

بە نام پەگانە معۇد بىخىنلە مەربان

# مبانی یادگیری ماشین

## Machine Learning Foundations

گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان

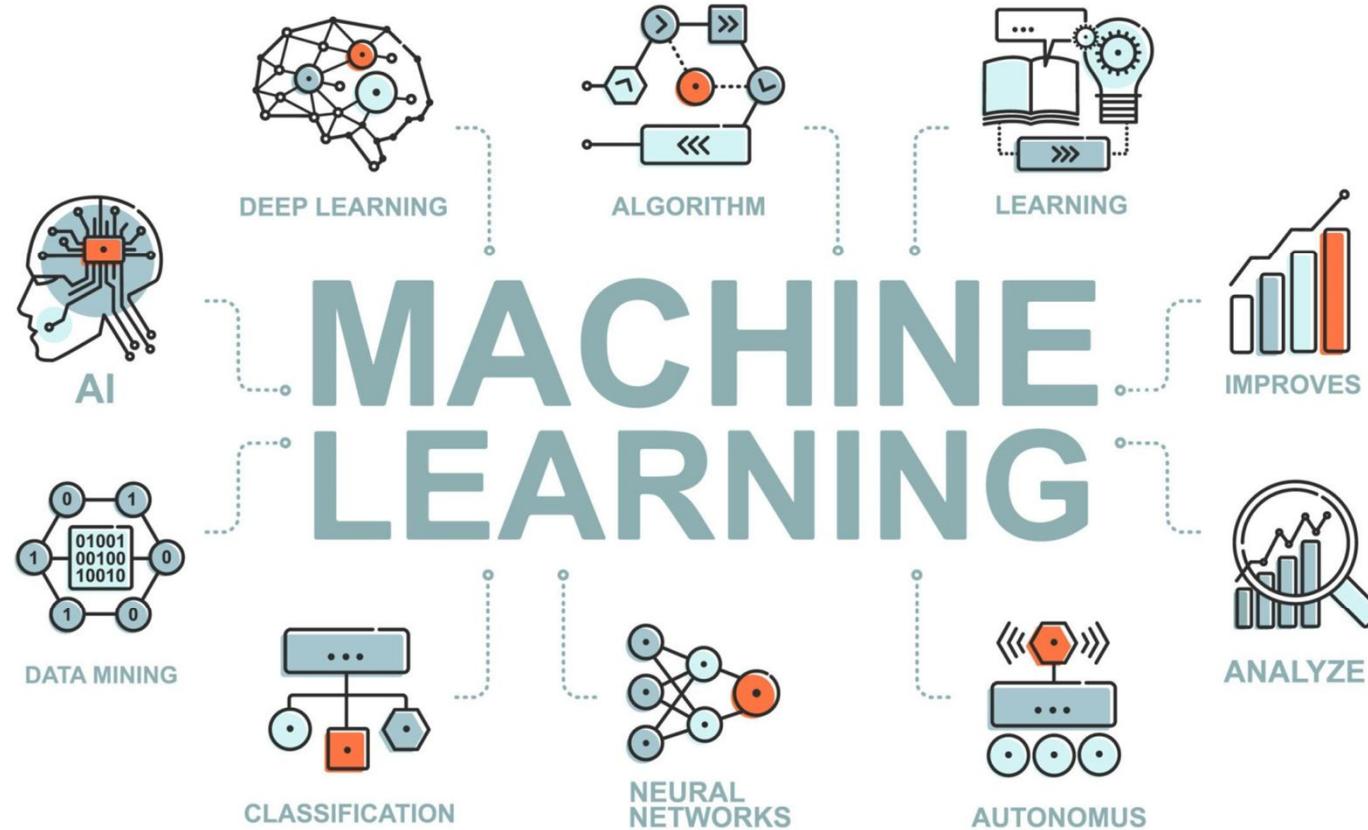
ترم اول سال تحصیلی ۱۴۰۲

ارائه دهنده: پیمان ادبی

مقدمة

# Introduction

# یادگیری ماشین



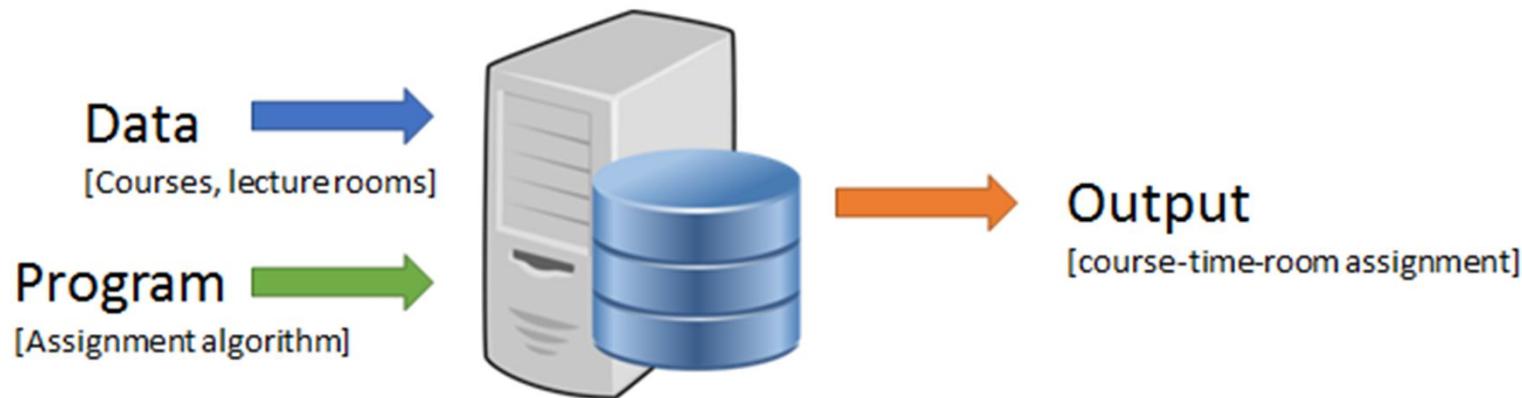
# یادگیری ماشین - معرفی

- یک تعریف کلی (و مبهم)
  - یادگیری ماشین مطالعه الگوریتم‌هایی است که **کارایی** شان را روی برخی **وظایف** با **آزمایش** بهبود می‌دهند

