

2017 ArchSummit全球架构师峰会

# 人工智能中的连接主义

邓志东教授/博士生导师

清华大学智能技术与系统国家重点实验室  
清华信息科学与技术国家实验室（筹）  
清华大学计算机科学与技术系  
[michael@tsinghua.edu.cn](mailto:michael@tsinghua.edu.cn)

2017.12.08 · 北京

# QCon

全球软件开发大会

成为软件技术专家  
的必经之路

[北京站] 2018

2018年4月20-22日 北京·国际会议中心

**7折** 购票中, 每张立减2040元  
团购享受更多优惠



识别二维码了解更多



# 极客时间

重拾极客精神·提升技术认知

## 下载极客时间App

获取有声IT新闻、技术产品专栏，每日更新



扫一扫下载极客时间App

# AiCon

全球人工智能与机器学习技术大会

助力人工智能落地

2018.1.13 - 1.14 北京国际会议中心



扫描关注大会官网

# 提纲 OUTLINES

- 1、AI的本质
- 2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展
- 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合
- 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来

# 提纲 OUTLINES

1、AI的本质

2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展

3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合

4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来

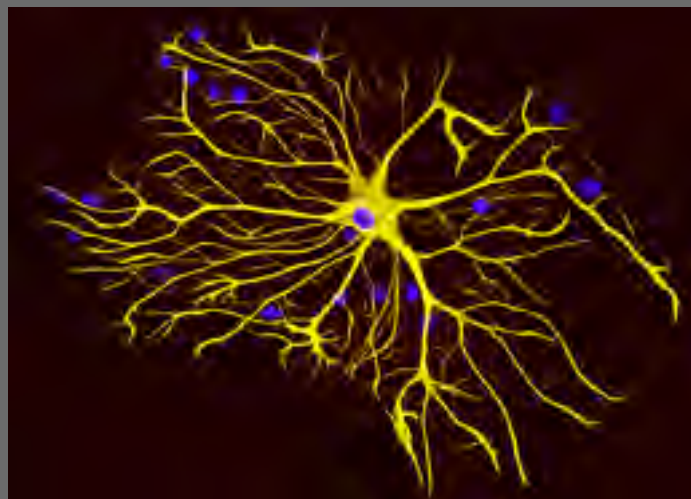
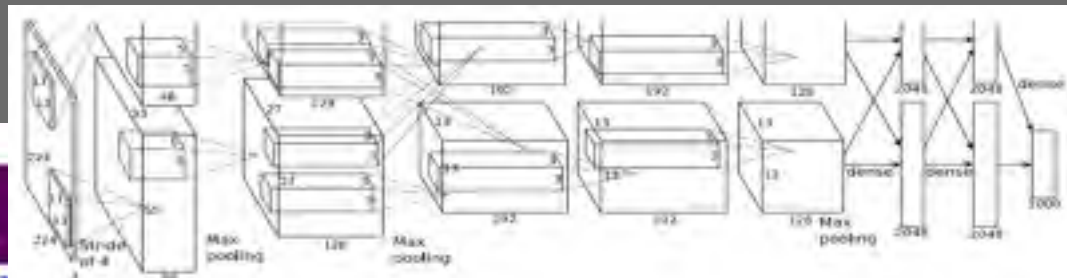


# 1、AI的本质

## 连接主义

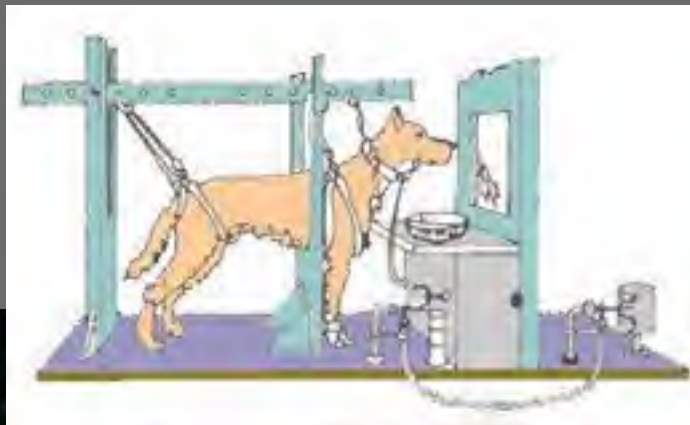
The Mammalian Visual Cortex is Hierarchical  
(The Brain is a Deep Neural Net - Yann LeCun)

- The ventral (recognition) pathway in the visual cortex has multiple stages
- Retina - LGN - V1 - V2 - V4 - PIT - AIT ....
- Lots of intermediate representations



# 1、AI的本质

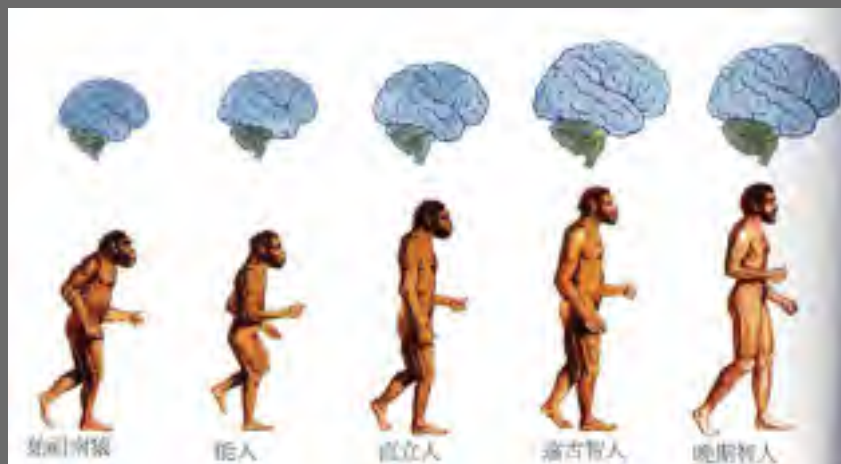
## 行为主义





# 1、AI的本质

## 符号主义



# 提纲 OUTLINES

- 1、AI的本质
- 2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展
- 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合
- 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来

