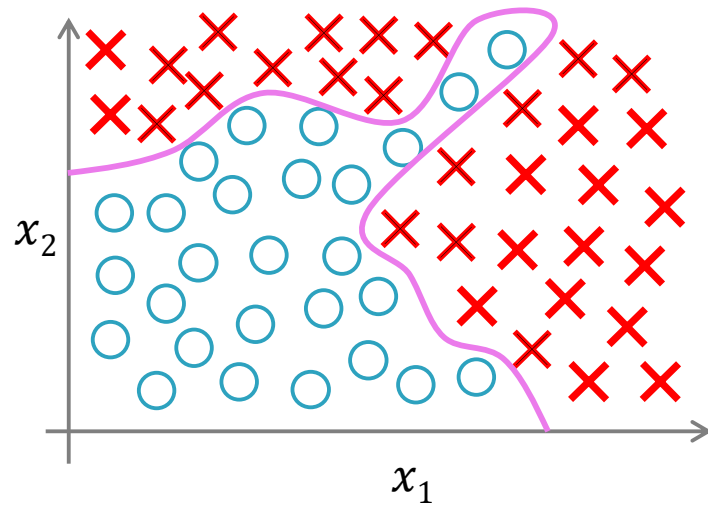


شبکه‌های عصبی مصنوعی

سید ناصر رضوی n.razavi@tabrizu.ac.ir

۱۳۹۵



x_1 = size
 x_2 = # bedrooms
 x_3 = # floors
 x_4 = age
 $\dots$
 x_{100}

$$g(\theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_1 x_2 + \theta_4 x_1^2 x_2 + \theta_5 x_1^3 x_2 + \theta_6 x_1 x_2^2 + \dots)$$

□ برای ۱۰۰ ویژگی:

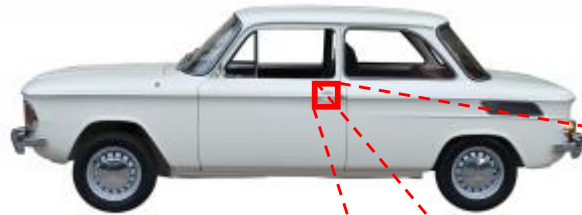
□ تعداد جملات درجه دوم $O(n^2)$ (۵۰۰۰)

□ تعداد جملات درجه سوم $O(n^3)$ (۱۷۰۰۰۰)

بینایی ماشین: تشخیص خودرو

۳

□ آنچه شما می بینید:

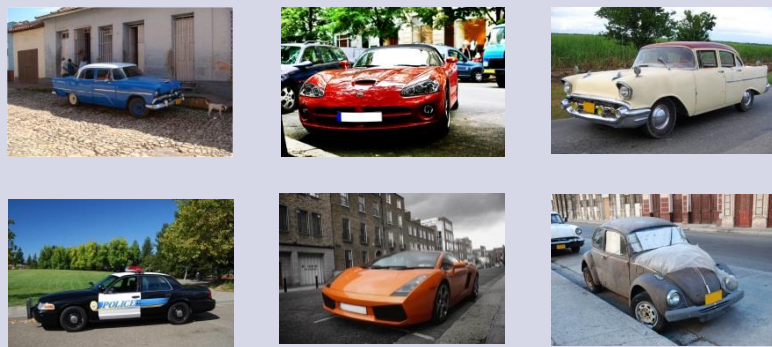


اما دوربین این را می بیند:

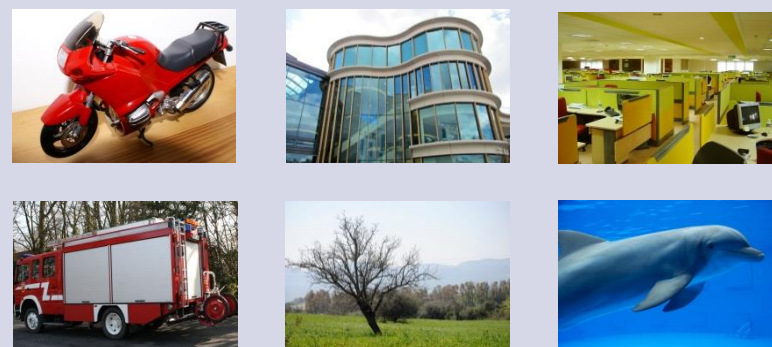
194	210	201	212	199	213	215	195	178	158	182	209
180	189	190	221	209	205	191	167	147	115	129	163
114	126	140	188	176	165	152	140	170	106	78	88
87	103	115	154	143	142	149	153	173	101	57	57
102	112	106	131	122	138	152	147	128	84	58	66
94	95	79	104	105	124	129	113	107	87	69	67
68	71	69	98	89	92	98	95	89	88	76	67
41	56	68	99	63	45	60	82	58	76	75	65
20	43	69	75	56	41	51	73	55	70	63	44
50	50	57	69	75	75	73	74	53	68	59	37
72	59	53	66	84	92	84	74	57	72	63	42
67	61	58	65	75	78	76	73	59	75	69	50

بینای ماشین: تشخیص خودرو

۴



چند مثال از خودرو



چند مثال از اشیای دیگر

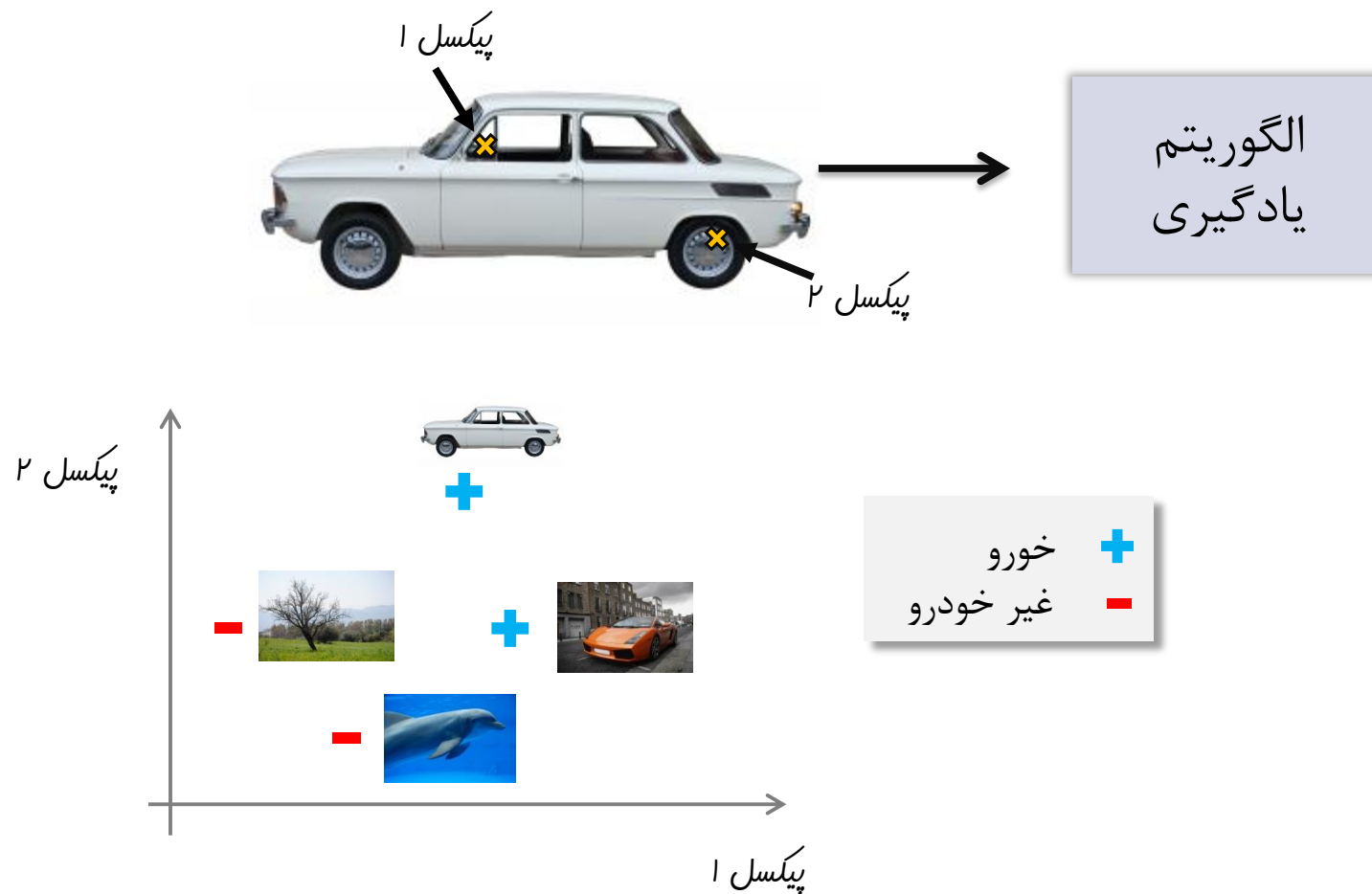


آزمایش:

آیا تصویر فوق مربوط به یک خودرو است یا خیر؟

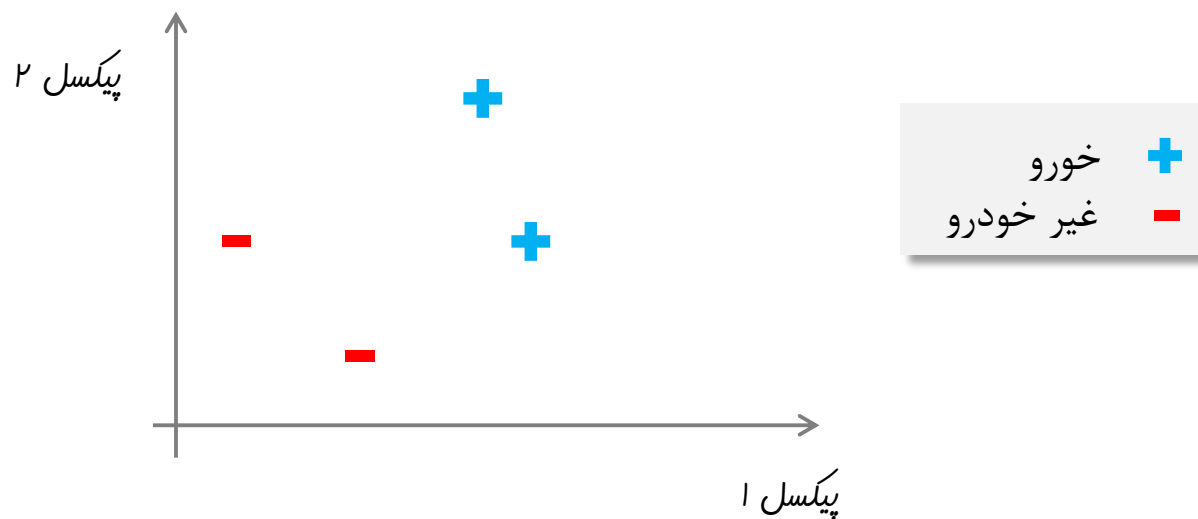
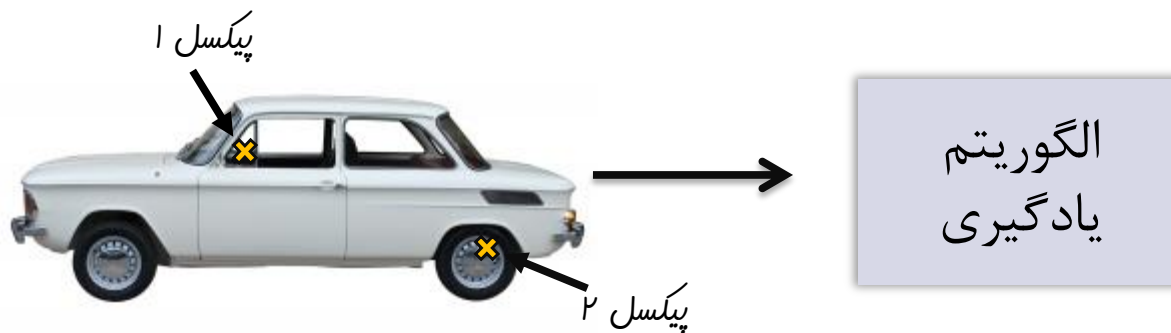
بینایی ماشین: تشخیص خودرو

