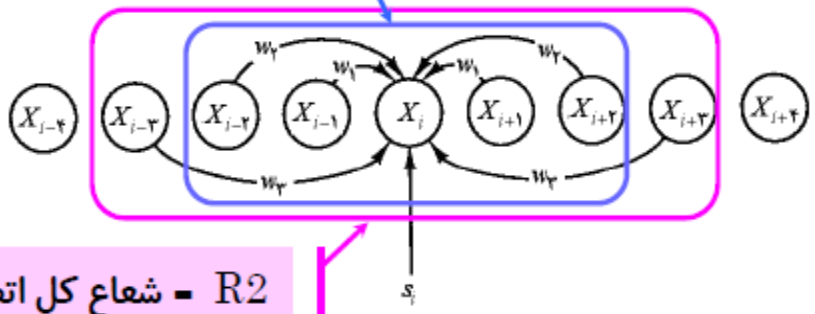


- نرون‌ها در یک خط آرایش یافته‌اند
- امکان مقادیر متفاوت برای وزن‌های مثبت و منفی
- امکان وجود توپولوژی‌های مختلف (خطی، مستطیلی، شش‌ضلعی و غیره).

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

- متغیرها
  - R1<R2

R1 = شعاع همسایگی همکار (مثبت)



R2 = شعاع کل اتصالات (مثبت و منفی)

- w_k وزن‌های روی اتصالات بین X_i و واحدهای X_{i+k} و X_{i-k}
- w_k برای $0 \le k \le R_1$ مثبت است
- w_k برای $R_1 < k \le R_2$ منفی است
- t_max تعداد کل تکرارها

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

- الگوریتم . . .
  - مرحلهٔ ۰- به پارامترهای t_max ، R_1 و R_2 مقادیر اولیه دلخواه بدهید به وزن‌ها مقدار اولیه بدهید.

$$w_k = C_1 \quad for \quad k = 0,\ldots,R_1 \quad (C_1 > 0)$$
$$w_k = C_2 \quad for \quad k = R_1 + 1,\ldots,R_2 \quad (C_2 < 0)$$

  - مرحلهٔ ۱- سیگنال خارجی $\mathbf{s}$ را وارد کنید: $\mathbf{x} = \mathbf{s}$

فعال‌سازی‌ها را در $\mathbf{x_old}$ ذخیره کنید، یعنی: $x_old_i = x_i \quad i = 1,\ldots,n$

شمارنده تکرار را $t = 1$ قرار دهید.

  - مرحلهٔ ۲- تا زمانی‌که t از t_max کمتر است، مراحل ۳ تا ۷ را انجام دهید.
  - مرحلهٔ ۳- ورودی شبکه را برای $i = 1,\ldots,n$ محاسبه کنید:

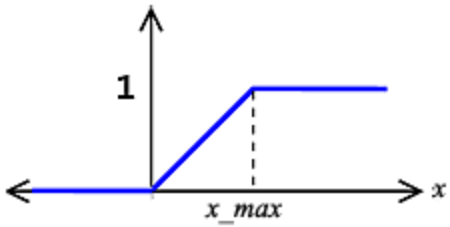
$$x_i = C_1 \sum_{k=-R_1}^{R_1} x_old_{i+k} + C_2 \sum_{k=-R_2}^{-R_1-1} x_old_{i+k} + C_2 \sum_{k=R_1+1}^{R_2} x_old_{i+k}$$

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

- الگوریتم . . .
  - مرحلهٔ ۴- تابع فعال‌سازی را اعمال نمایید (تابع خطی از ۰ تا x_max با شیب ۱)

$$x_i = \min(x_max, \max(0, x_i)) \quad for \quad i = 1,\ldots,n$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & if \quad x < 0 \\ x & if \quad 0 \le x \le x_max \\ 1 & if \quad x_max \le x \end{cases}$$



  - مرحلهٔ ۵- فعال‌سازی‌های فعلی را ذخیره کنید: $x_old_i = x_i \quad i = 1,\ldots,n$
  - مرحلهٔ ۶- شمارنده تکرار را افزایش دهید: $t = t + 1$
  - مرحلهٔ ۷- شرایط توقف را بررسی کنید.

    اگر $t < t_max$ بود، الگوریتم را ادامه دهید،

    در غیراین‌صورت کار را متوقف کنید.

تقویت فعال‌سازی
ورودی‌های با مقدار
ورودی بزرگ
تضعیف فعال‌سازی
ورودی‌های با مقدار
ورودی کوچک

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

- مثال . . .
  - شبکه‌ای با هفت واحد
  - مرحلهٔ ۰– تابع فعال‌سازی و پارامترها

$$f(x)=\begin{cases}0 & if \quad x<0\\ x & if \quad 0\le x\le 2\\ 2 & if \quad 2<x\end{cases}$$

$$R_1=1$$
$$R_2=2$$
$$C_1=0{,}6$$
$$C_2=-0{,}4$$
$$t_max=3$$

تقویت فعال‌سازی مرتبط با این ورودی

- مرحلهٔ ۱– $(t=0)$

سیگنال خارجی (ورودی) برابر با $\mathbf{x}=(0{,}0,\ 0{,}5,\ 0{,}8,\ 1{,}0,\ 0{,}8,\ 0{,}5,\ 0{,}0)$