## 2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展

弱人工智能：深度卷积神经网络+深度强化学习

深度卷积神经网络：

大数据感知智能取得突破性进展



# 人工智能自动驾驶

Google Waymo 将激光雷达的成本削减了90%以上，2017年10月已在美国凤凰城Chandler 镇100平方英里范围内，对500辆克莱斯勒插电式混合动力L4自动驾驶汽车进行社会公测，这是Waymo自动驾驶商业化落地的前奏，首次实现了无驾驶员的公测无人驾驶出租车。



无安全驾驶员了！



# 人工智能自动驾驶

## 特斯拉Autopilot 2.0:

目前特斯拉的量产车上均已安装Autopilot 1.0或2.0硬件系统，其自动驾驶功能，可通过OTA（空中下载）进行从L2到L4+的软件升级；

2017年年底之前以完全自动驾驶模式从洛杉矶开往纽约





# 人工智能自动驾驶

## 大范围无人驾驶出租车试运行：

Uber 2016年9月14日在美国匹兹堡市推出城区大范围无人驾驶出租车免费载客服务并试运行；先期已测试近2年

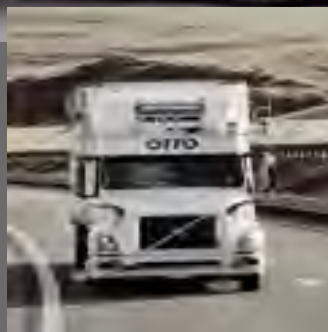




# 人工智能自动驾驶

## 2021年——无人驾驶汽车的产业元年：

Google Waymo、沃尔沃、福特、宝马、百度、英特尔等全球近20家企业均已宣称，4年后的2021年前后将会是无人驾驶汽车的产业元年，部分SAE L4将实现量产。



## ILSVRC国际评测

# 人工智能视觉物体识别

AlexNet (Krizhevski et al., 2012)	15.3% top-5 error
OverFeat (Sermanet et al., 2013)	13.8%
VGG Net (Simonyan et al., 2014)	7.3%
GoogLeNet (Szegedy et al., 2014)	6.6%
<u>Human (Russakovsky et al., 2014)</u>	<u>5.1%</u>
Feb 6, 2015, Microsoft	4.94%
Feb 11, 2015, Google	4.82%
Dec 11, 2015, Google	3.58%
Dec 10, 2015, Microsoft	3.57%
Feb 23, 2016, Google	3.08%
Sep 26, 2016, Trimps-Soushen	2.99%
April 2017, Qihoo 360	2.77%