۵



بینایی ماشین: تشخیص خودرو

۶

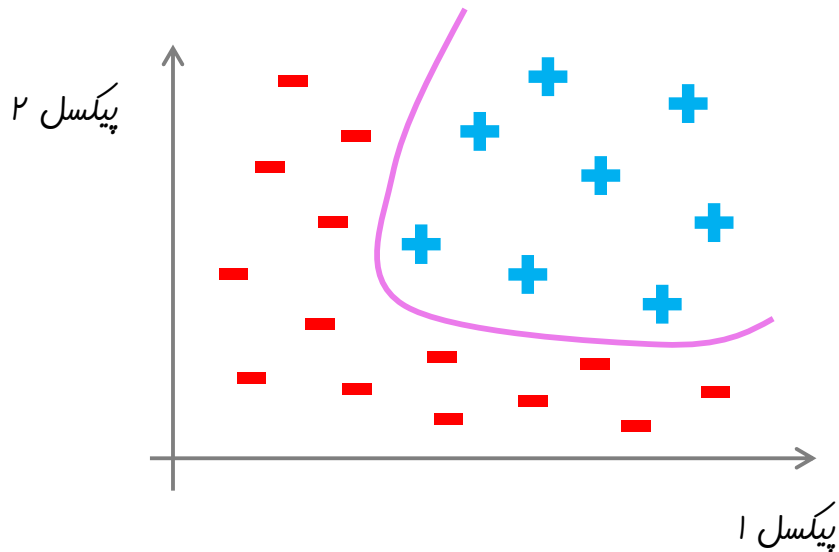


بینایی ماشین: تشخیص خودرو

۷



الگوریتم
یادگیری



تصاویر با ابعاد 50×50 پیکسل $\leftarrow 2500$ ویژگی
(برای تصاویر رنگی: 7500 ویژگی)

$$x = \begin{bmatrix} \text{شدت پیکسل ۱} \\ \text{شدت پیکسل ۲} \\ \vdots \\ \text{شدت پیکسل ۲۵۰۰} \end{bmatrix}$$

ویژگی‌های درجه دوم: تقریباً ۳ میلیون ویژگی

نورون‌ها و مغز



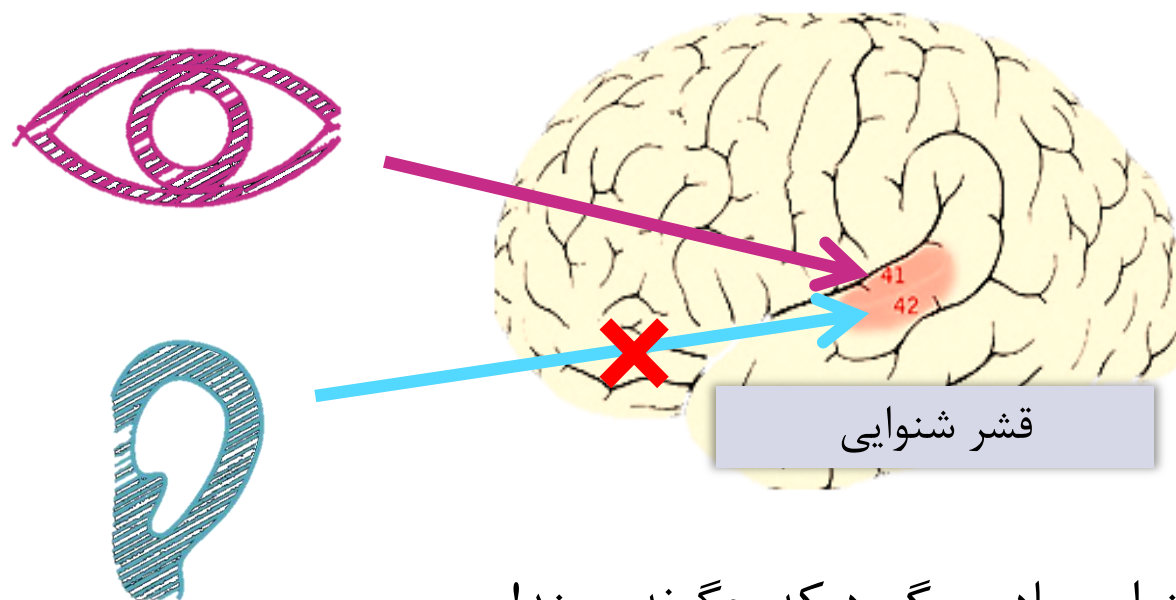
شبکه‌های عصبی

- **خاستگاه.** الگوریتم‌هایی که می‌کوشند از مغز تقلید کنند.
- استفاده از شبکه‌های عصبی در دهه‌ی ۸۰ و اوایل دهه‌ی ۹۰ بسیار رایج بود؛
- اما محبوبیت آنها در اواخر دهه‌ی ۹۰ تقریباً از بین رفت.

- **حال حاضر.** شبکه‌های عصبی در حال حاضر پیشرفته‌ترین روش برای بسیاری از کاربردها هستند.
- به دلیل افزایش سرعت کامپیوترها، امروزه می‌توان شبکه‌های بسیار بزرگ را با سرعت بالا آموزش داد.

فرضیه‌ی «یک الگوریتم یادگیری»

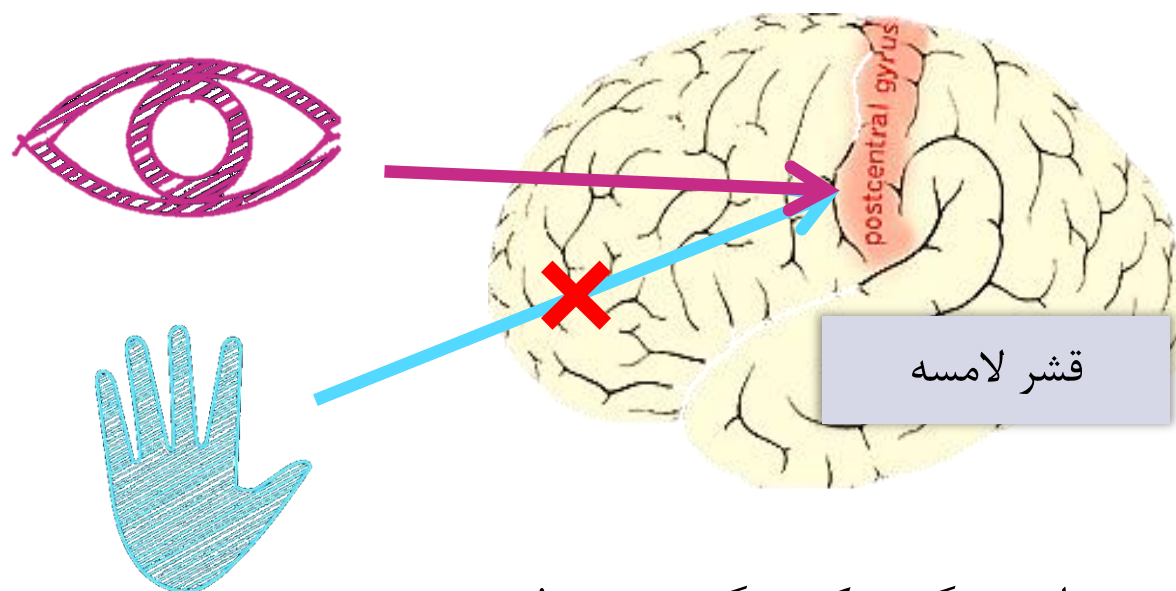
۱۰



قشر شنوایی یاد می‌گیرد که چگونه ببیند!

فرضیه‌ی «یک الگوریتم یادگیری»

۱۱



قشر لامسه یاد می‌گیرد که چگونه ببیند!

بازنمایی حسگرها در مغز

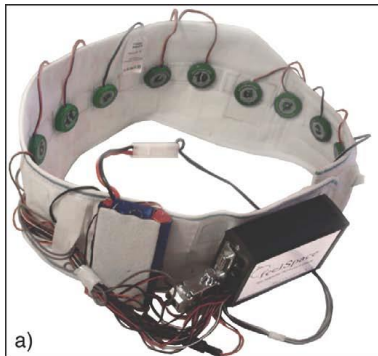
۱۲



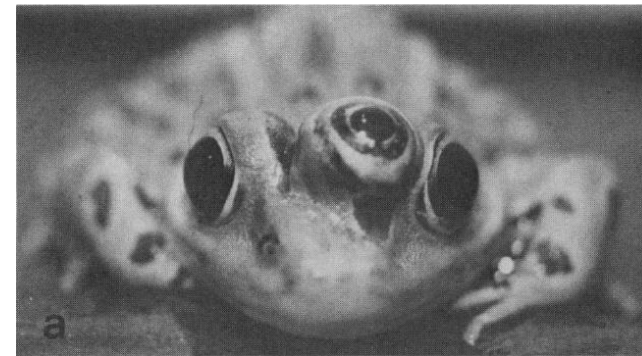
دیدن به وسیله زبان



مکان‌یابی صوتی در انسان (سونار)



کمر بند جهت‌یابی



کاشت چشم سوم در قورباغه

تقریباً می‌توان هر نوع حسگری را به مغز متصل نمود و مغز یاد می‌گیرد چگونه از آن استفاده کند!