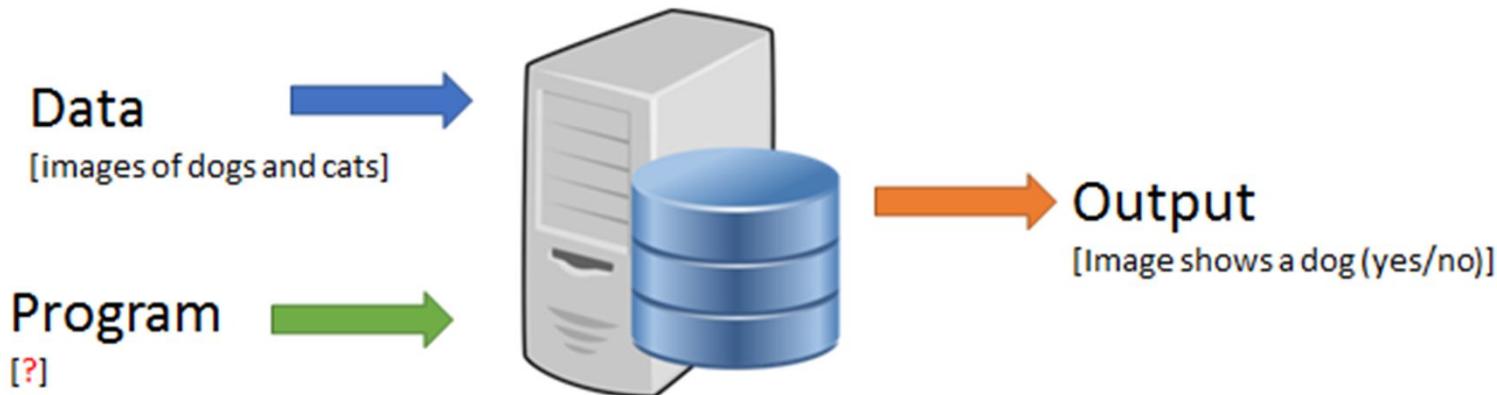


# یادگیری ماشین - معرفی

■ علم کامپیوٹر سنتی

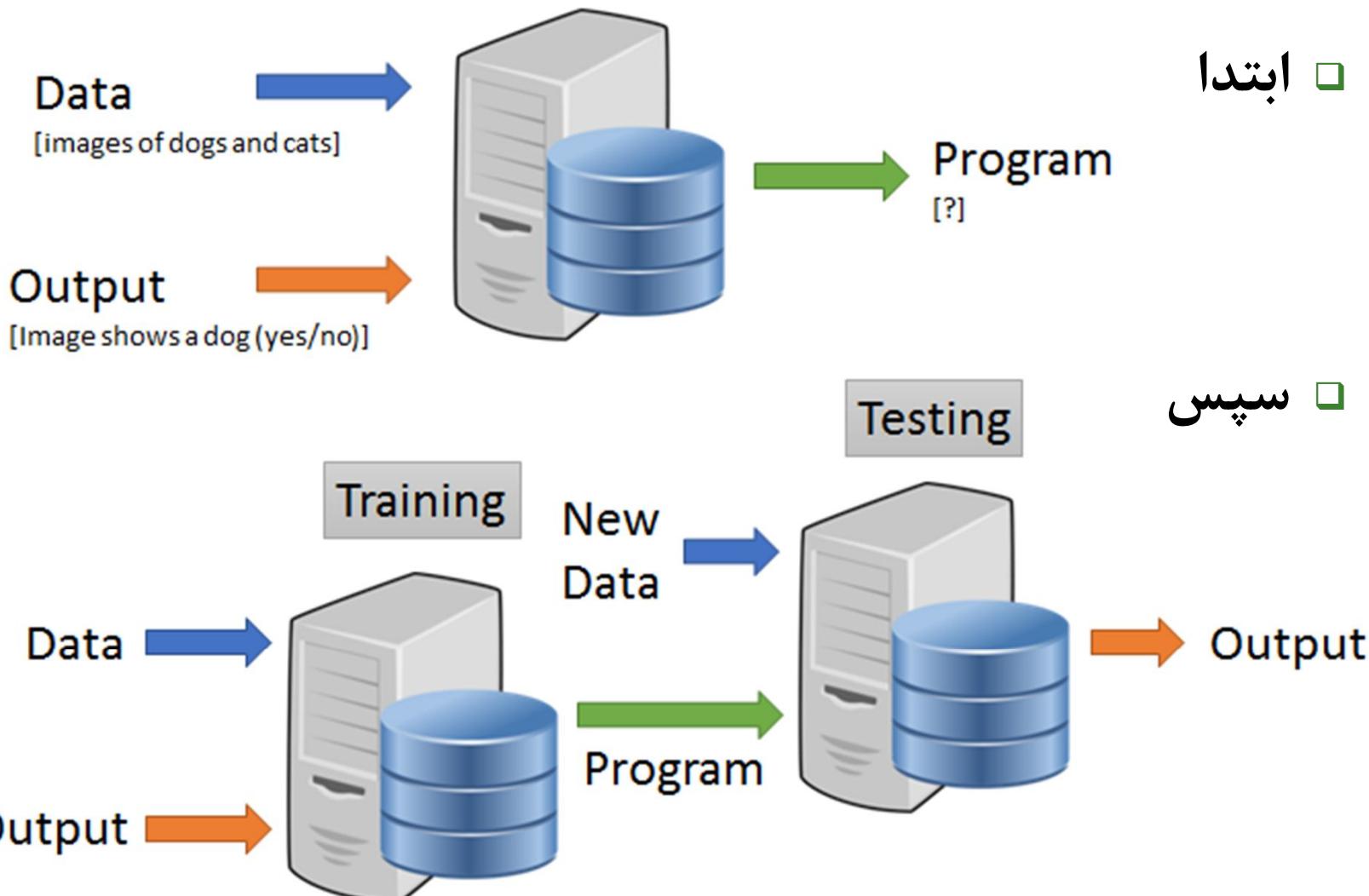


■ مسئلہ جدید

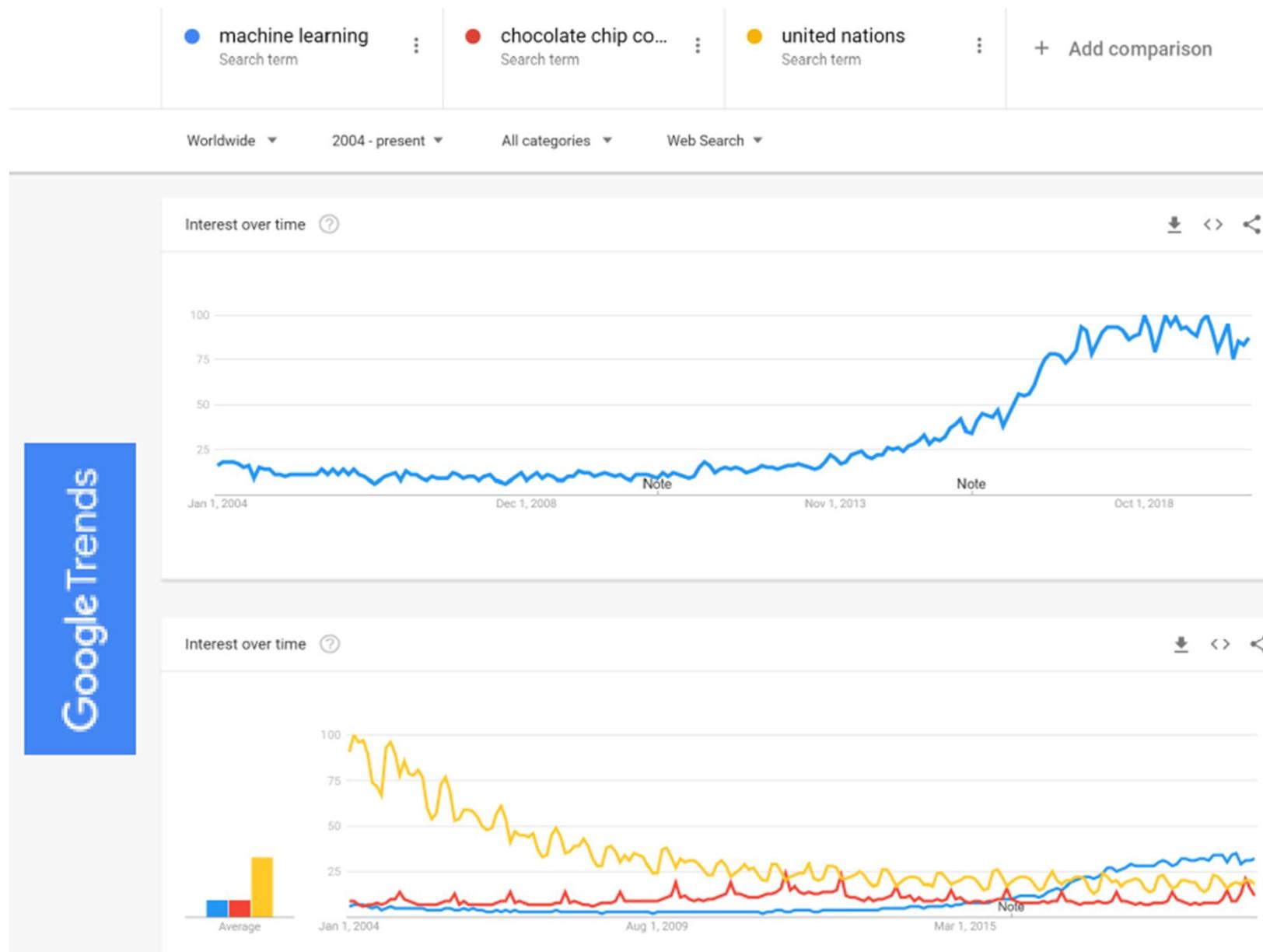


# یادگیری ماشین - معرفی

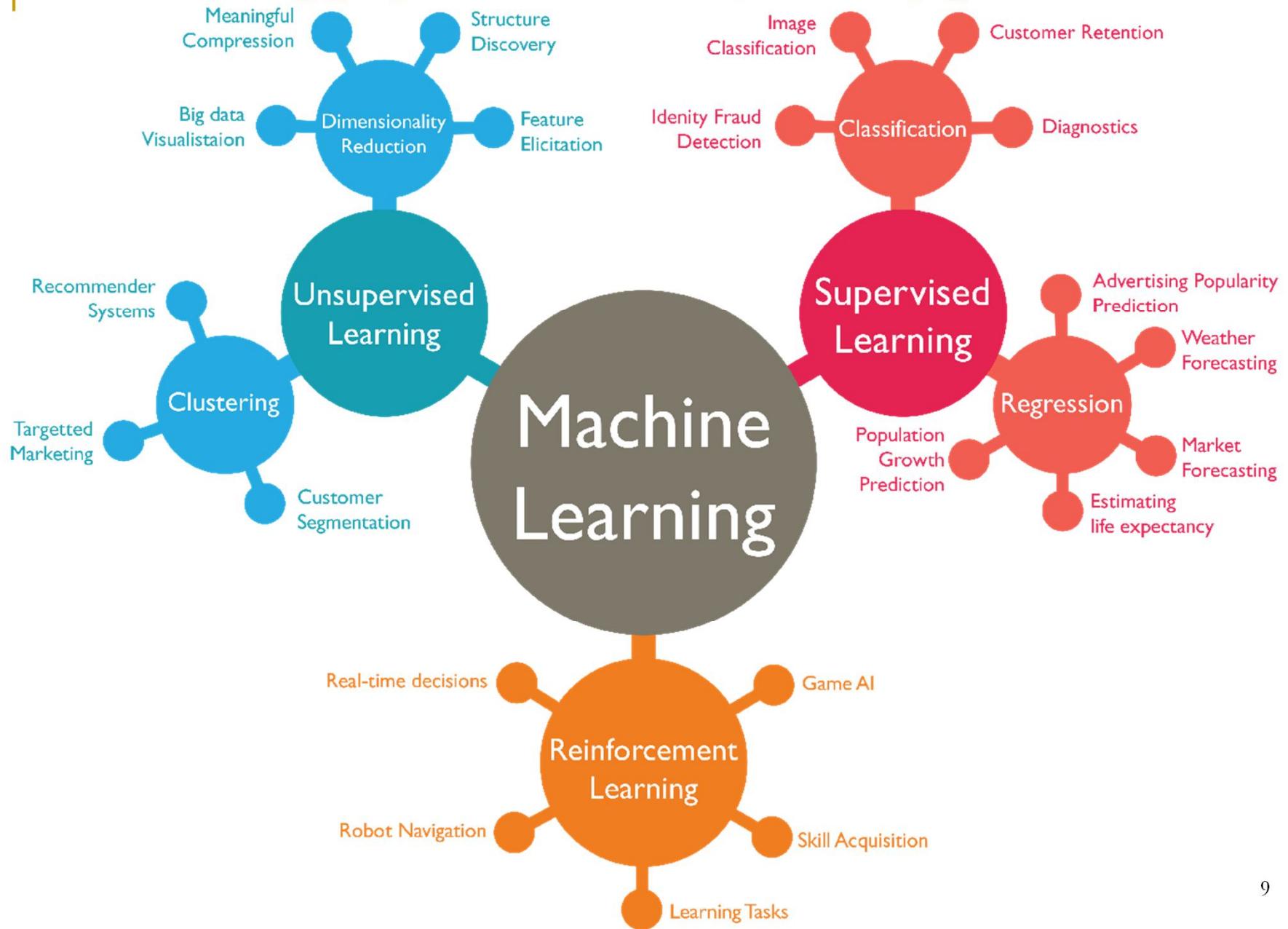
## ■ یادگیری ماشین (یا ناظارت)