IMAGENET

Very Deep  
Learning

极深度学习/1202层

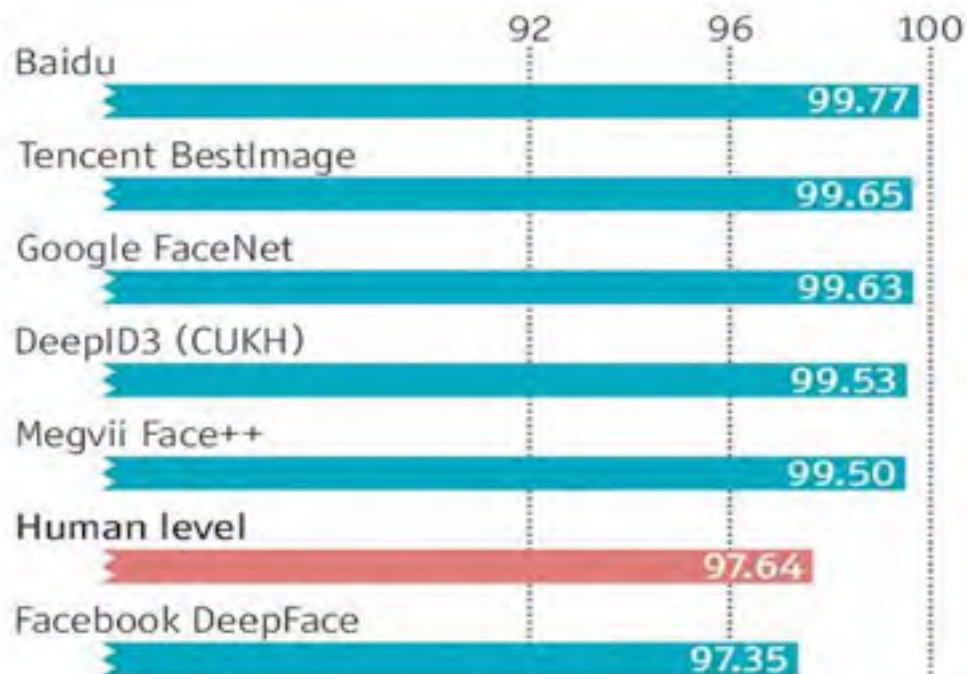
15M Images

22k Categories

针对ImageNet ILSVRC 1,000种物体的识别, Deep CNN超过了人类的识别能力

# 人工智能人脸识别

针对LFW人脸识别库，深度卷积神经网络超过了人类的识别能力



Source: University of Massachusetts Amherst

Labeled Faces in the Wild

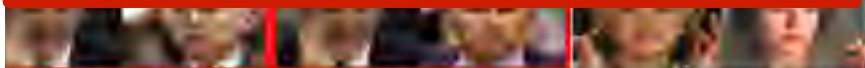


Labeled Faces in the Wild Home



2017年

1. 阅面科技 ReadSense 99.82% ;
2. 平安PingAn AI Lab 99.80% ;
3. 腾讯YouTu Lab 99.80%



# 人工智能人脸识别

## 刷脸支付/刷脸闸机

1月6日百度人工智能机器人“小度”，利用其超强人脸识别能力，以3:2险胜人类最强大脑代表王峰





# 人工智能相机

## 谷歌Clips AI相机

2017年10月5日谷歌推出的人工智能相机Google Clips，可以通过人工智能自动完成场景选择、自动拍摄/录像且可进行自动保存的微型相机，是第一款利用人工智能进行主动拍摄的消费级电子产品。



# 人工智能无人零售店

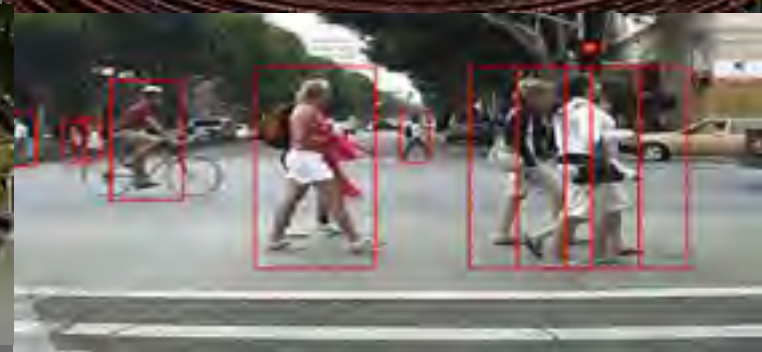


阿里无人超市“淘咖啡”



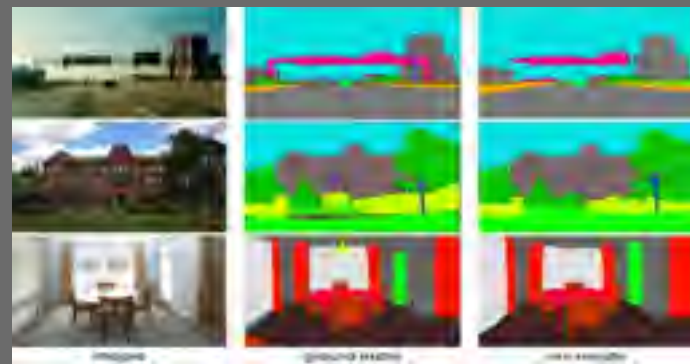
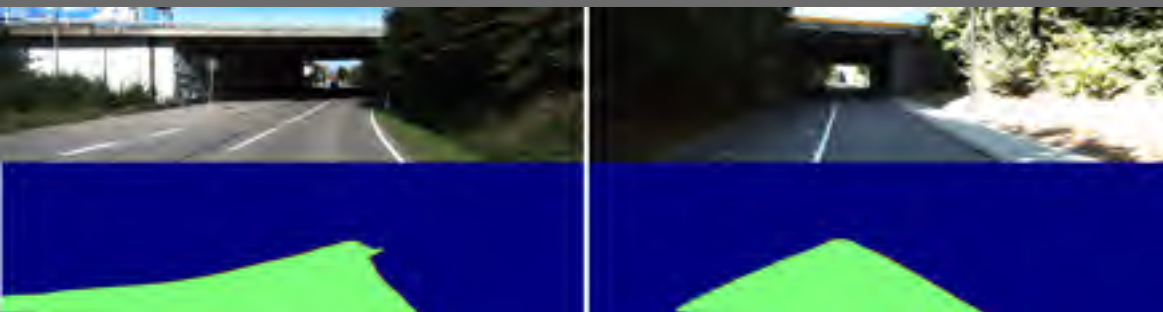
# 人工智能物体检测

基于DCNN的检测算法: R-CNN (CVPR-2014) ➡ Fast R-CNN (ICCV-2015) ➡ Faster R-CNN (NIPS-2015) ➡ YOLO (CVPR-2016) ➡ SSD (ECCV-2016) ➡ R-FCN (NIPS-2016)



# 人工智能语义分割

基于全卷积神经网络FCN的路面/场景像素级语义分割取得重要进展



# 人工智能风格抽取

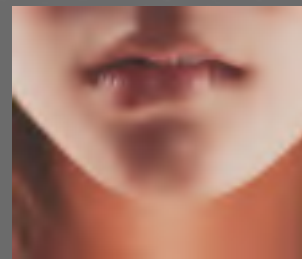
利用深度卷积神经网络提取出图片的内容和风格，然后进行替换，可创造出名家艺术风格的画作。





# 人工智能唇读

12月英国牛津大学，谷歌DeepMind等研发的英文自动唇读系统LipNet，对GRID语料库实现了95.2%的准确率；对BBC电视节目嘉宾进行唇语解读，准确率为46.8%，远远超过专业的人类唇语专家（仅为12.4%）。海云数据唇语识别，中文准确率已经达到了71%，英文识别率高达80%。