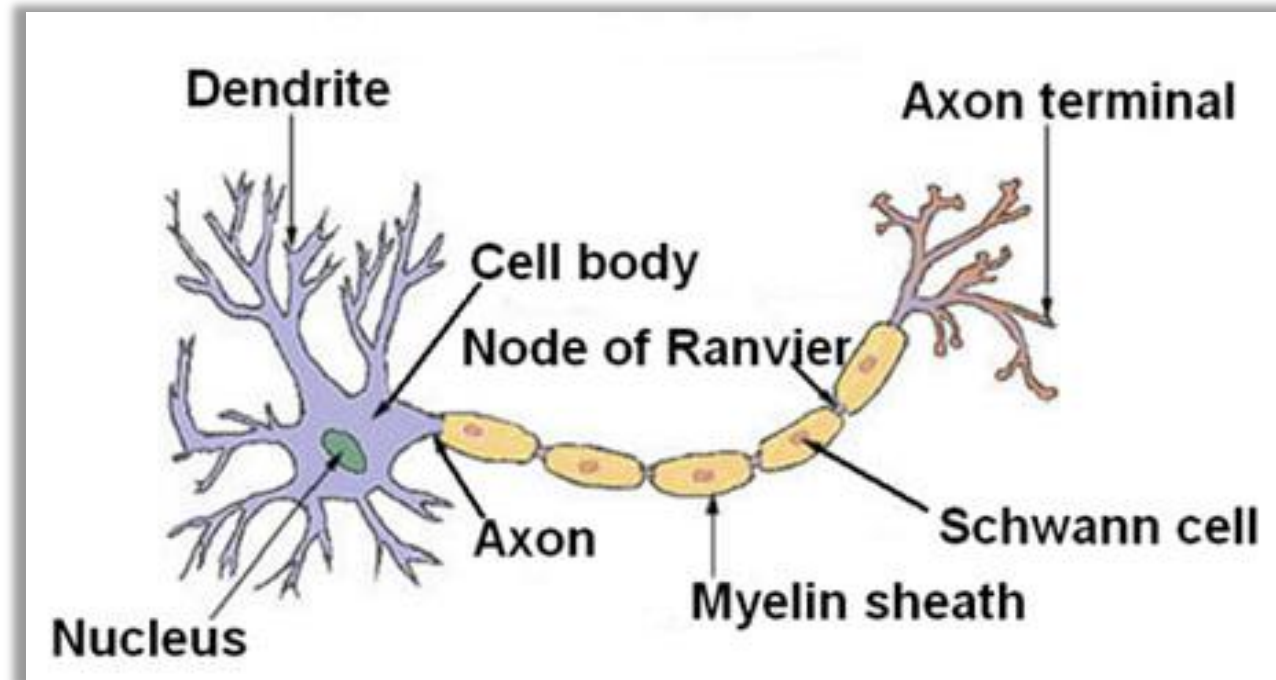
بازنمایی فرضیه در شبکه‌های عصبی



ساختار یک نورون

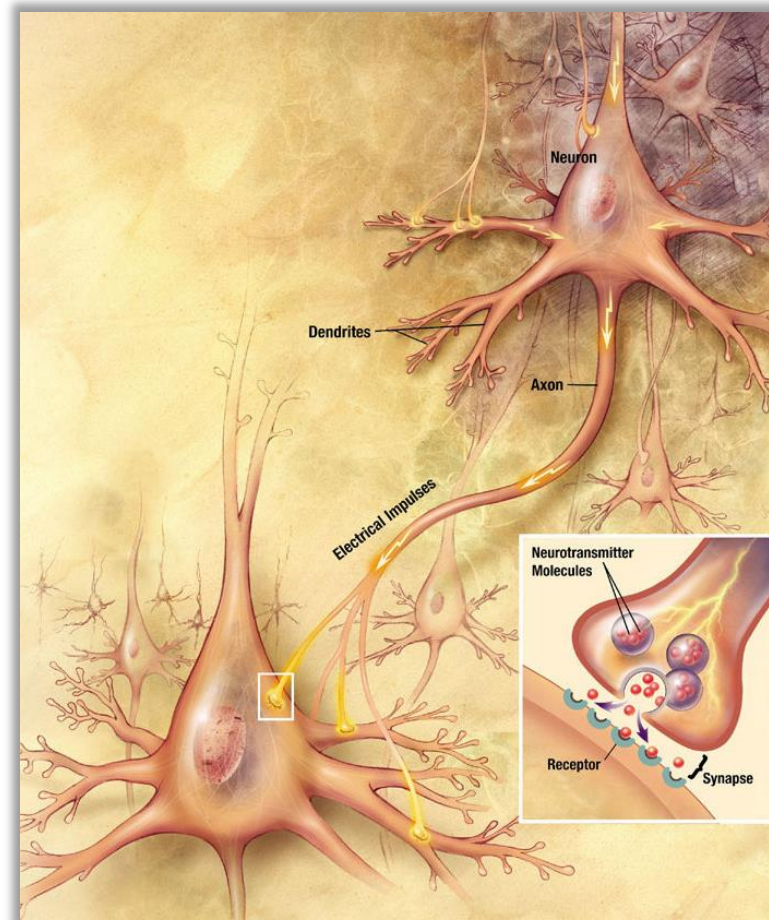
۱۴

□ **نورون**. هر نورون یک سیستم محاسباتی کامل است که ورودی‌هایی را دریافت می‌کند، آنها را پردازش می‌کند و سپس نتیجه را به خروجی می‌فرستد.