# یادگیری ماشین - در حال تغییر دادن دنیا



# یادگیری ماشین - دسته بندی روشها



# یادگیری ماشین - حضور فرآیند

**NETFLIX**

Movie  
Distribution

**Google**  
Adsense  
Advertising

**LinkedIn**  
Networking

**PANDORA**  
Music

**amazon**  
Retail

**Obama'08**  
Campaigning

**glassdoor**  
Human  
Resources

**salesforce**  
CRM

**fitbit**  
Wearables

**Google**  
PageRank  
Search

**Zillow**  
Real Estate

**Microsoft**  
Office  
Productivity  
Software

**Avvo**  
Legal  
Advice

**eHarmony**  
Dating

Disruptive companies  
differentiated by  
**INTELLIGENT**  
**APPLICATIONS**  
using  
Machine Learning

# یادگیری ماشین - حضور فرآگیر



# یادگیری ماشین - حضور فرآگیر



Eddy Dever

@EddyDever

Follow

It's terrifying that both of these things are true at the same time in this world:

- computers drive cars around
- the state of the art test to check that you're not a computer is whether you can successfully identify stop signs in pictures

12:26 AM - 13 May 2018

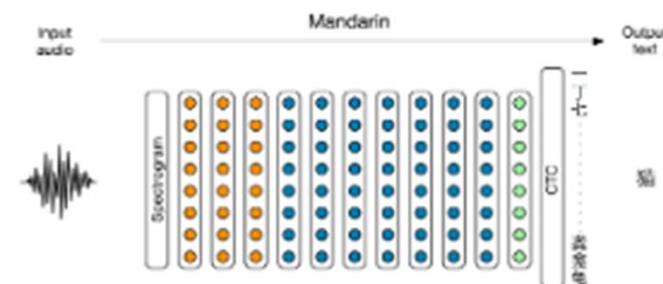
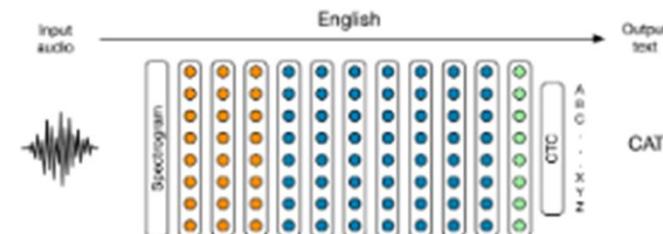
# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

- شناسایی صحبت
- فهم زبان طبیعی
- شناسایی تصاویر
- بازی کردن گیم‌های ویدیویی در حد حرفه‌ای
- حرکت/ناوبری ربات
- رانندگی در یک جاده دارای انحنای
- ترجمه بی‌درنگ صحبت از یک زبان به زبان دیگر
- مطالعه ژنهای و کرموزوم‌های انسان
- ... ■

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ شناسایی صحبت

## Speech-to-Text



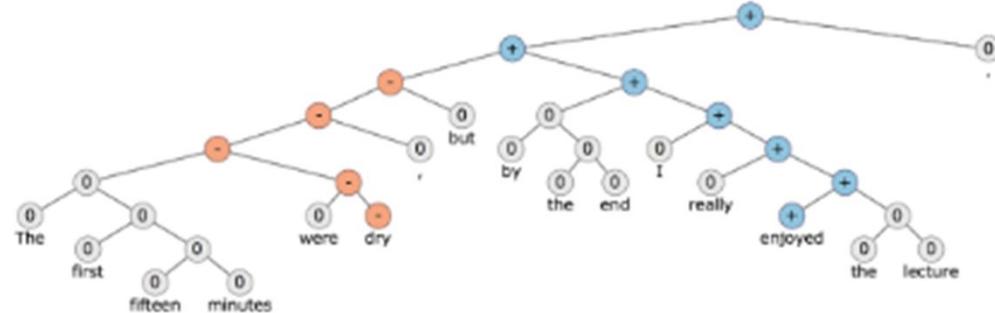
- Orange dot: Convolution Layer
- Blue dot: Recurrent Layer
- Green dot: Fully Connected Layer

[Baidu 2014]

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

پردازش زبان طبیعی ■

## NLP



[Socher 2015]

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ پردازش زبان طبیعی

## NLP

Salit Kulla 11:29 AM \*\*\*  
to me

Hey, Wynton Marsalis is playing this weekend. Do  
you have a preference between Saturday and Sunday?

-S

I'm down for either.  
Let's do Saturday.  
I'm fine with whatever.

←  
Reply      →  
Forward

[Google Inbox Smart Reply]



[Amazon Echo / Alexa]

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ ادراک زبان طبیعی



# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ شناسایی تصویر

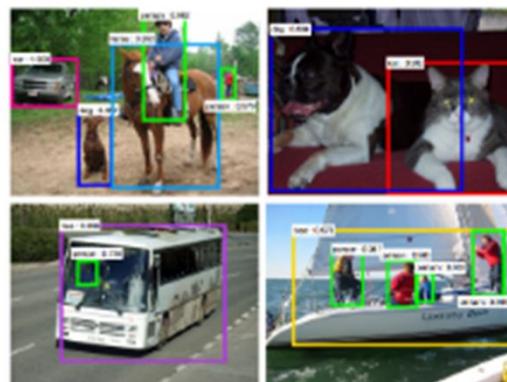
## Vision



[Krizhevsky 2012]



[Ciresan et al. 2013]



[Faster R-CNN - Ren 2015]



[NVIDIA dev blog]

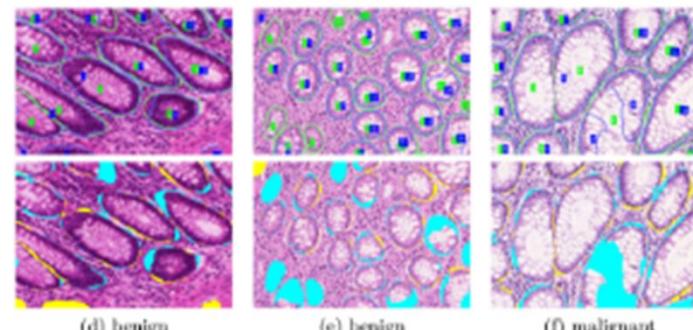
# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

## ■ شناسایی تصویر

### Vision



[Stanford 2017]



[Nvidia Dev Blog 2017]

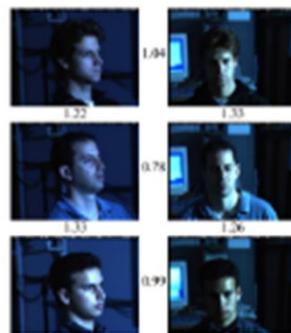


Figure 1. Illumination and Pose Invariance.