# 人工智能语音助理&聊天

目前的社交新媒体和互动平台中，AI虚拟助手和AI聊天机器人，正在崛起，推动人机自然交互商业落地



## AI虚拟助手

**Apple** : Siri

**Amazon**: Alexa

**Microsoft** : Cortana

**Google** : Google Now

**Viv Labs** : Viv

**百度** : 度秘



## AI聊天机器人

**Microsoft** : 小冰/Tay

**Facebook**: Messenger

**IBM&GIT**: Jill Watson助教各种Android聊天机器人

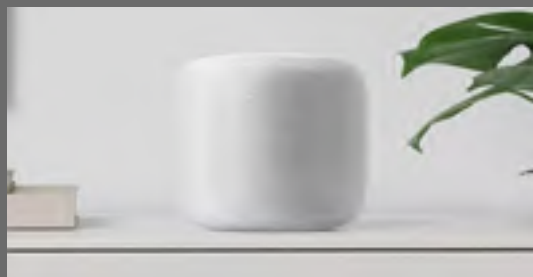


# 人工智能音箱

## 语音引擎：



亚马逊Echo



苹果Homepod

亚马逊于2014年推出的智能音箱Echo，基于语音助手Alexa实现音乐播放、新闻搜索、网购下单、Uber叫车、外卖预定等服务，成为行业标杆



谷歌Home



百度DuerOS



# 人工智能语音合成

9月19日谷歌DeepMind推出WaveNet, 实现文本到美式英语或中国普通话的真实感语音合成

文本  真实感语音



# 人工智能速记&语音输入

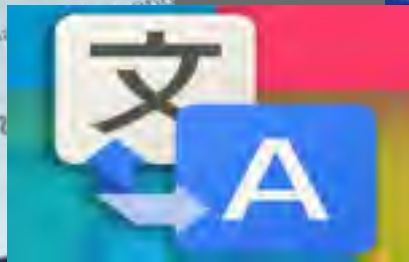
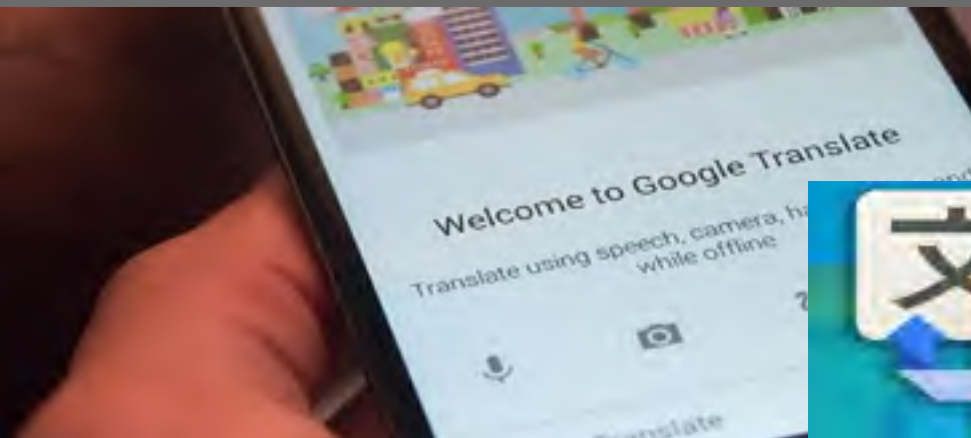
10月17日微软的语音识别系统实现了5.9%的词错率（WER），媲美人类专业速记员且更低；

科大讯飞/搜狗/百度语音输入法



# 人工智能翻译

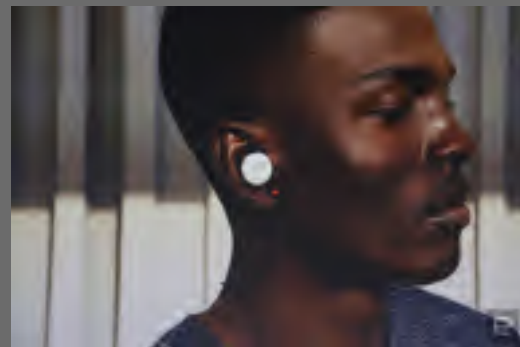
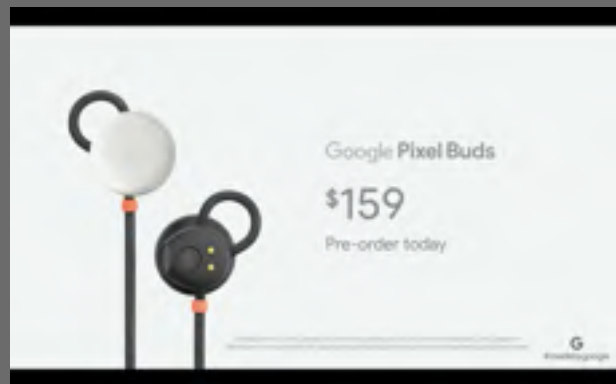
9月27日Google的神经机器翻译系统（GNMT）实现的多语种翻译，较之传统方法，英-西班牙翻译错误率下降了87%，英-汉下降了58%，汉-英下降了60%，已接近人工翻译的水平，是机器翻译质量的最大提升。



Y. Wu, et al., Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation, arXiv:1609.08144v2, 8 Oct 2016.

# 人工智能翻译

2017年10月5日Google 推出实时语音翻译无线耳塞Pixel Buds；  
Google Pixel Buds通过蓝牙与Google Pixel 2智能手机连接，可  
完成40种语言的实时翻译，体现了“AI+软件+硬件”