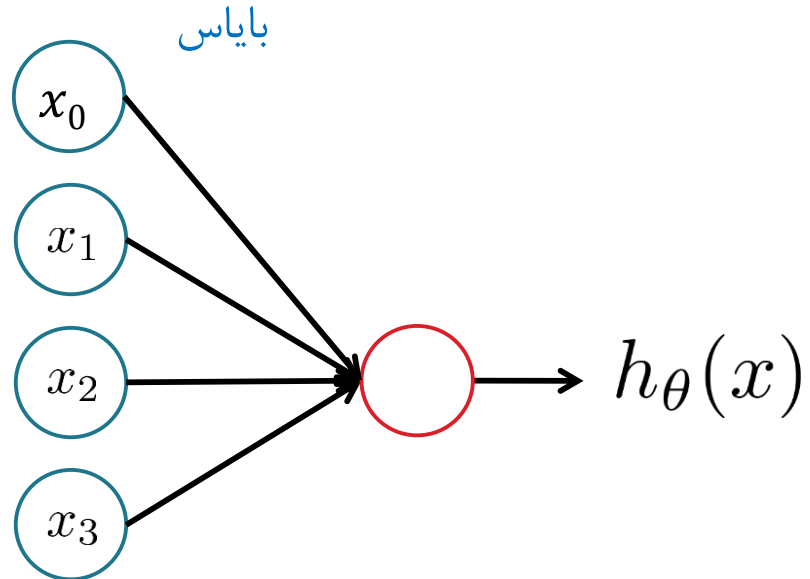
ارتباط میان نورون‌ها

۱۵



مدل مصنوعی نورون

۱۶

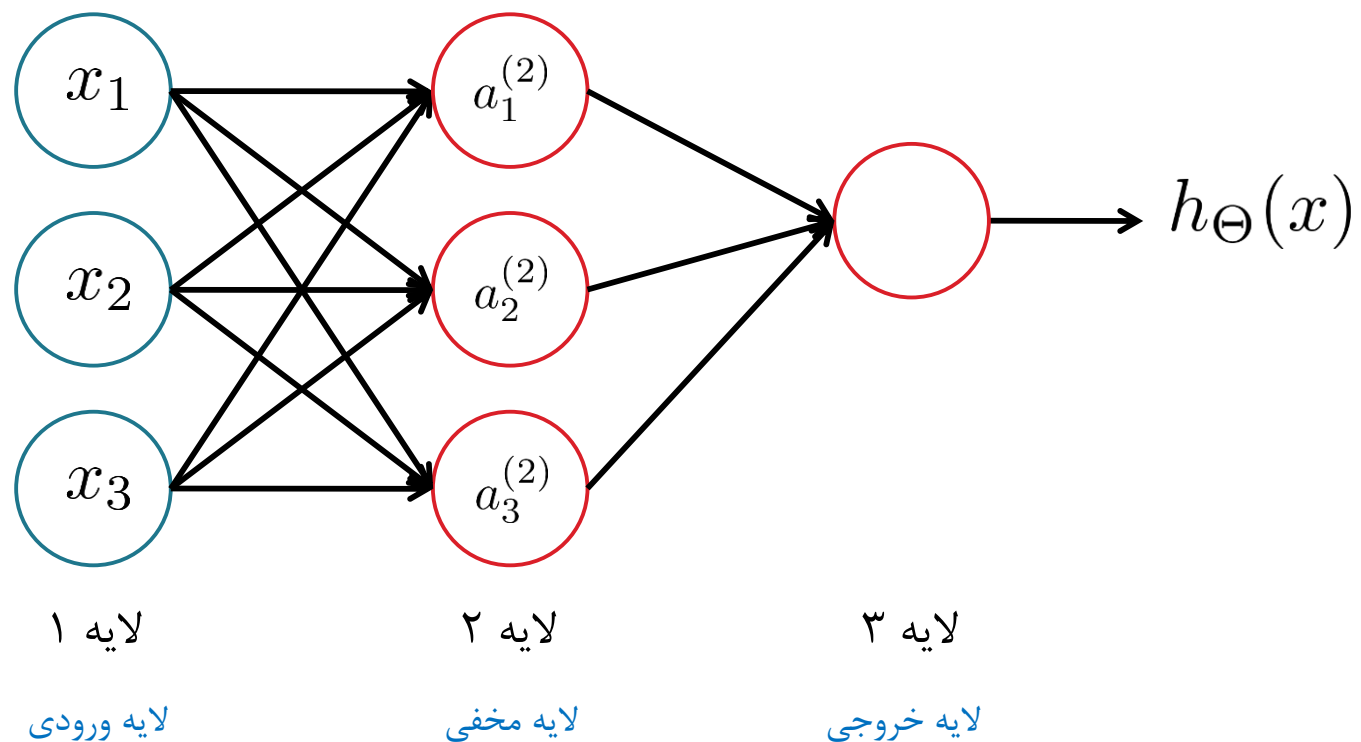


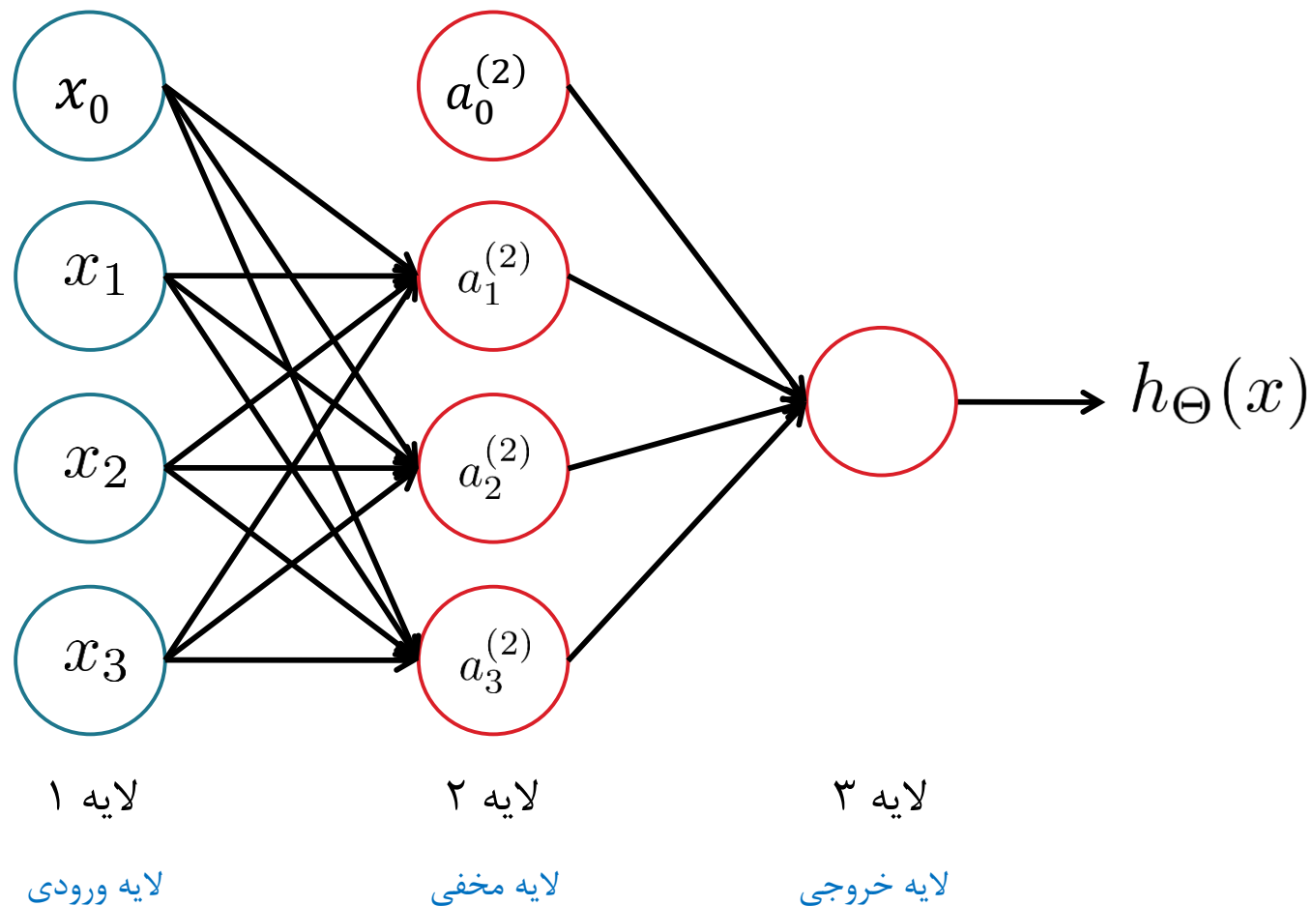
$$x = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

تابع فعالیت. تابع سیگموئید (لجستیک)

$$h_{\theta}(x) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T x}}$$





شبکه‌ی عصبی

۱۹

$a_i^{(j)}$ = «فعالیت» واحد i در لایه j

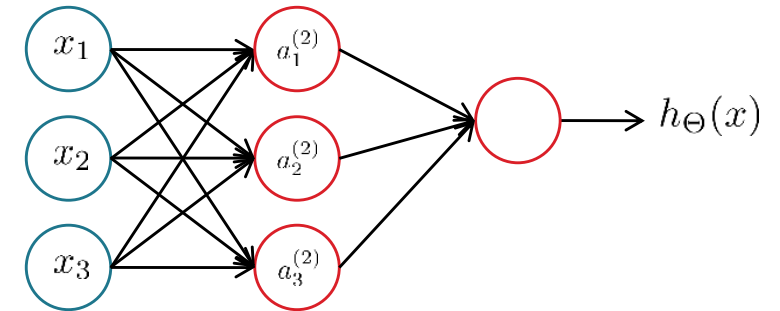
$\Theta^{(j)}$ = ماتریس وزن‌ها از لایه j به لایه $j+1$

$$a_1^{(2)} = g \left(\Theta_{10}^{(1)} x_0 + \Theta_{11}^{(1)} x_1 + \Theta_{12}^{(1)} x_2 + \Theta_{13}^{(1)} x_3 \right)$$

$$a_2^{(2)} = g \left(\Theta_{20}^{(1)} x_0 + \Theta_{21}^{(1)} x_1 + \Theta_{22}^{(1)} x_2 + \Theta_{23}^{(1)} x_3 \right)$$

$$a_3^{(2)} = g \left(\Theta_{30}^{(1)} x_0 + \Theta_{31}^{(1)} x_1 + \Theta_{32}^{(1)} x_2 + \Theta_{33}^{(1)} x_3 \right)$$

$$h_{\theta}(x) = a_1^{(3)} = g \left(\Theta_{10}^{(2)} a_0^{(2)} + \Theta_{11}^{(2)} a_1^{(2)} + \Theta_{12}^{(2)} a_2^{(2)} + \Theta_{13}^{(2)} a_3^{(2)} \right)$$



داشته باشد، آنگاه ابعاد $\Theta^{(j)}$ برابر است با

$$s_{j+1} \times (s_j + 1)$$

اگر شبکه j واحد در لایه و $j-1$ واحد در لایه

شبکه‌ی عصبی

۲۰

ماتریس وزن‌ها از لایه j به لایه $j + 1$ $\Theta^{(j)}$

$$a_1^{(2)} = g \left(\Theta_{10}^{(1)} x_0 + \Theta_{11}^{(1)} x_1 + \Theta_{12}^{(1)} x_2 + \Theta_{13}^{(1)} x_3 \right)$$

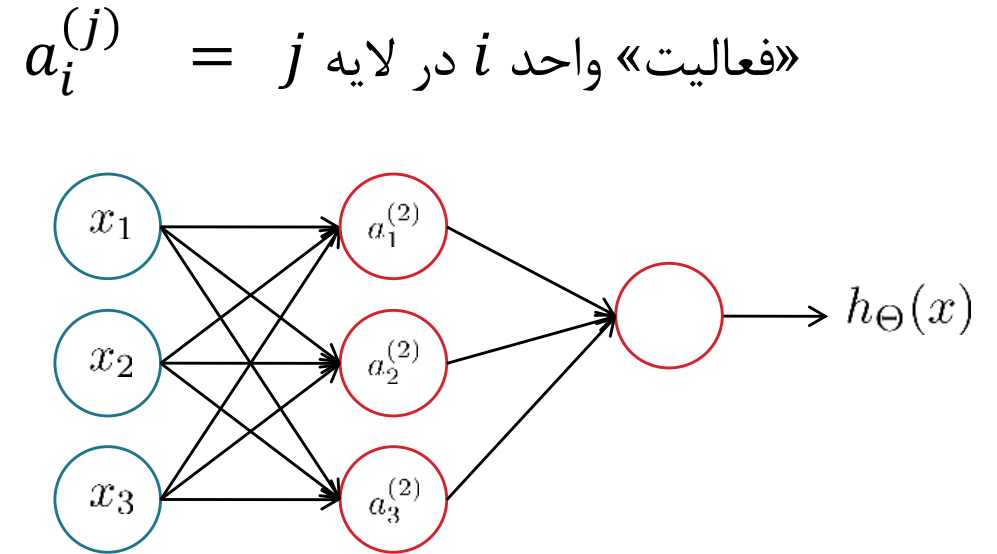
$$a_2^{(2)} = g \left(\Theta_{20}^{(1)} x_0 + \Theta_{21}^{(1)} x_1 + \Theta_{22}^{(1)} x_2 + \Theta_{23}^{(1)} x_3 \right)$$

$$a_3^{(2)} = g \left(\Theta_{30}^{(1)} x_0 + \Theta_{31}^{(1)} x_1 + \Theta_{32}^{(1)} x_2 + \Theta_{33}^{(1)} x_3 \right)$$

$$h_{\theta}(x) = a_1^{(3)} = g \left(\Theta_{10}^{(2)} a_0^{(2)} + \Theta_{11}^{(2)} a_1^{(2)} + \Theta_{12}^{(2)} a_2^{(2)} + \Theta_{13}^{(2)} a_3^{(2)} \right)$$

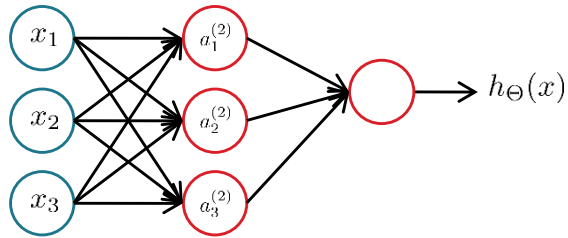
اگر شبکه S_j واحد در لایه j و S_{j+1} واحد در لایه $j + 1$ داشته باشد، آنگاه ابعاد $\Theta^{(j)}$ برابر است با:

$$S_{j+1} \times (S_j + 1)$$



انتشار پیش رو: پیاده‌سازی برداری

۲۱



$$a_1^{(2)} = g \left(\Theta_{10}^{(1)} x_0 + \Theta_{11}^{(1)} x_1 + \Theta_{12}^{(1)} x_2 + \Theta_{13}^{(1)} x_3 \right)$$

$$a_2^{(2)} = g \left(\Theta_{20}^{(1)} x_0 + \Theta_{21}^{(1)} x_1 + \Theta_{22}^{(1)} x_2 + \Theta_{23}^{(1)} x_3 \right)$$

$$a_3^{(2)} = g \left(\Theta_{30}^{(1)} x_0 + \Theta_{31}^{(1)} x_1 + \Theta_{32}^{(1)} x_2 + \Theta_{33}^{(1)} x_3 \right)$$

$$h_{\theta}(x) = g \left(\Theta_{10}^{(2)} a_0^{(2)} + \Theta_{11}^{(2)} a_1^{(2)} + \Theta_{12}^{(2)} a_2^{(2)} + \Theta_{13}^{(2)} a_3^{(2)} \right)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad z^{(2)} = \begin{bmatrix} z_1^{(2)} \\ z_2^{(2)} \\ z_3^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$z^{(2)} = \Theta^{(1)} x$$