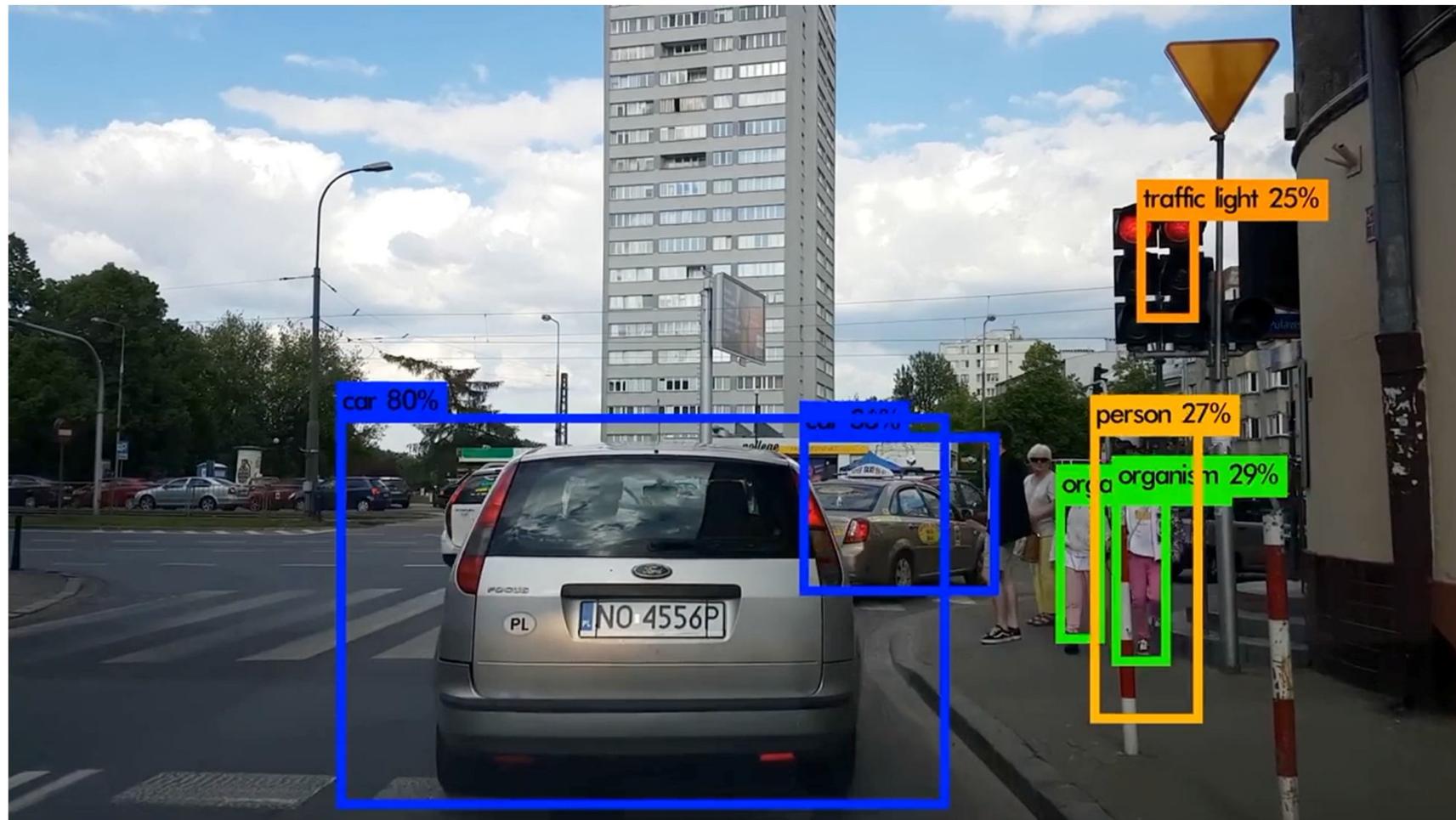
[FaceNet - Google 2015]



[Facial landmark detection CUHK 2014]

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

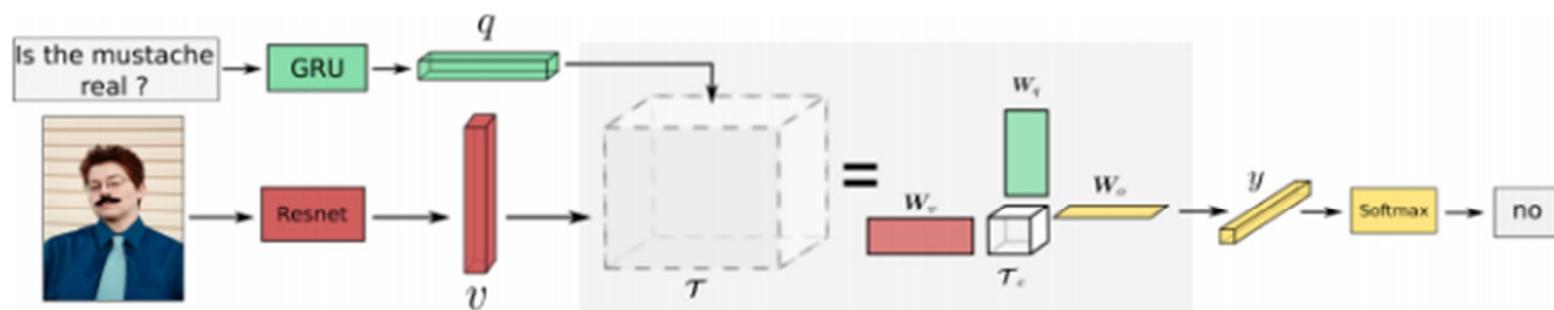
■ شناسایی تصویر



# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ پردازش زبان طبیعی + بینایی = IC , VQA

## Vision + NLP



[VQA - Mutan 2017]



"man in black shirt is playing guitar."



"construction worker in orange safety vest is working on road."



"two young girls are playing with lego toy."



"boy is doing backflip on wakeboard."

آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ حرکت ربات

This is Google's DeepMind AI  
teaching itself how to walk

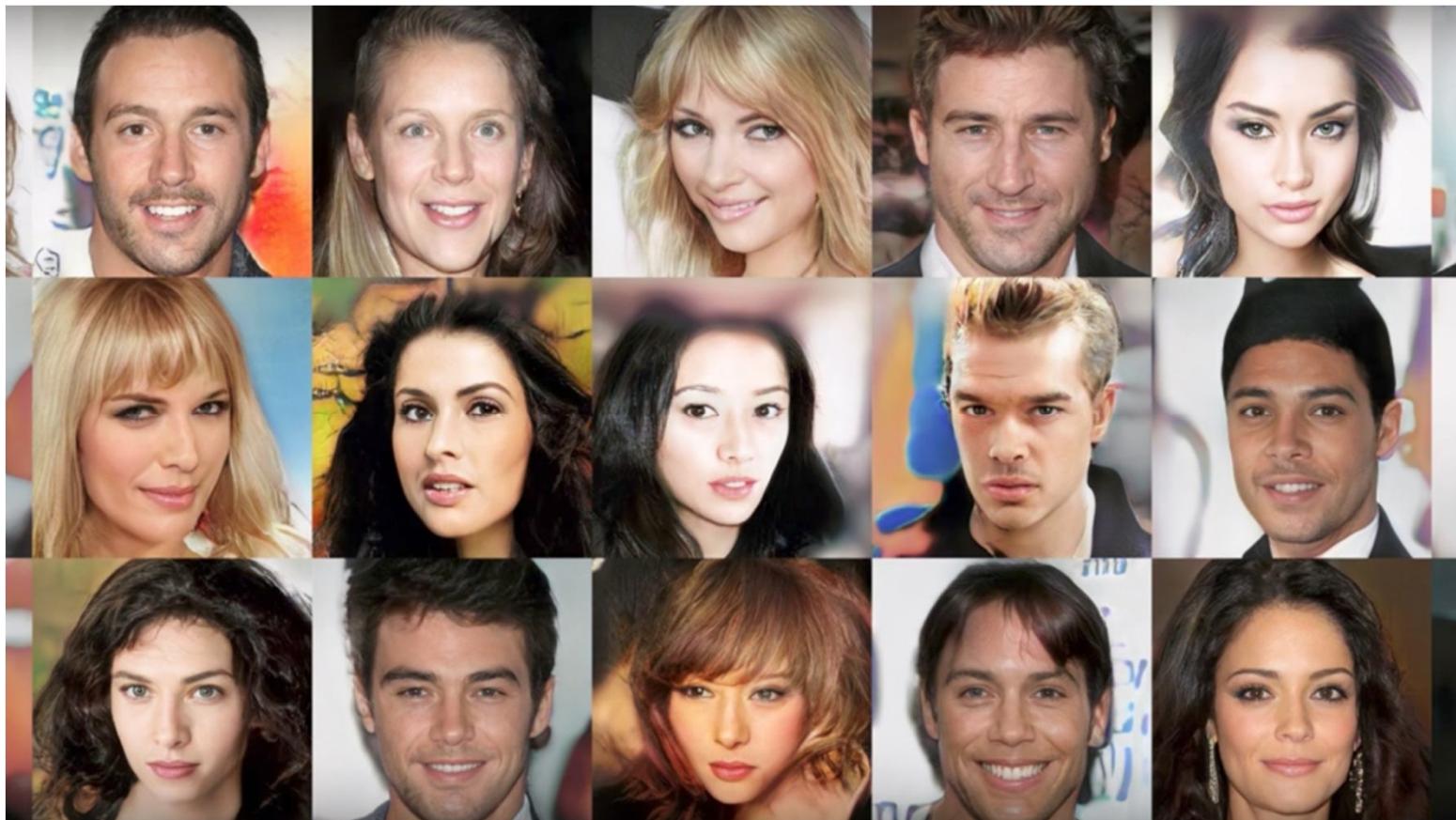


Maybe it knows  
something we don't!

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ مدل‌های تولیدی

□ نمونه برداری از GAN آموزش دیده با تصاویر افراد مشهور



# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

## ■ مدل‌های تولیدی

□ تبدیل متن به تصویر توسط شبکه تولیدی آموزش دیده با داده مربوط به پرندگان از این دو ماهیت

Text description	This bird is blue with white and has a very short beak	This bird has wings that are brown and has a yellow belly	A white bird with a black crown and yellow beak	This bird is white, black, and brown in color, with a brown beak	The bird has small beak, with reddish brown crown and gray belly	This is a small, black bird with a white breast and white on the wingbars.	This bird is white black and yellow in color, with a short black beak
Stage-I images							
Stage-II images							

StackGAN v2 [Zhang 2017]

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

- رانندگی در یک جاده دارای انحنای



# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

■ رانندگی در یک جاده دارای انحنای

## Exploration Episode #1

The control policy is initialised with random parameters.