ذخیره‌سازی $\mathbf{x_old}=\mathbf{x}=(0{,}0,\ 0{,}5,\ 0{,}8,\ 1{,}0,\ 0{,}8,\ 0{,}5,\ 0{,}0)$

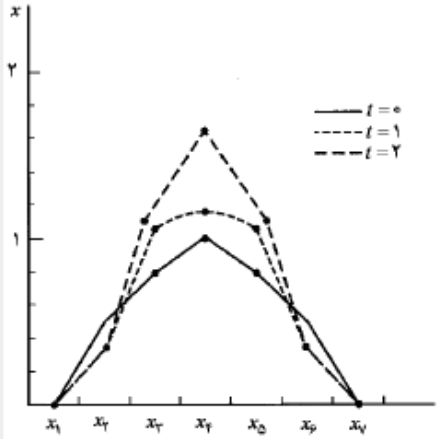
- مرحلهٔ ۲– $(t=1)$ ، t از t_max کوچک‌تر است
- مرحلهٔ ۳–

$$x_1=0{,}6x_old_1+0{,}6x_old_2-0{,}4x_old_3=0{,}6(0{,}0)+0{,}6(0{,}5)-0{,}4(0{,}8)=-0{,}02$$
$$x_2=0{,}6x_old_1+0{,}6x_old_2+0{,}6x_old_3-0{,}4x_old_4=0{,}6(0{,}0)+0{,}6(0{,}5)+0{,}6(0{,}8)-0{,}4(1{,}0)=0{,}38$$
$$x_3=-0{,}4x_old_1+0{,}6x_old_2+0{,}6x_old_3+0{,}6x_old_4-0{,}4x_old_5=-0{,}4(0{,}0)+0{,}6(0{,}5)+0{,}6(0{,}8)+0{,}6(1{,}0)-0{,}4(0{,}8)=1{,}06$$
$$x_4=-0{,}4x_old_2+0{,}6x_old_3+0{,}6x_old_4+0{,}6x_old_5-0{,}4x_old_6=-0{,}4(0{,}5)+0{,}6(0{,}8)+0{,}6(1{,}0)+0{,}6(0{,}8)-0{,}4(0{,}5)=1{,}16$$
$$x_5=-0{,}4x_old_3+0{,}6x_old_4+0{,}6x_old_5+0{,}6x_old_6-0{,}4x_old_7=-0{,}4(0{,}8)+0{,}6(1{,}0)+0{,}6(0{,}8)+0{,}6(0{,}5)-0{,}4(0{,}0)=1{,}06$$
$$x_6=-0{,}4x_old_4+0{,}6x_old_5+0{,}6x_old_6+0{,}6x_old_7=-0{,}4(1{,}0)+0{,}6(0{,}8)+0{,}6(0{,}5)+0{,}6(0{,}0)=0{,}38$$
$$x_7=-0{,}4x_old_5+0{,}6x_old_6+0{,}6x_old_7=-0{,}4(0{,}8)+0{,}6(0{,}5)+0{,}6(0{,}0)=-0{,}02$$

شبکه‌های رقابتی با وزن ثابت: کلاه مکزیکی

مثال

- مرحلهٔ ۴- $\mathbf{x} = (0{,}0,\ 0{,}38,\ 1{,}06,\ 1{,}16,\ 1{,}06,\ 0{,}38,\ 0{,}0)$
- مرحلهٔ ۵- حفظ اعداد و ارقام برای تکرار بعدی.



- مرحلهٔ ۲- $(t = 2)$ ، t از t_max کوچک‌تر است
- مرحلهٔ ۳:

$$x_1 = 0{,}6(0{,}0) + 0{,}6(0{,}38) - 0{,}4(1{,}06) = -0{,}196$$
$$x_2 = 0{,}6(0{,}0) + 0{,}6(0{,}38) + 0{,}6(1{,}06) - 0{,}4(1{,}16) = 0{,}39$$
$$x_3 = -0{,}4(0{,}0) + 0{,}6(0{,}38) + 0{,}6(1{,}06) + 0{,}6(1{,}16) - 0{,}4(1{,}06) = 1{,}14$$
$$x_4 = -0{,}4(0{,}38) + 0{,}6(1{,}06) + 0{,}6(1{,}16) + 0{,}6(1{,}06) - 0{,}4(0{,}38) = 1{,}66$$
$$x_5 = -0{,}4(1{,}06) + 0{,}6(1{,}16) + 0{,}6(1{,}06) + 0{,}6(0{,}38) - 0{,}4(0{,}0) = 1{,}14$$
$$x_6 = -0{,}4(1{,}16) + 0{,}6(1{,}06) + 0{,}6(0{,}38) + 0{,}6(0{,}0) = 0{,}39$$
$$x_7 = -0{,}4(1{,}06) + 0{,}6(0{,}38) + 0{,}6(0{,}0) = -0{,}196$$

- مرحلهٔ ۴: $\mathbf{x} = (0{,}0,\ 0{,}39,\ 1{,}14,\ 1{,}66,\ 1{,}14,\ 0{,}39,\ 0{,}0)$
- مرحلهٔ ۵- حفظ اعداد و ارقام برای تکرار بعدی.

فعال‌سازی این نرون تقویت شده