$$a^{(2)} = g(z^{(2)})$$

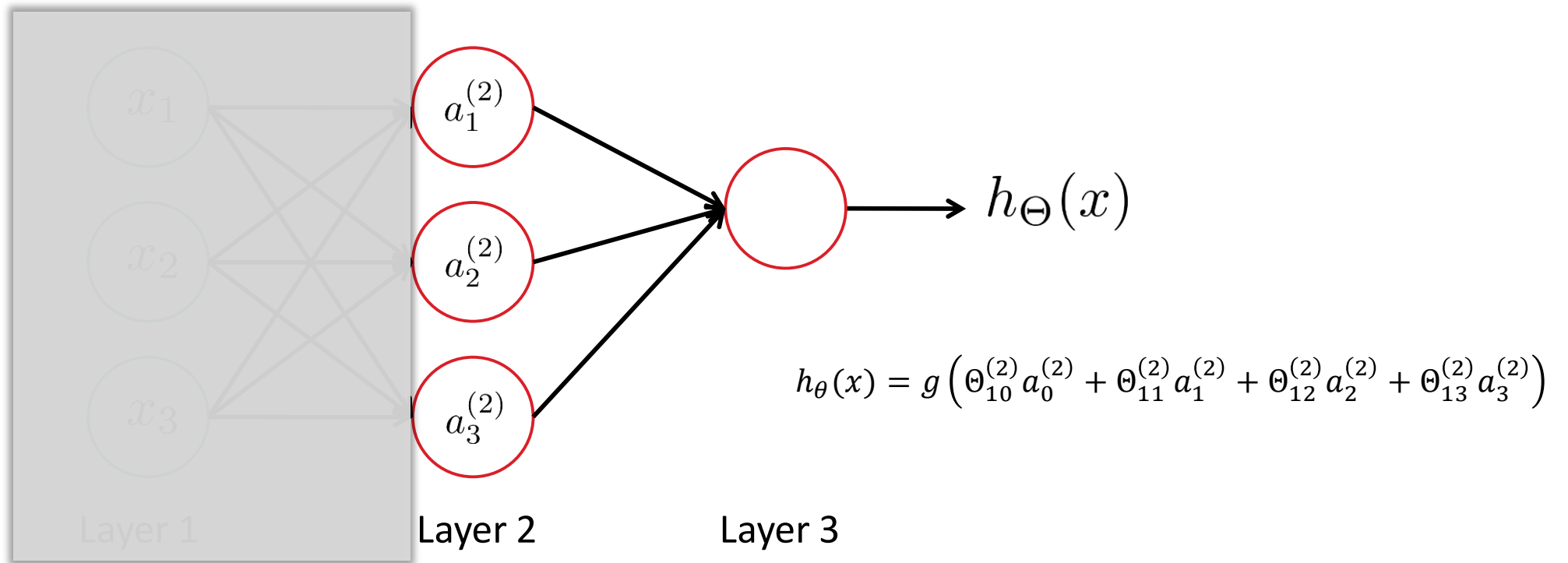
اضافه کردن $a_0^{(2)} = 1$

$$z^{(3)} = \Theta^{(2)} a^{(2)}$$

$$a^{(3)} = g(z^{(3)}) = h_{\theta}(x)$$

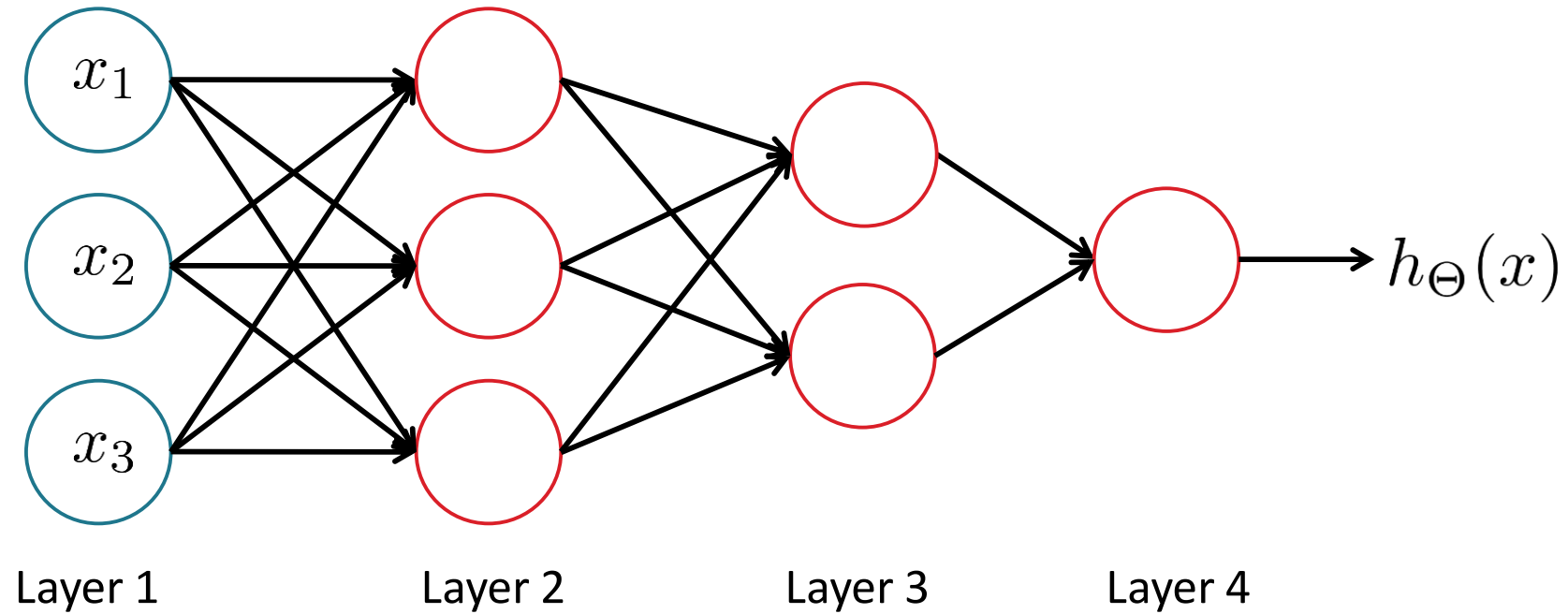
شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای جدید از ویژگی‌ها را یاد می‌گیرند

۲۲



انواع دیگر معماری شبکه

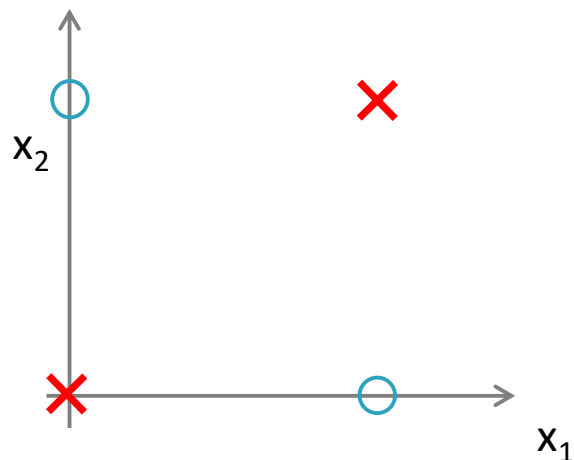
۲۳



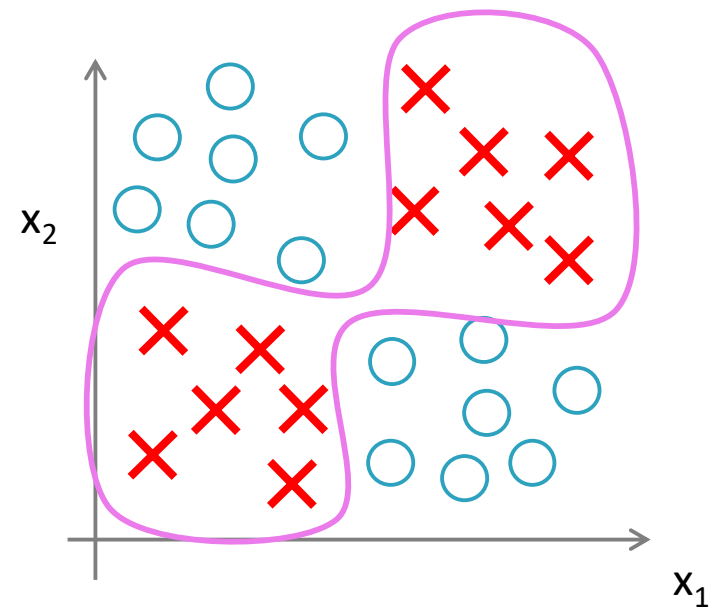
مثالها

کلاس‌بندی غیر خطی: تابع XOR/XNOR

۲۵



$$y = x_1 \text{ XOR } x_2$$
$$x_1 \text{ XNOR } x_2$$
$$\text{NOT } (x_1 \text{ XOR } x_2)$$