During training, the car explores with random actions.

When the algorithm makes a mistake, the safety driver intervenes.

## Exploration Episode #2

The algorithm gets rewarded for distance travelled before intervention.

While the driver resets the car we optimise the policy.

All optimisation is done on-board the car.

## 8x Speed - Exploration Episode #3

## Evaluation Episode #1

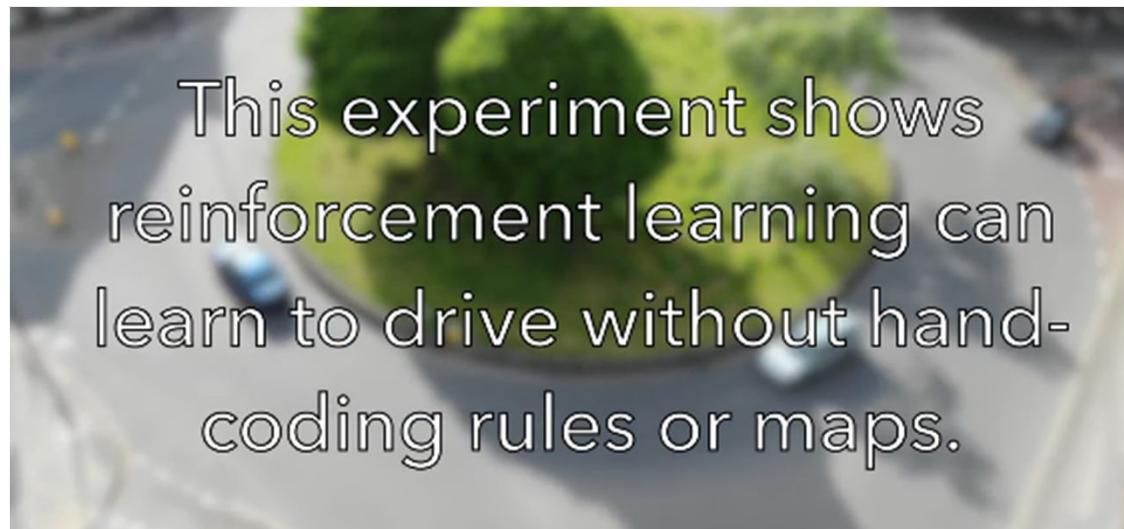
After four training episodes, the model is yet to learn to drive.

Test 1 reward was 9.8 meters.

This experiment was repeated with different weather.

# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

- رانندگی در یک جاده دارای انحنای



# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

## ■ ترجمه بی‌درنگ صحبت از یک زبان به زبان دیگر

百度在18年前，创业赶上了互联网的浪潮，2000年当时中国只有1000万互联网用户，今天，中国的互联网用户已经超过8亿了。AI，对于社会的影响，将远远超过互联网，过去的20年，我们都感受到了互联网所带来的变化，接下来的几十年，我们将体验到AI给社会所带来的更加深远的影响。

Baidu started a business 18 years ago and caught up with the Internet. In 2000, there were only 10 million Internet users in China. Today, internet users in China are over 800 million. The impact of AI on society, will be far more than the Internet, over the past 20 years, we all feel the Internet brings convenience to us. In the next few decades, we'll experience AI's impact on society more deeply.

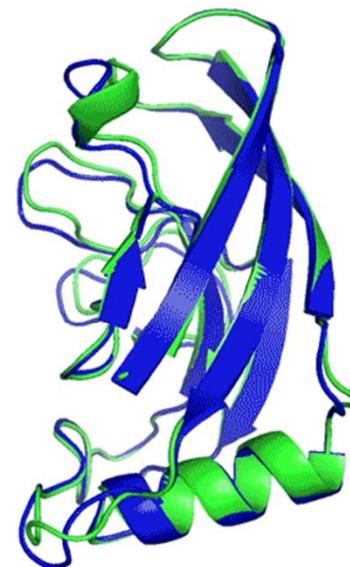


# آنچه یادگیری ماشین می‌تواند انجام دهد

## ■ مطالعه ژنها و کرموزوم‌های انسان



T1037 / 6vr4  
90.7 GDT  
(RNA polymerase domain)



T1049 / 6y4f  
93.3 GDT  
(adhesin tip)

[AlphaFold by DeepMind](#)

[Deep Genomics 2017]

- Experimental result
- Computational prediction

# آنچه یادگیری ماشین نمی‌تواند انجام دهد (تا ۲۰۲۱)

- مکالمه موفق با یک فرد دیگر به مدت یک ساعت
- رانندگی مطمئن و مسئولانه
- توصیه برای درمان سرطان
- تصمیم منصفانه بودن تصمیم‌ها
- بازی فوتبال در سطح انسان
- نوشتن یک داستان کمدی
- ... ■

## یادگیری عمیق چیست؟

- شبکه های عصبی با تعداد لایه ها / مازول های بیشتر
- بازنمایی داده غیرخطی، سلسله مراتبی، و انتزاعی
- مدل های انعطاف پذیر با هر نوع و اندازه ورودی / خروجی
- برنامه ریزی تابعی مشتق پذیر

# تکنیک های ML: درونمایه های اصلی AI امروزی

هوش مصنوعی یک شاخه پر طرفدار در علم کامپیوتر است که به ساخت ماشین های هوشمند که بتوانند وظایف هوشمندانه را به انجام برسانند می پردازد.

با پیشرفت های سریع در **یادگیری عمیق** و **یادگیری ماشین**، فناوری در صنعت به شدت دستخوش تحول می شود



# تکنیک های ML: درونمایه های اصلی AI امروزی

**یادگیری ماشین:** یک نوع از AI است که ماشینها را قادر به یادگیری از نمونه داده ها کرده و مدل های پیش گو به دست می آورد.



**یادگیری عمیق:** یک زیر شاخه از یادگیری ماشین است که با الهام از مغز پردازش داده را از طریق لایه های متوالی پر تعداد در راستای دستیابی به دانش انتزاعی (معمولًاً در قالب شبکه های عصبی مصنوعی) به انجام میرساند.

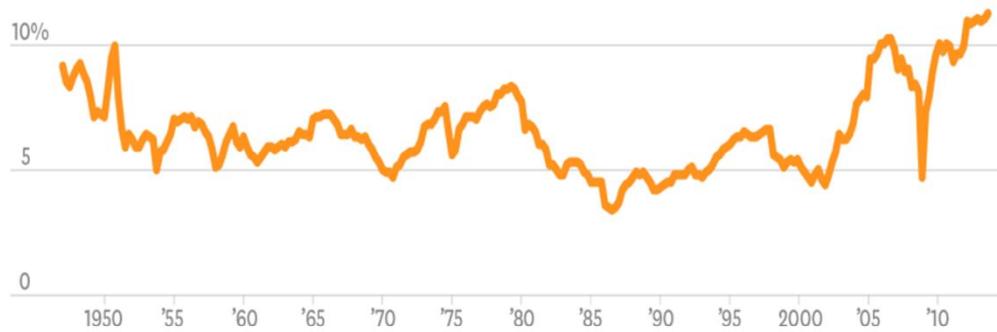


# AI/ML باید به همه سود برسانند

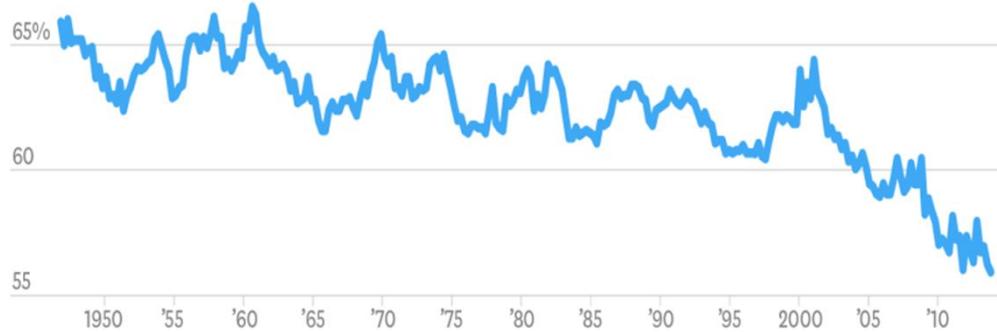
## As Profits Climb, Wages Plummet

In the U.S., corporate profits were rising before the 2008 recession and quickly recovered from it. In contrast, labor's share of GDP, which was healthy for many decades, has fallen sharply since 2000.

CORPORATE PROFITS AS A PERCENTAGE OF GDP



WAGES AS A PERCENTAGE OF GDP



SOURCE FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS; ERIK BRYNJOLFSSON AND ANDREW MCAFEE FROM "THE GREAT DECOUPLING," JUNE 2015

© HBR.ORG

اما اینطور نیست!

■ شرکت ها به واسطه افزایش بهره وری شان، بیشتر منافع را درو میکنند.