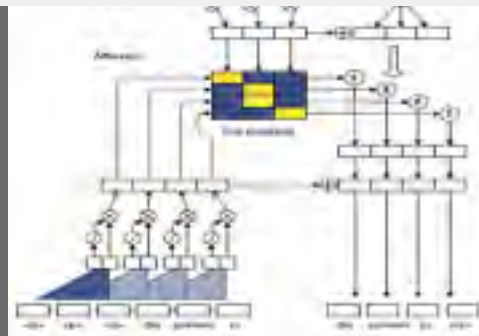


# 人工智能翻译

5月8日Facebook的人工智能研究院（FAIR）宣布，其完全利用深度卷积神经网络的神经机器翻译系统，较之Google的GNMT，不但翻译准确度进一步提高，而且翻译的速度大幅加快了9倍，创造了新的世界纪录。



"I'm looking forward to making universal translation a reality" — Mark Zuckerberg

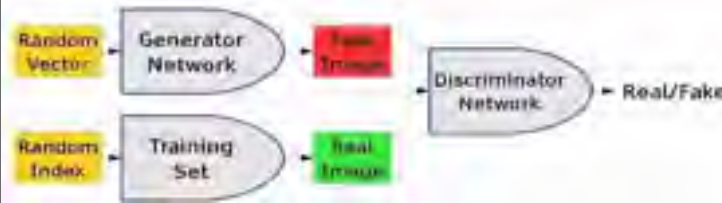
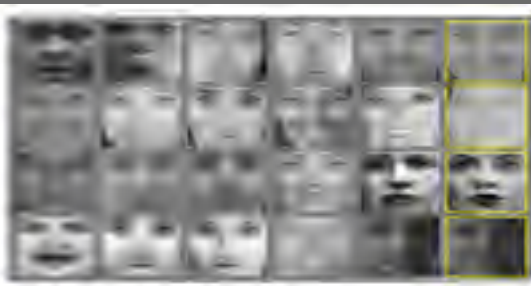


J. Gehring, M. Auli, D. Grangier, D. Yarats, and Y. N. Dauphin, Convolutional Sequence to Sequence Learning, arXiv:1705.03122v2 [cs.CL] 12 May 2017.

# 人工智能对抗训练

## GAN网络:

Goodfellow (2014)提出的生成式对抗网络 (GAN)，为半监督学习的发展，提供新思路；2016年发展迅速





MADE IN CHINA 中国制造  
2025

新一代人工智能

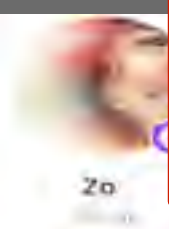
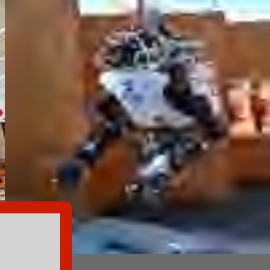
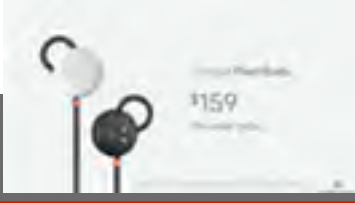
CHINA

# 人工智能制造

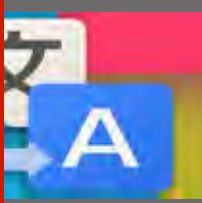


智能  
制造





人工智能已成为自动驾驶汽车商业落地的关键；  
视觉物体识别、人脸识别，唇语识别等在许多国际公开评测中，达到或超过人类的水平；  
速记等语音识别已可媲美人类；  
包括神经机器翻译在内的自然语言处理，性能也得到大幅度提升，并已开始产品商业落地



# 提纲 OUTLINES

- 1、AI的本质
- 2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展
- 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合
- 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来



### 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合

深度强化学习：  
开启认知智能探索的曙光





### 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合

#### 学习算法：

- ① 监督学习/Supervised Learning
- ② 强化学习/**Reinforcement** Learning
- ③ 无监督学习/Unsupervised Learning

强化学习也称**再励学习**，是一种模拟人类和动物行为学习的延迟回报学习（基于奖励或惩罚）；学习效率介于监督学习与无监督学习之间。

### 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合

#### 强化学习的基本原理



### 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合

**Deep CNN + 强化学习：**  
**应用于神经动态规划**  
**（ Neuro-dynamic**  
**programming）决策问题**  
**中，取得了以AlphaGo为**  
**代表的里程碑式的胜利**  
**深度强化学习与MDP**

**强化学习：**  
**2017年全球十大突破性**  
**技术之首！**  
**- MIT技术评论**



# 深度强化学习

## 社会关注热点

### “阿尔法围棋” (AlphaGo)



5个月



4个月



3:0战胜世界排名第一的柯洁  
2017.5



9个月



5:0战胜欧洲围棋三届冠军樊麾职业三段  
2015.10

4:1战胜世界围棋冠军李世乜职业九段  
2016.3

60:0横扫数十位中日韩世界冠军  
2017.1



# AlphaGo Lee

3月9-15日谷歌AlphaGo Lee以4:1的成绩击败世界围棋冠军李世乜职业九段

深度强化学习



# AlphaGo Master

12月29日-2017年1月4日谷歌Master大师（AlphaGo升级版）在30秒快棋网测中，以60胜0负1和的战绩，横扫柯洁、古力、聂卫平、朴廷桓、井山裕太等数十位中日韩世界冠军与顶级高手。