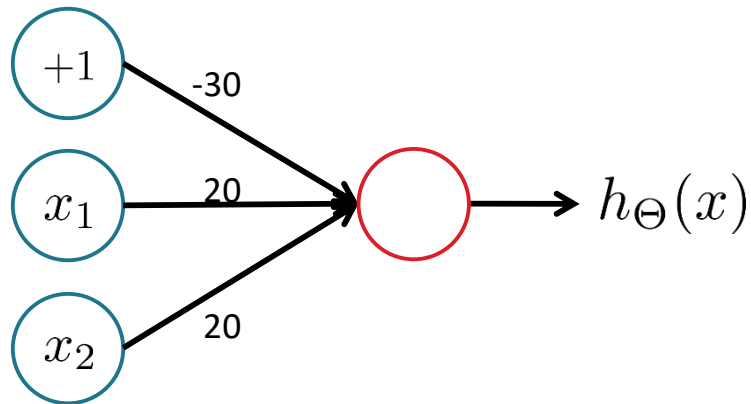


یک مثال ساده: تابع AND

۲۶

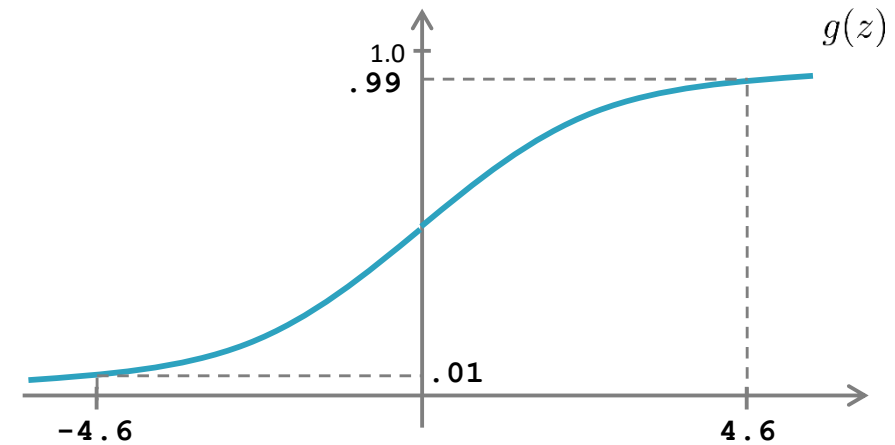
$$x_1, x_2 \in \{0, 1\}$$

$$y = x_1 \text{ AND } x_2$$



$$h_{\Theta}(x) = g(-30 + 20x_1 + 20x_2)$$

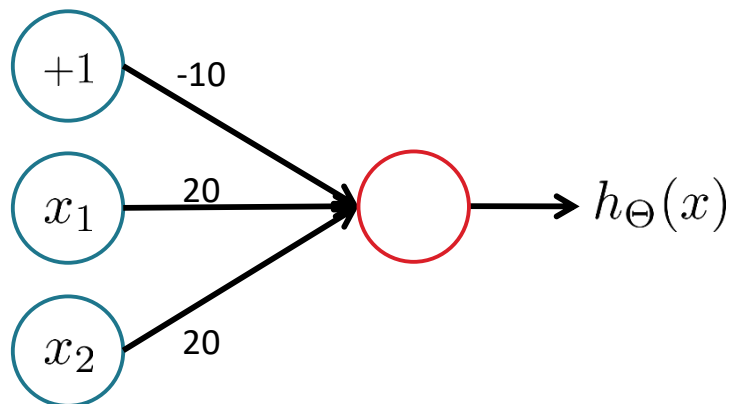
$$\Theta_{10}^{(1)} \quad \Theta_{11}^{(1)} \quad \Theta_{12}^{(1)}$$



x_1	x_2	$h_{\theta}(x)$
0	0	$g(-30) \approx 0$
0	1	$g(-10) \approx 0$
1	0	$g(-10) \approx 0$
1	1	$g(10) \approx 1$

مثال: تابع OR

۲۷



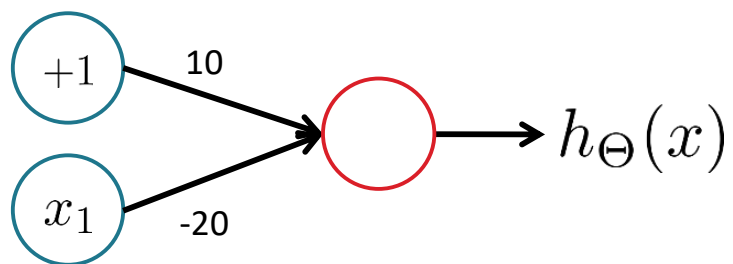
$$h_{\Theta}(x) = g(-10 + 20x_1 + 20x_2)$$

x_1	x_2	$h_{\Theta}(x)$
0	0	$g(-10) \approx 0$
0	1	$g(10) \approx 1$
1	0	$g(10) \approx 1$
1	1	$g(30) \approx 1$

تابع نقیض

۲۸

نقیض.

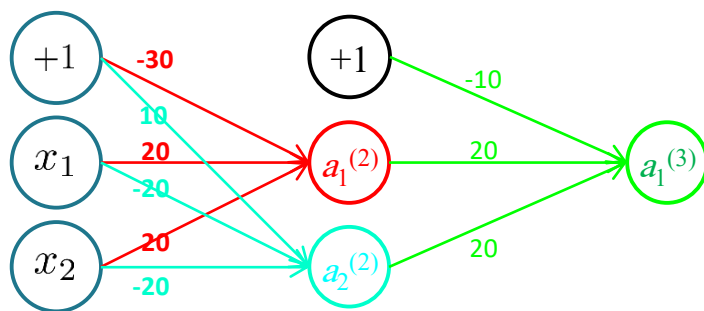
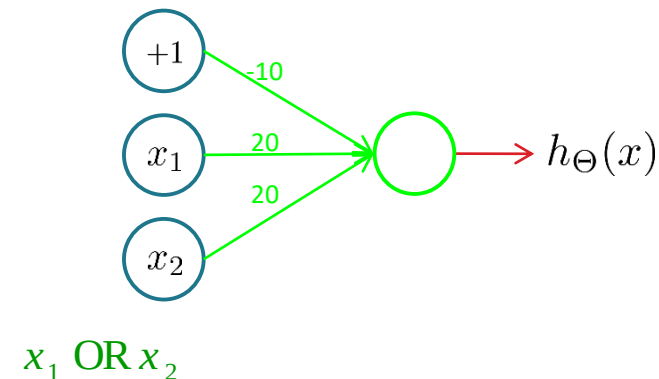
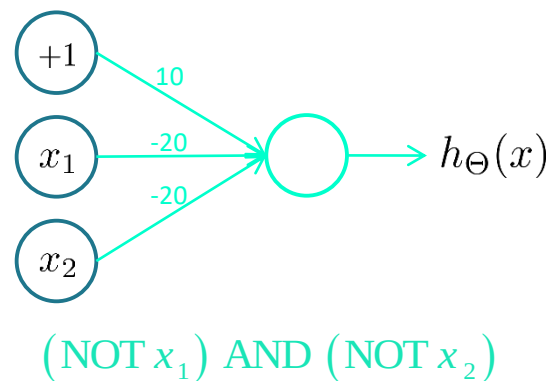
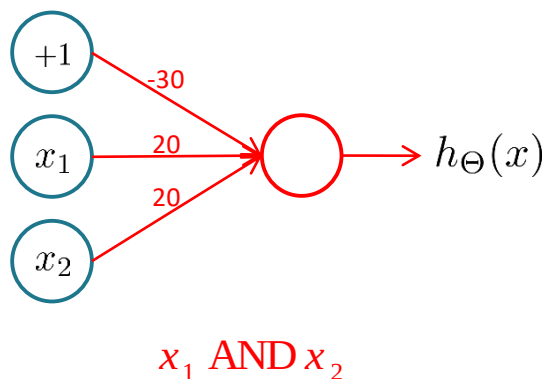


$$h_{\theta}(x) = g(10 - 20x_1)$$

x_1	$h_{\theta}(x)$
0	$g(10) \approx 1$
1	$g(-10) \approx 0$

مثال: تابع XNOR

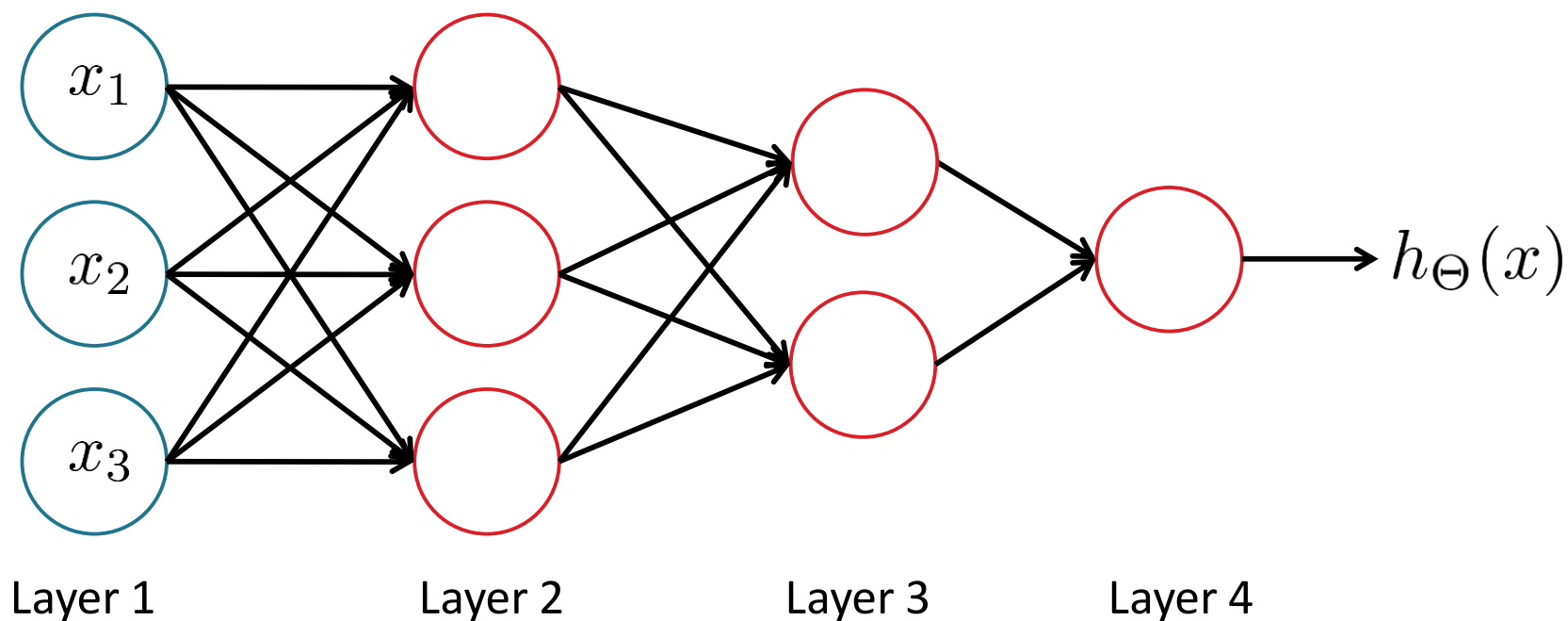
۲۹



x_1	x_2	$a_1^{(2)}$	$a_2^{(2)}$	$h_{\Theta}(x)$
0	0	0	1	1
0	1	0	0	0
1	0	0	0	0
1	1	1	0	1

محاسبه‌ی توابع پیچیده‌تر

۳۰



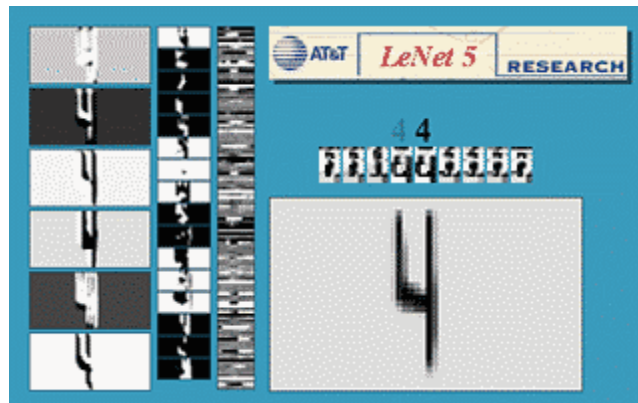
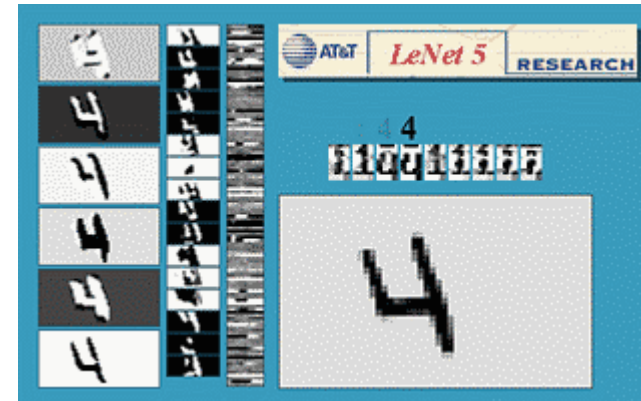
تشخیص ارقام دستنویس [Yann LeCun]