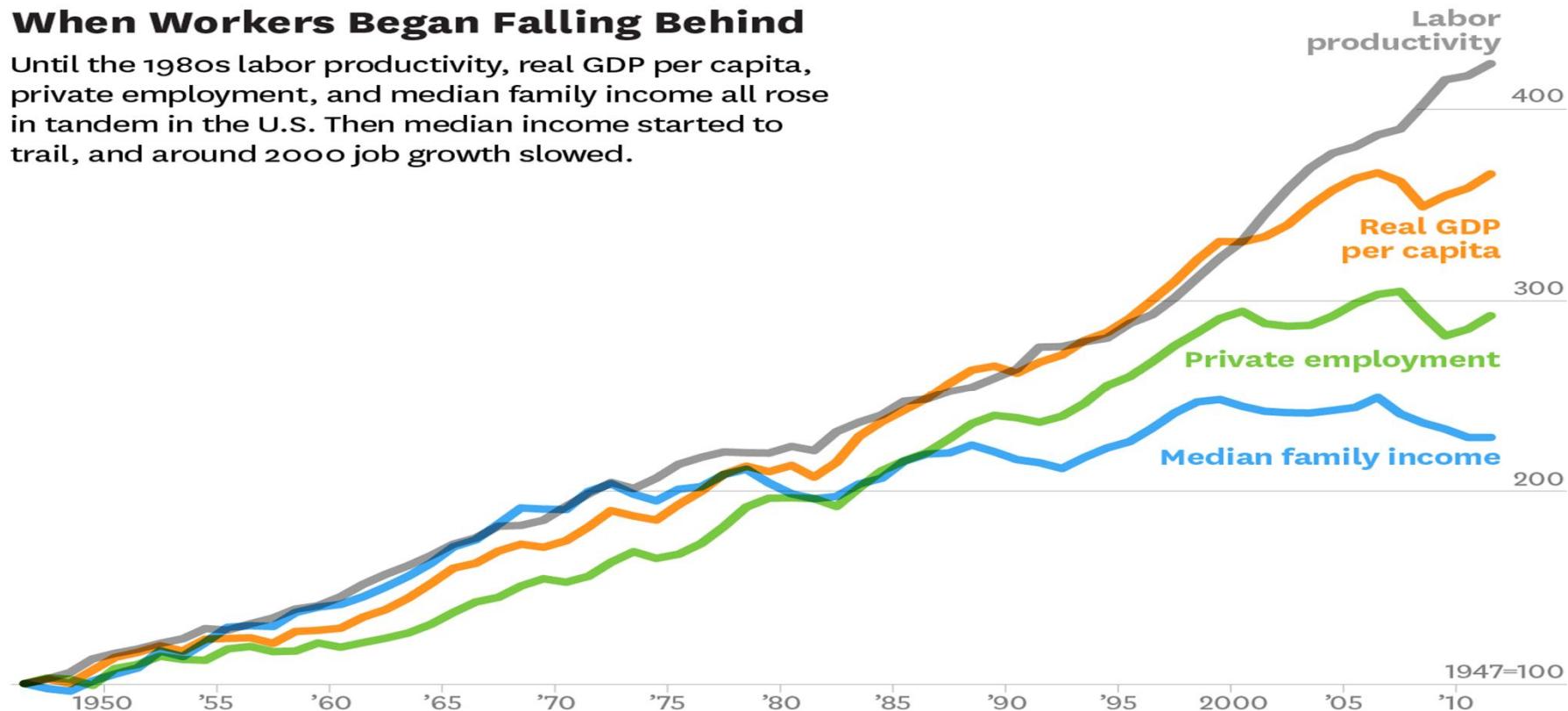
■ آیا میتوان /باید این مسئله را اصلاح کرد؟

# AI/ML باید به همه سود برسانند

- از ۱۹۸۰: کاهش میانه درآمد خانواده‌ها در امریکا
- از ۲۰۰۰: کند شدن رشد اشتغال و سرانه تولید ناخالص داخلی
- همواره: افزایش (رشد) بهره وری نیروی کار!

## When Workers Began Falling Behind

Until the 1980s labor productivity, real GDP per capita, private employment, and median family income all rose in tandem in the U.S. Then median income started to trail, and around 2000 job growth slowed.



SOURCE FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS; ERIK BRYNJOLFSSON AND ANDREW MCAFEE  
FROM "THE GREAT DECOUPLING," JUNE 2015

© HBR.ORG

# مژور درس

## یادگیری با ناظارت

- رگرسیون خطی، تنظیم، دسته بندی خطی، مدل های غیرخطی
- رگرسیون منطقی، نزول در راستای گرادیان، نزدیکترین همسایه ها
- درخت تصمیم / رگرسیون، ماشین بردار پشتیبان، ترفندهای هسته
- مدل بیز ساده، پرسپترون

## یادگیری بی ناظارت

- شبکه های بیزی، خوش بندی، استخراج ویژگی، بیشترین شباهت، بیشترین پسین، کاهش بعد، ترکیب گاسی ها

## یادگیری تقویتی

- فرآیند تصمیم مارکف، یادگیری بدون مدل

## مدل های جمعی

- ترکیب خبره ها، تجمعی، تقویت

# مژور درس

- شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق
  - پرسپترون چندلایه، پس انتشار خطا
  - شبکه‌های پیچشی، شبکه‌های بازگشتی، یادگیری عمیق هندسی، مدل‌های تولیدی، استنتاج تغییراتی، توضیح پذیری، بهینه سازی

# نحوه ارزیابی

■ آزمون میان ترم: % ۲۵

■ آزمون پایان ترم: % ۵۰

■ تکالیف: % ۱۵

■ پروژه: % ۱۰

## برخی منابع

- [1] C. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, 2006.
- [2] I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, deep Learning, 2016.
- [3] H. daume III, A Course in Machine Learning, 2017.
- [4] K. Murphy, Machine Learning: A Probabilistic Perspective, 2012.
- [5] M. Mohri, A. Rostamizadeh, A. Talwalkar, Foundations of Machine Learning, 2012.

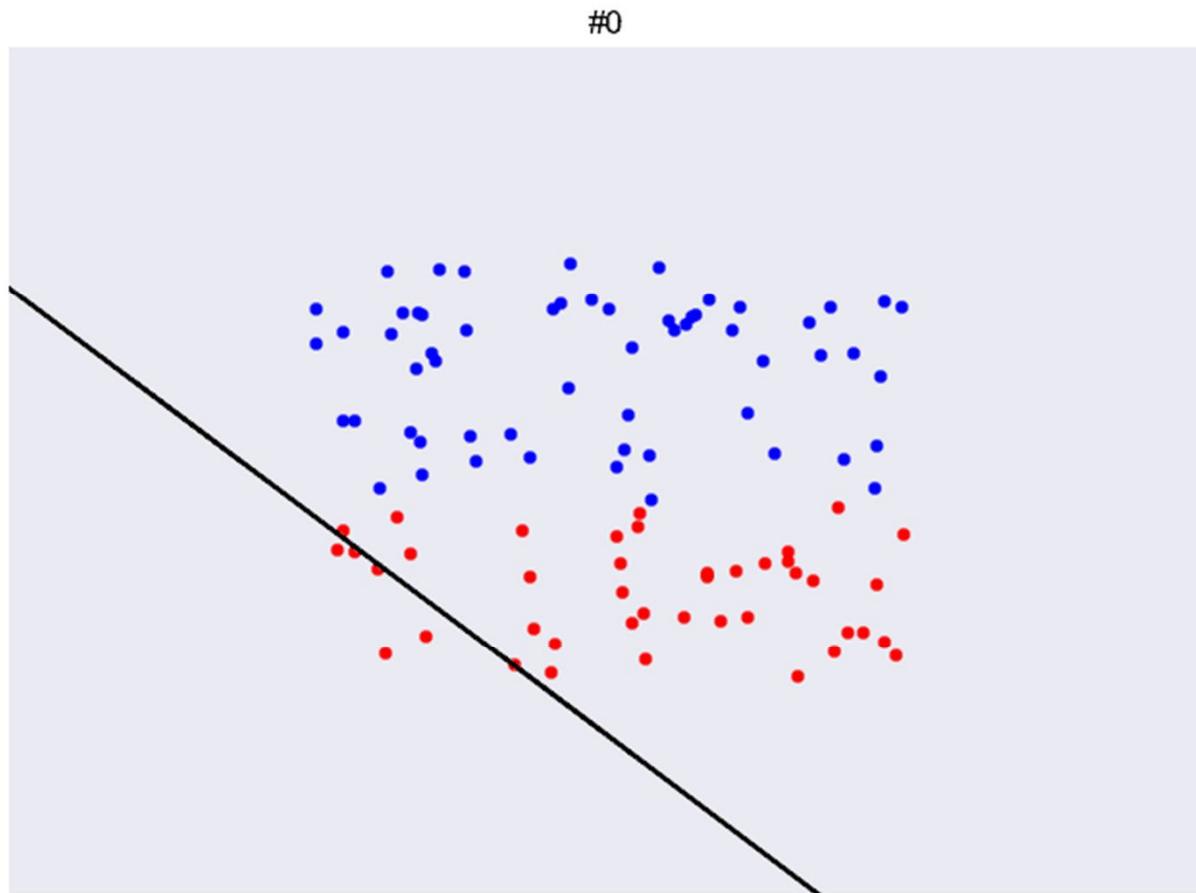
## برخی منابع

- [6] S. Shalev-Shwartz, S. Ben-david, Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms, 2014.
- [7] S. Marsland, Machine Learning: An Algorithmic Perspective, 2nd Edition, 2015.