Google DeepMind



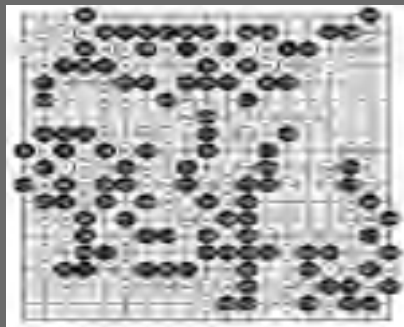
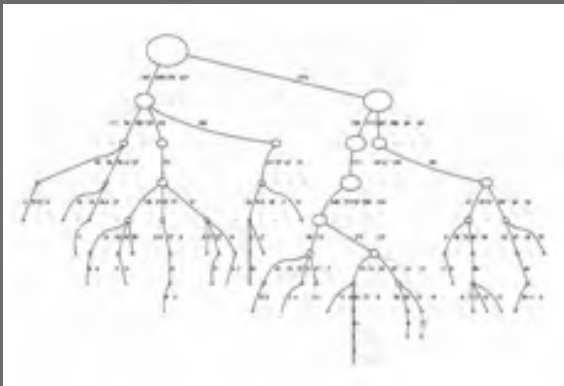
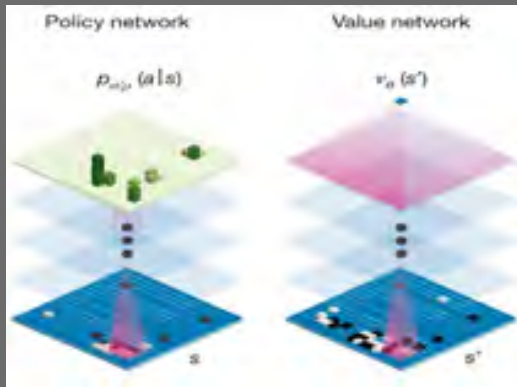
# ★深度强化学习：探索认知智能的曙光

主要涉及如下三个关键技术：

- 策略网络：输出每步落子获胜的条件概率分布（局部），消减搜索的宽度
- 价值网络：输出对任意棋局获胜的全局“棋感”评分，消减搜索的深度
- 蒙特卡洛树搜索：输出下一步最优落子

AlphaGo：利用深度神经网络和树搜索精通围棋游戏

搜索空间：  
宽度250, 深度150



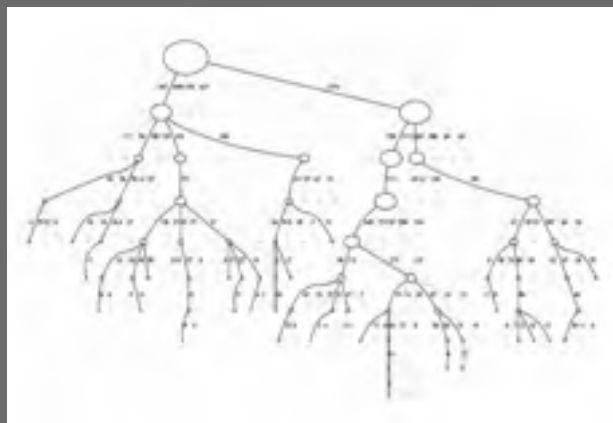
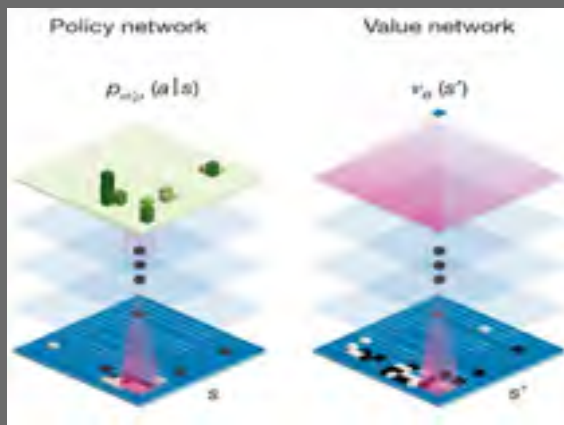
19×19

用于获得围棋最优策略

# ★深度强化学习：探索认知智能的曙光

## 网络结构：

- 深度策略网络： 13-layer DCNN /SL Policy Network, RL Policy Network
- 深度价值网络： 13-layer DCNN
- 蒙特卡洛树搜索： 传统方法