۳۱



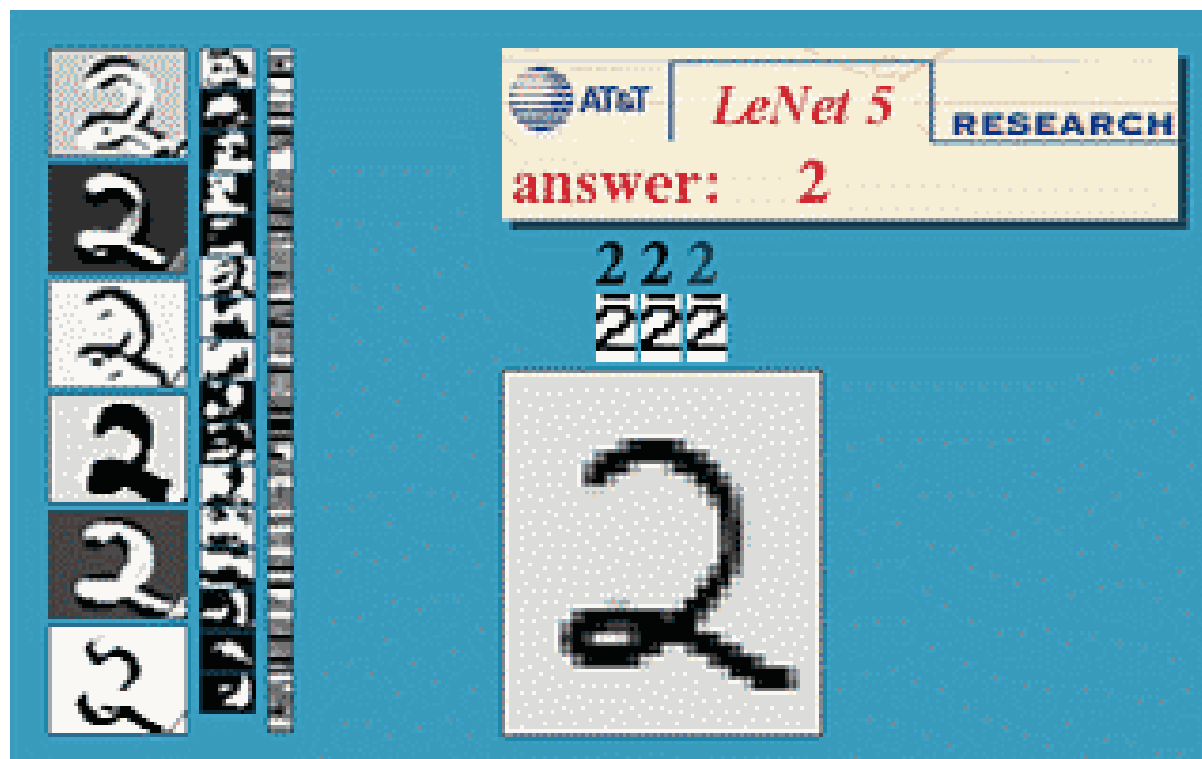
عملگرهای جابجایی، پرفاش، تغییر اندازه

۳۲



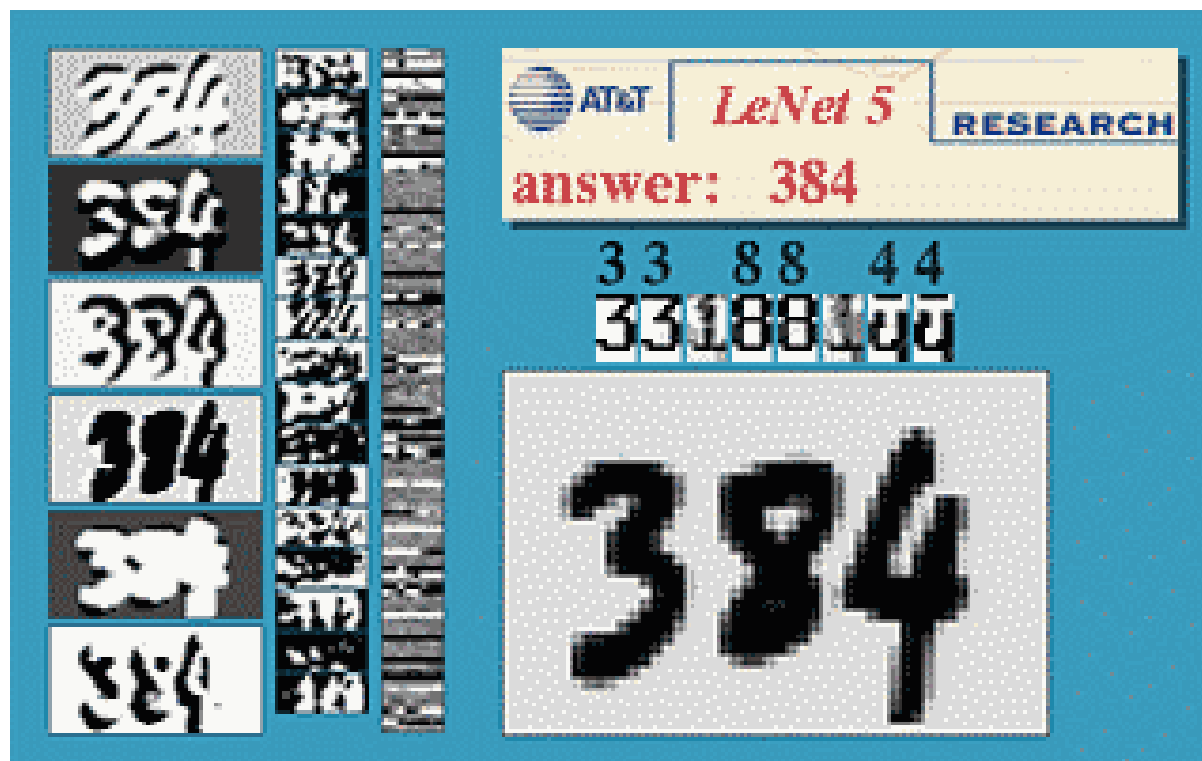
مقاومت در برابر نویز

۳۳



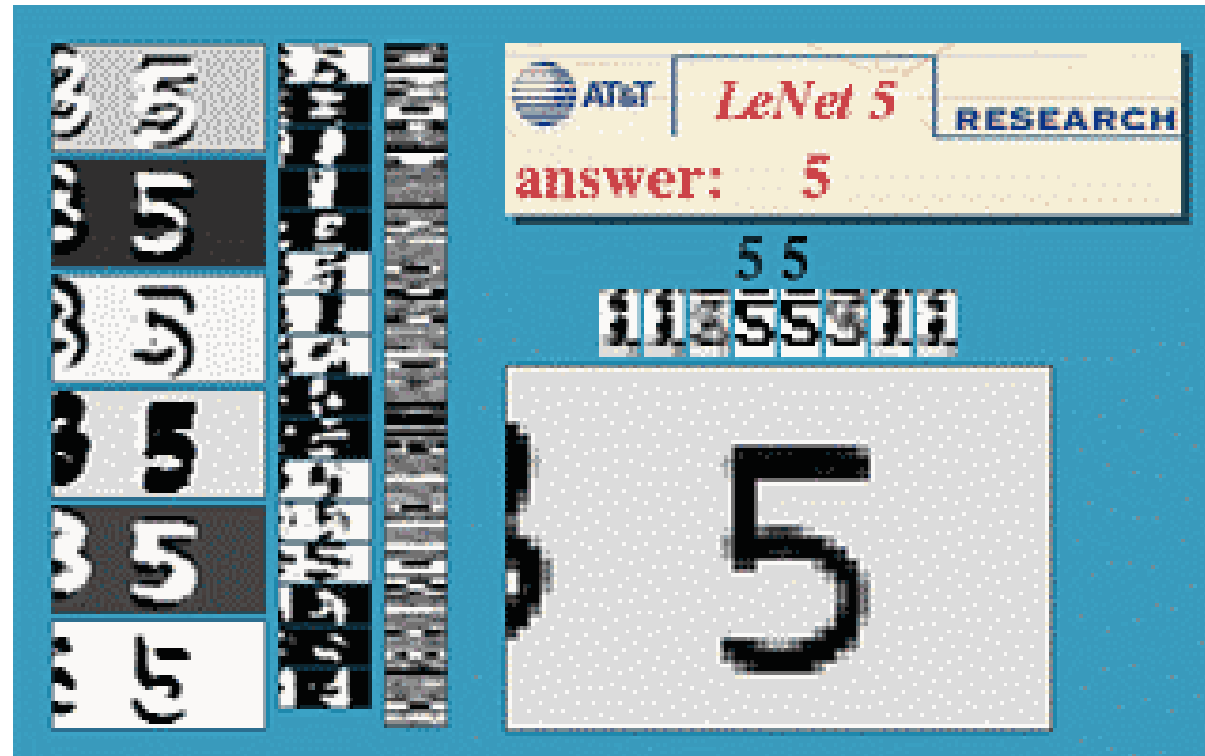
تشخیص چند کاراکتر

۳۴



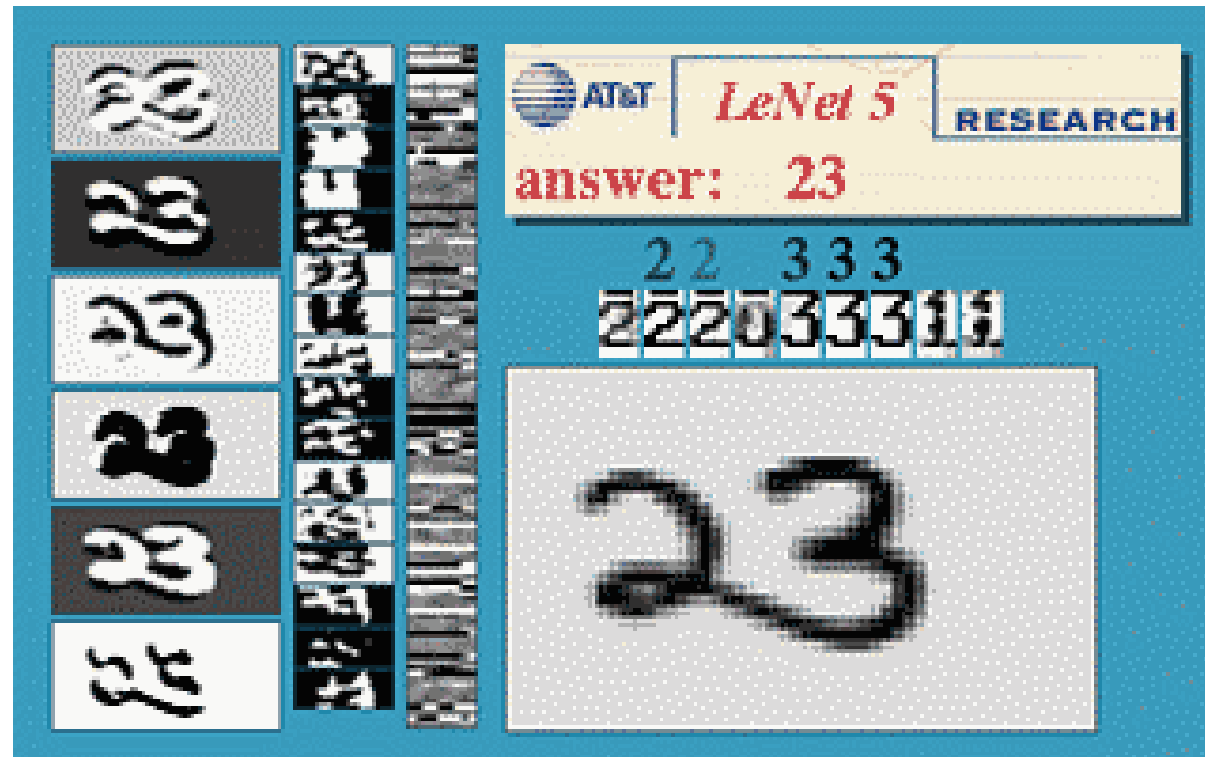
مثال‌های پیچیده‌تر

۳۵



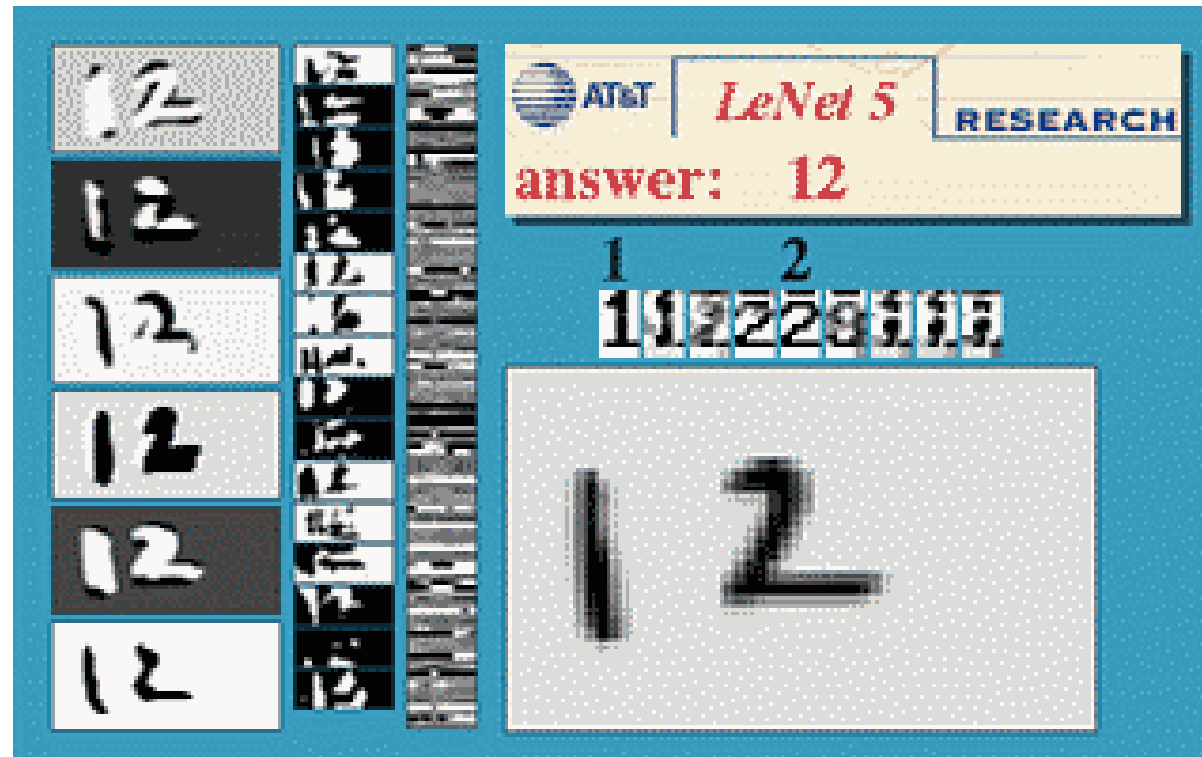
مثال‌های پیچیده‌تر

۳۶



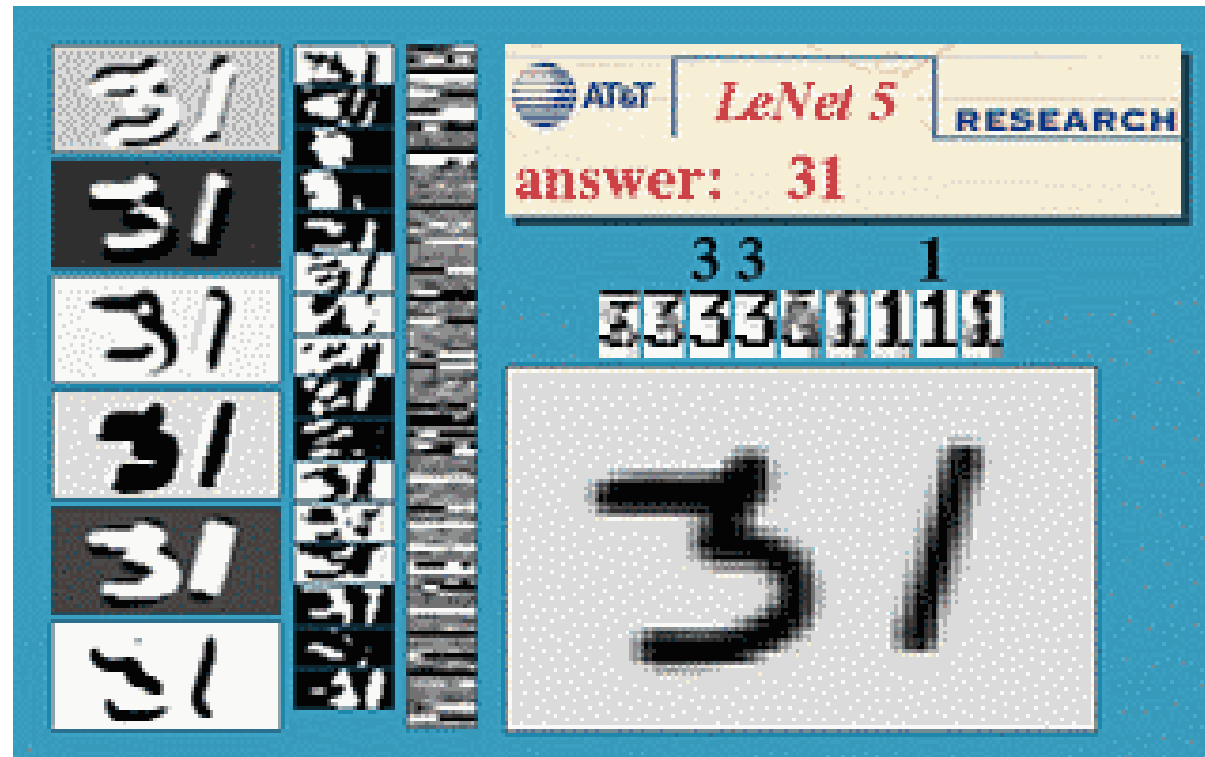
مثال‌های پیچیده‌تر

۳۷



مثال‌های پیچیده‌تر

۳۸



کلاس بندی چند کلاسی

چندین واحد خروجی: یکی در برابر همه

۴۰



رهگذر



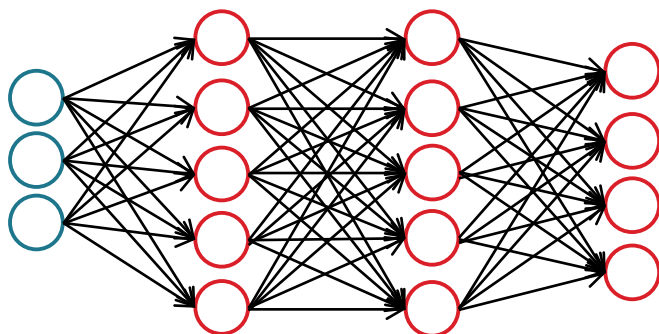
خودرو



موتورسیکلت



کامیون



$$h_{\Theta}(x) \in \mathbb{R}^4$$

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

رهگذر

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