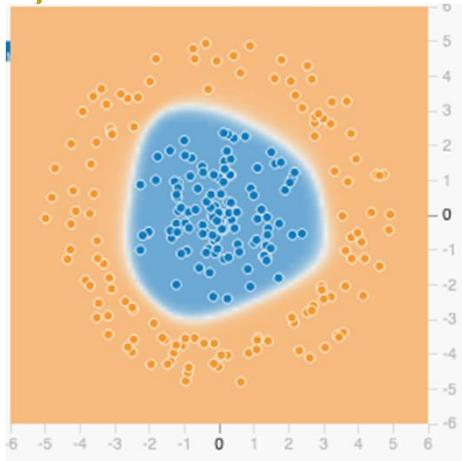
# مثال یادگیری (دسته بندی خطی)

- Data:
  - [x=2D point, y=color]
- hypothesis(x):
  - If  $x[2] > w_1 + w_2x[1]$ 
    - Return 'blue'
  - Else return 'red'
- Challenge:
  - Find best  $w$  assignment

# مثال یادگیری (دسته بندی خطی)



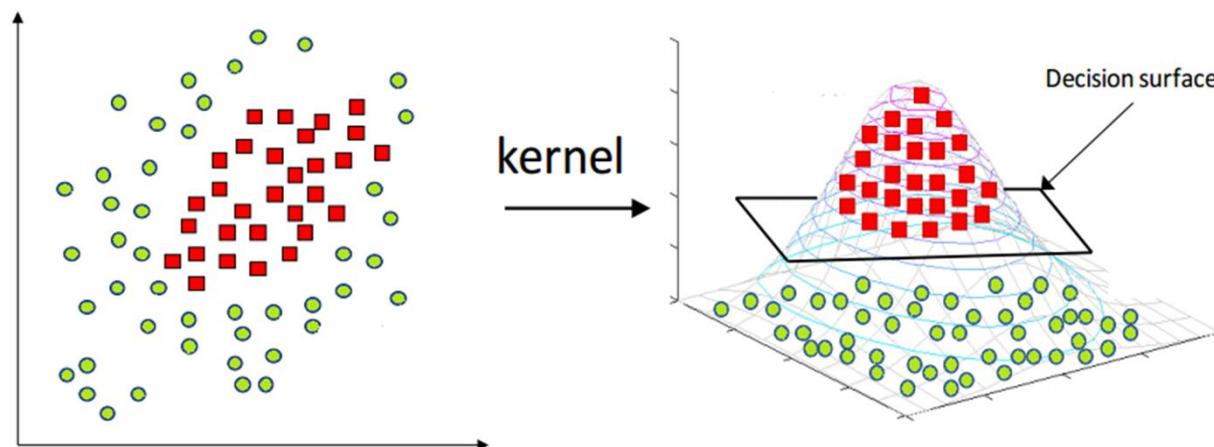
# توسعه رویکرد خطی



■ در حالتی که داده جدایی پذیر خطی نباشد چی؟

■ دو رهیافت متداوول

- برازش یک تابع غیر خطی  $\leftarrow$  شبکه های عصبی، KNN، بیز ساده
- خم کردن فضای حالت (ورودی، ویژگی) بگونه ای که جدایی پذیری خطی را اجازه دهد  $\leftarrow$  ترفند هسته



# نمادگذاری عمومی

$D = \{(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)\}$ $\subseteq \mathbb{R}^d \times C$	The dataset. $x$ is a feature vector from $\mathbb{R}^d$ and $y$ is the label from $C$ .
$(x_i, y_i) \sim P$	The distribution from which the data is drawn (unknown). Unless designated otherwise we will assume that samples are IID ( <i>independent and identically distributed</i> )
$C = \{0, 1\}$	Binary classification
$C = \{1, \dots, k\}, \quad k > 2$	Multiclass classification
$C = \mathbb{R}$	Regression

- مجموعه داده  $(D)$ , بردار ویژگی  $(x)$ , بعد فضای ویژگی  $(d)$ ,
- بردار ویژگی  $(y)$ , توزیع داده  $(P)$ , نمونه داده های iid
- دسته بند دودویی، دسته بند چند دسته ای، رگرسیون

# بردار ویژگی

- بردار ویژگی ( $x \in \mathbb{R}^d$ ) میتواند خیلی بزرگ باشد ( $d \uparrow$ )  
**(مثل رکورد نمرات یک دانشجو)**
- سخت افزارهای فعلی میتوانند بردارهای ویژگی خیلی بزرگ را پردازش و با آنها به طور مؤثر کار کنند.
- مثلاً بعد بردار ویژگی یک تصویر  $8$  مگاپیکسلی که هر پیکسل آن سه ویژگی (R,G,B) دارد  $\leftarrow d = 24M$
- بردار ویژگی **چگال** (dense)
  - تعداد درایه های غیر صفر  $x$  نسبت به  $d$  بزرگ است
- بردار ویژگی **تنک** (sparse)
  - بیشتر درایه های  $x$  صفر هستند

# فرضیه مدل

یک فرضیه دسته بندی ویژگی ها را به برچسب ها نگاشت ■

$$h: \mathbb{R}^d \mapsto C$$

هدف معمولاً \* یافتن فرضیه  $h$  است به نحوی که ■

$$\forall x, h(x) = \arg \max_y P(y|x)$$

آیا همیشه چنین فرضیه ای وجود دارد؟ ■

خیر! محدود به فرضیات مدل هستیم □

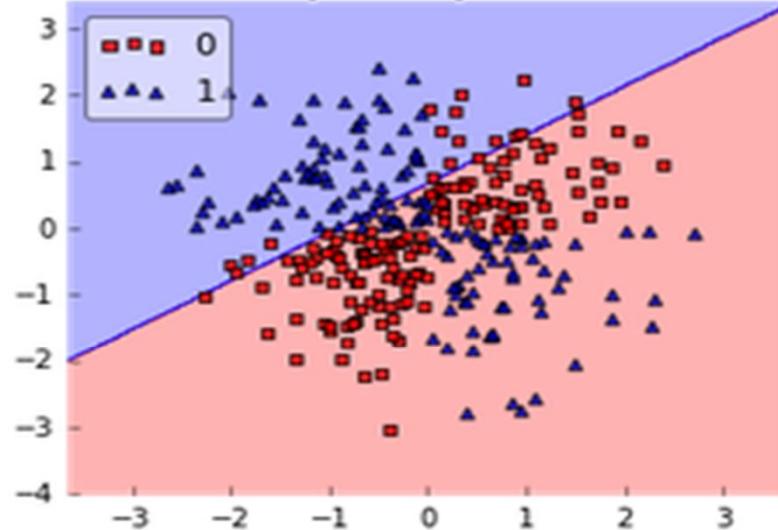
مثلاً یک مدل خطی نمیتواند یک توزیع XOR را نمایندگی کند □

مدل های دیگر میتوانند انعطاف پذیرتر باشند، اما همچنان محدود هستند □

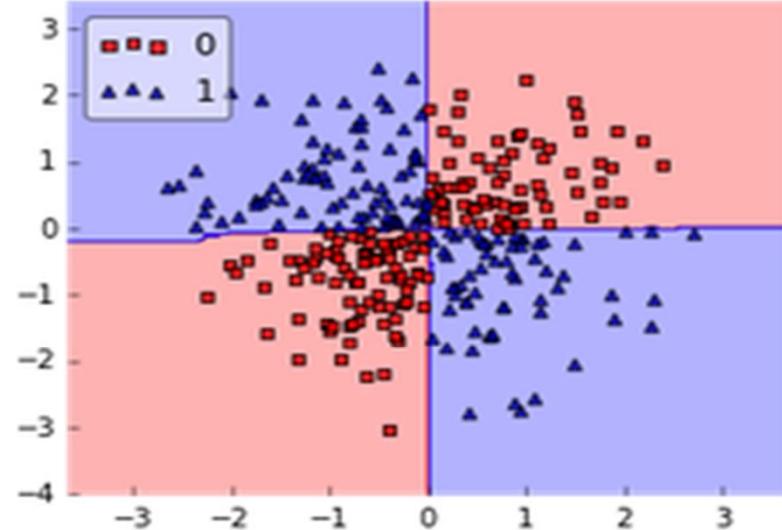
\* استثنائاتی چون کشف ناهنجاری (anomaly detection) نیز وجود دارد