暴力法：搜索空间巨大；  
对棋局和落子的  
获胜评估困难



# ★深度强化学习：探索认知智能的曙光

如何进行学习？

大数据：3,000万棋局（positions）

（KGS围棋服务器6-9段）

利用其中的100万进行测试

深度监督学习+深度强化学习+大数据+TPU

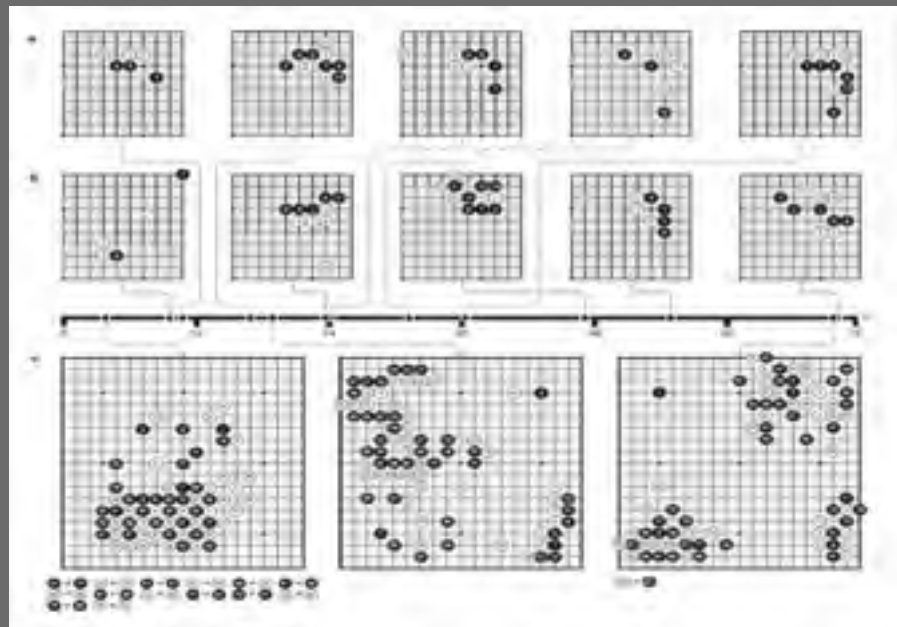
深度监督学习：人类职业围棋高手棋谱（监督策略网络，价值网络）/人类专家棋谱，最高57%预测成功率

深度强化学习：机器自弈（self-play）（强化策略网络，价值网络）

# ★深耕深度强化学习

## AlphaGo Zero

## 无师自通的围棋AI

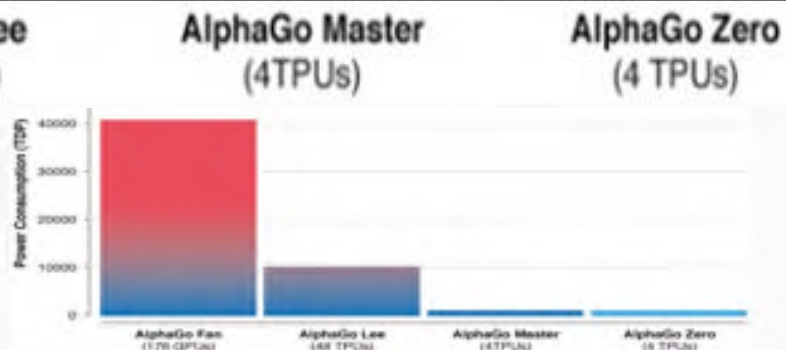
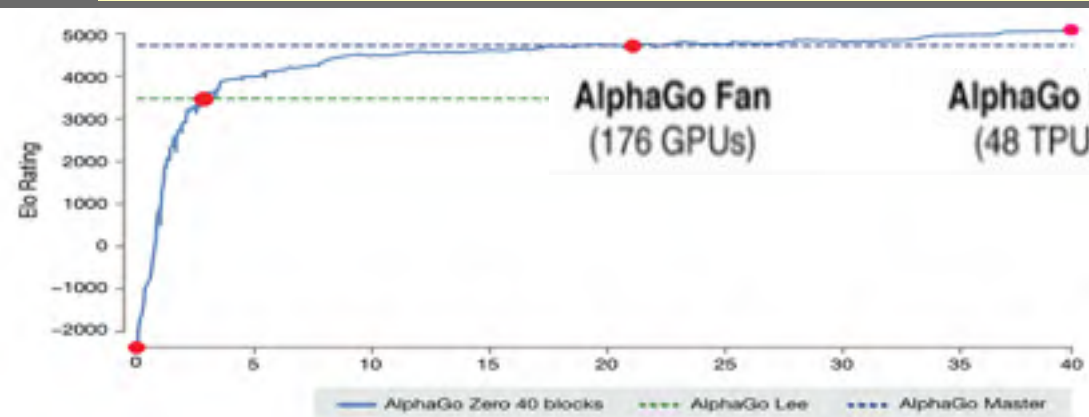


*Nature* 550, pp.354–359 (19 October 2017) DOI:doi:10.1038/nature24270 .

# ★深耕深度强化学习

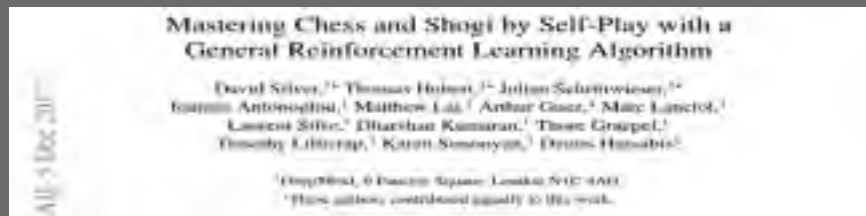
- 0天：** AlphaGo Zero没有利用围棋的历史棋谱，仅输入了基本的规则
- 3天：** AlphaGo Zero超过了AlphaGo Lee
- 21天：** AlphaGo Zero达到了AlphaGo Master
- 40天：** AlphaGo Zero超过了所有的AlphaGo版本，完全依赖自弈，没有人的干预，也未使用任何历史棋谱数据