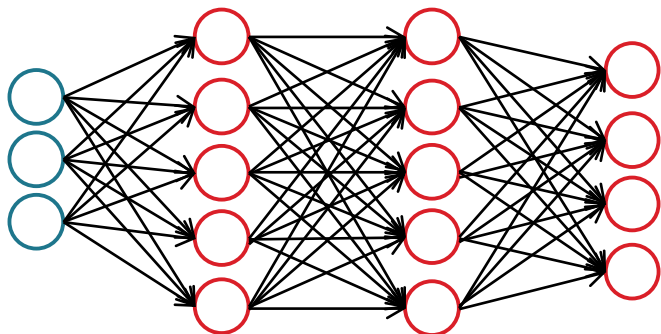
خودرو

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

موتورسیکلت

چندین واحد خروجی: یکی در برابر همه

۴۱



$$h_{\Theta}(x) \in \mathbb{R}^4$$

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

رهگذر

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

خودرو

$$h_{\Theta}(x) \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

موتورسیکلت

مجموعه‌ی آموزشی: $(x^{(1)}, y^{(1)}), (x^{(2)}, y^{(2)}), \dots, (x^{(m)}, y^{(m)})$

$y^{(i)}$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

رهگذر

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

خودرو

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

موتورسیکلت

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

کامیون