# فرضیه مدل

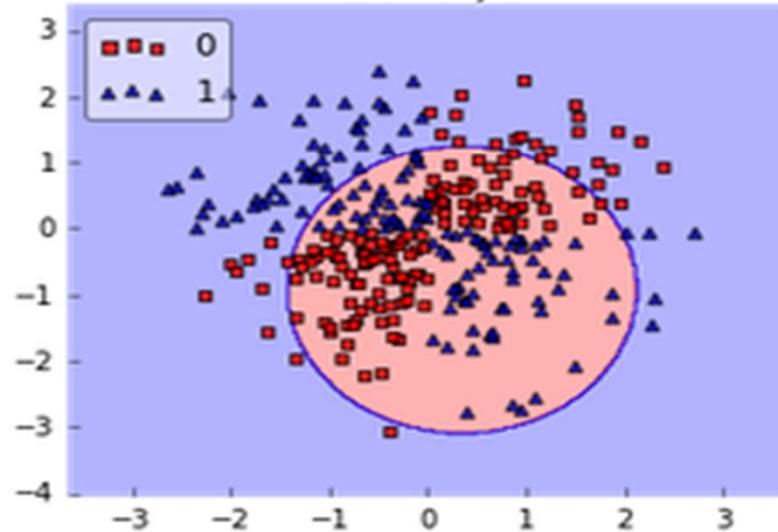
Logistic Regression



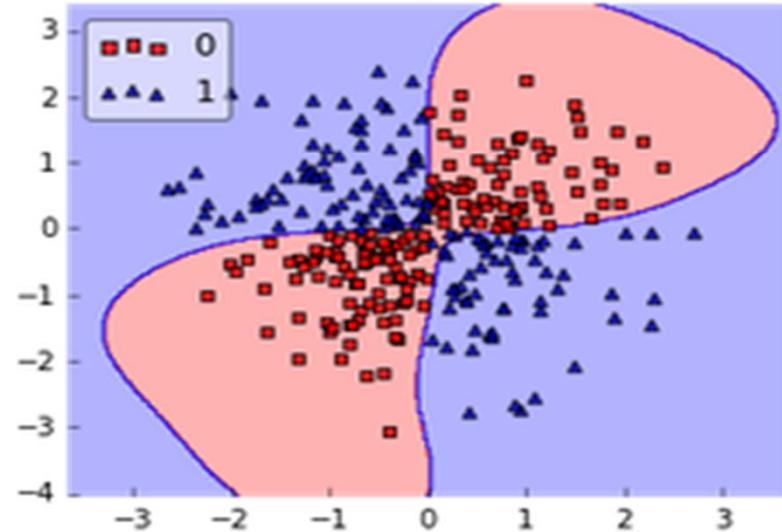
Random Forest



Naive Bayes



SVM



# فرضیه مدل

- $\mathcal{H}$ : مجموعه تمام فرضیه های ممکن
- تمرین: برای داده زیر مقدار  $|\mathcal{H}|$  چیست?
  - $x \in \{1,2\} \times \{a,b,c\}$
  - $y \in \{$,$,*$\}$
- هدف: کمینه سازی **خطای متوسط (expected error)** مدل
  - $$\arg \min_{h \in \mathcal{H}} E_{P(x,y)}[\text{error}(h(x), y)] =$$
$$\arg \min_{h \in \mathcal{H}} \sum_{x,y} P(x,y) \text{error}(h(x), y)$$
  - دو مسئله
- تکرار روی  $|Y|^{|X|}$  جایگشت میتواند غیرعملی بوده، و حتی در صورت عملی بودن، توزیع  $P(x,y)$  موجود نیست.
- چگونه  $\text{error}(h(x), y)$  تعریف شود?

# کمینه سازی خطای متوسط مدل

$$\arg \min_{h \in \mathcal{H}} \sum_{x,y} P(x,y) \text{error}(h(x),y)$$

■ **مسئله ۱:** تکرار روی  $|Y|^{|\mathcal{X}|}$  جایگشت میتواند غیرعملی بوده، و حتی در صورت عملی بودن، توزیع  $P(x,y)$  موجود نیست.

■ **یک راه حل:**

□ بنابر (۱) تعریف امید ریاضی و (۲) قانون اعداد بزرگ:

$$\sum_i P(x_i)x_i = E_{x \sim P}[x] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad x_i \sim P$$

□ در نتیجه با داشتن تعداد کافی نمونه  $(x, y)$  که از توزیع  $P$  آمده:

$$\sum_{x,y} P(x,y) \text{error}(h(x),y) \approx \text{mean}_D \text{error}(h(x),y)$$

# فرضیه مدل

■ **مسئله ۲:** چگونه  $error(h(x), y)$  تعریف شود؟

- وقتی یادگیری ماشین به عنوان یک مسئله بهینه سازی تعریف میشود، تخمین خطای اتلاف (loss) مینامیم که روی یک مجموعه از نمونه داده ها با استفاده از یک تابع اتلاف ( $l$ ) حساب میشود
- بسته به مسئله انتخاب های زیادی وجود دارد
- مثلا برای دسته بندی دو دسته ای:

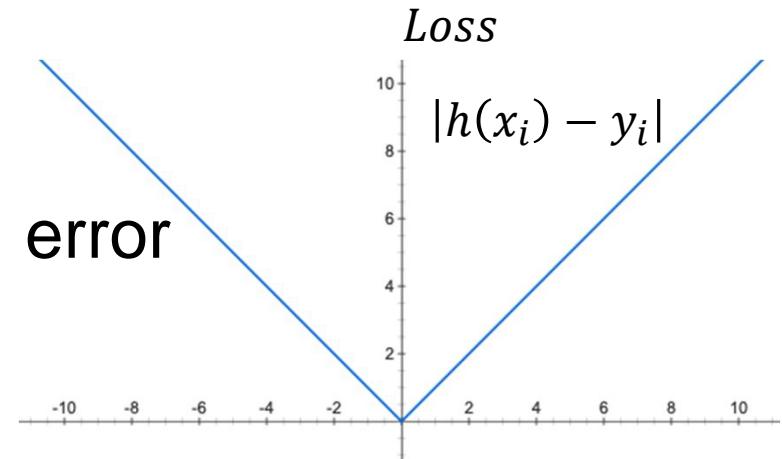
$$\text{Binary loss: } l(h, D) = \frac{1}{|D|} \sum_i \begin{cases} 0 & h(x_i) = y_i \\ 1 & h(x_i) \neq y_i \end{cases}$$

# مثال هایی از تابع اتلاف

## Regression

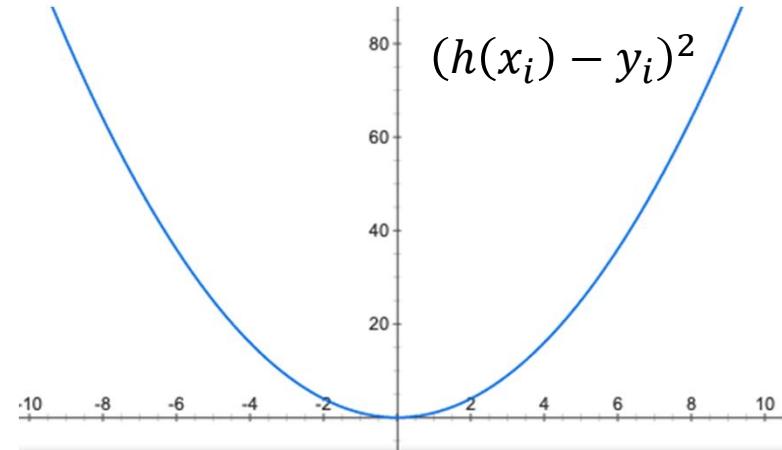
- Absolute error, Mean-absolute error (MAE), l1 loss

- $$l(h, D) = \frac{1}{|D|} \sum_i |h(x_i) - y_i|$$



- Squared loss, Mean-squared error (MSE), l2 loss

- $$l(h, D) = \frac{1}{|D|} \sum_i (h(x_i) - y_i)^2$$



- Pros/Cons?  
(Differentiability, outliers)

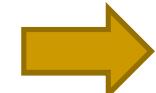
l2

l1

# مثال هایی از تابع اتلاف

- $l_1$  loss?
- $l_2$  loss?

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1 = 2 \\ \hat{y}_2 = 0 \\ \hat{y}_3 = 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 = 2 \\ y_2 = 1 \\ y_3 = 3 \end{bmatrix}$$

$$\text{■ } y = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix}, \hat{y} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$\text{■ } l_1 = |2 - 2| + |1 - 0| + |3 - 1| = 3$$

$$\text{■ } l_2 = (2 - 2)^2 + (1 - 0)^2 + (3 - 1)^2 = 5$$

$$\text{■ } l_2 = d^\top d = 5$$

- نوشتن با نمادهای برداری/ماتریسی
- برای کدنویسی کارآمد از لحاظ محاسباتی

# برآزش مدل به عنوان یک مسئله بھینه سازی

$$\arg \min_{h \in \mathcal{H}} \sum_{x,y} P(x,y) error(h(x),y) \quad \blacksquare$$

$\arg \min_{h \in \mathcal{H}} l(h,D)$

■ در واقع ساخت چنین مدلی با اتلاف صفر سرراست است:

$$h(x) = \begin{cases} y_i & (x, y_i) \in D \\ y_1 & (x, \cdot) \notin D \end{cases}$$

■ اما آیا به این ترتیب مسئله ML حل شده است؟

■ هدف ML: تعمیم دانش فراتر از مثال‌های آموزشی

# آموزش در برابر آزمایش

شکستن مجموعه داده به مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی ■

$$D = D^{train} \cup D^{test}, \quad D^{train} \cap D^{test} = \emptyset$$

$D^{test}$  فرضیه  $h$  روی  $D^{train}$  و آزمایش آن روی ■

: اعتبارسنجی متقابل  $k$  بخشی ■



$$\text{Average test loss} = mean_k(Loss)$$

:

2



$$\text{Average test loss} = \frac{1}{2}(Loss_1 + Loss_2)$$

1



$\sqrt{328}$

$D^{train}$

Average test loss =  $Loss_1$

$D^{test}$

# دانش و مهارت های جانبی مفید برای درس

## ■ دانش نظری

- جبر خطی
- آمار و احتمالات پایه
- ...

## ■ مهارت های برنامه نویسی

- Python
- NumPy
- Pandas
- Scikit-Learn
- ...