ResNet80



# ★深耕深度强化学习

## AlphaZero



Stockfish : 2016 年 Top Chess Engine Championship(TCEC)世界冠军程序

Elmo : 2017年Computer Shogi Association (CSA)世界冠军程序

*arXiv:1712.01815v1 [cs.AI] 5 Dec 2017*

## 无师自通的通用棋类AI



11万次训练，不到2小时，击败Elmo

30万次训练，4小时，击败Stockfish

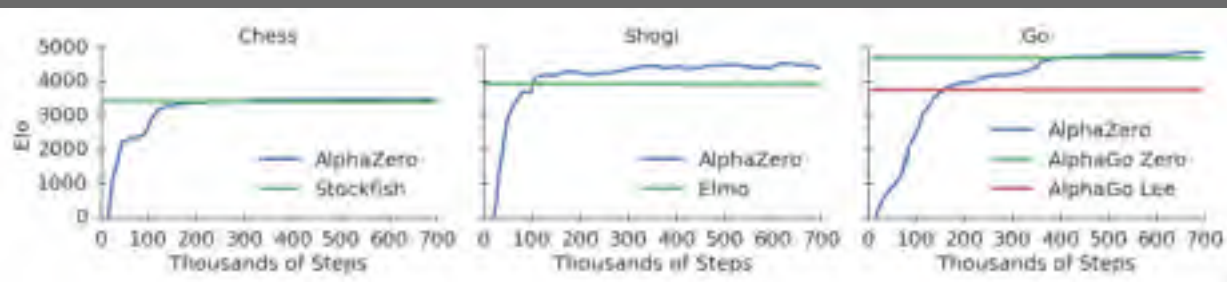
16.5万次训练，8小时，击败AlphaGo Lee



# ★深耕深度强化学习

5,000 个TPU1 : 推演自弈的棋类

64 个 TPU2 : 训练神经网络



Game	White	Black	Win	Draw	Loss
Chess	AlphaZero	Stockfish	25	25	0
	Stockfish	AlphaZero	3	47	0
Shogi	AlphaZero	Elmo	43	2	5
	Elmo	AlphaZero	47	0	3
Go	AlphaZero	AG0 3-day	31	—	19
	AG0 3-day	AlphaZero	29	—	21

**0天：** AlphaZero没有利用任何历史棋谱，仅输入了基本的棋类规则

**3天：** AlphaZero打败了超人类水平的国际象棋程序（Stockfish）、日本将棋程序（Elmo）和围棋AI程序（AlphaGo Zero）

Program	Chess	Shogi	Go
AlphaZero	80k	40k	16k
Stockfish	70,000k		
Elmo		35,000k	

# ★深耕深度强化学习



# ★开辟深度强化学习新战场

2017年1月专家水平的人工智能首次战胜一对一无限注德州扑克人类职业玩家，DeepStack让机器拥有直觉

## 人工智能扑克



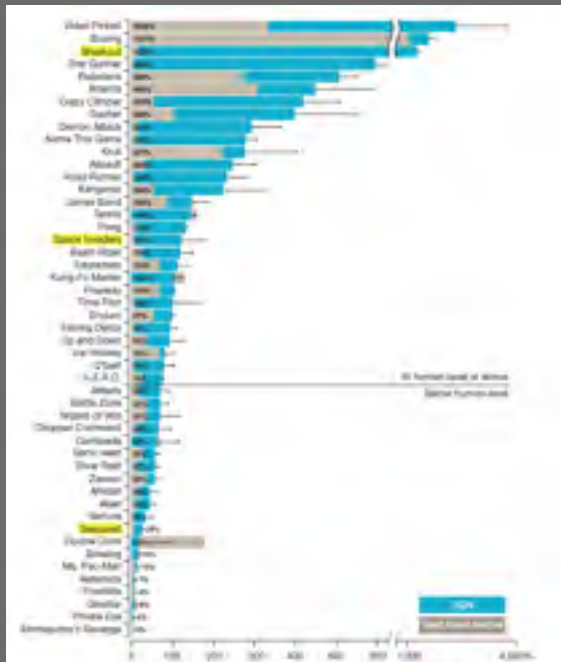
M. Moravcik, et al., DeepStack: Expert-Level Artificial Intelligence in No-Limit Poker, arXiv:1701.01724v2 [cs.AI] 10 Jan 2017.

# ★开辟深度强化学习新战场

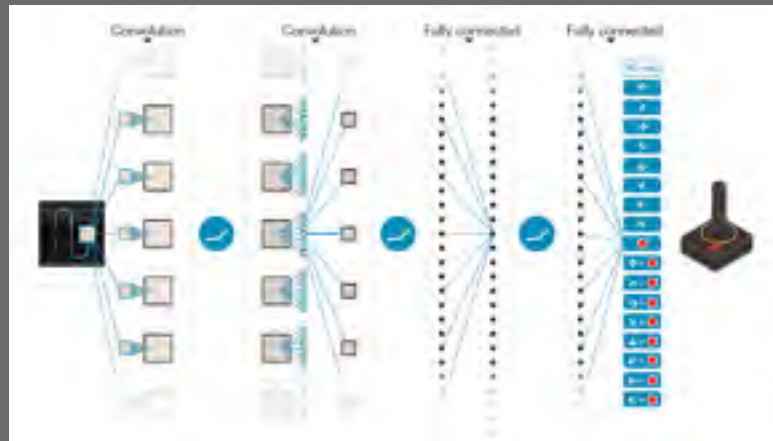
## AlphaGo 初战场: DQN

### 人工智能游戏玩家

通过深度再励学习的人类水平的控制  
(*Nature*, Feb. 26, 2015)



深度Q-网络/DQN  
49种Atari像素游戏中，29种达到乃至超过人类职业选手的水平



Mnih, *et al.*, “Human-level control through deep reinforcement learning”, *Nature*, vol. 518, pp. 529-533, 26 Feb. 2015.



# ★开辟深度强化学习新战场

## AlphaGo新战场：高级战略决策探索

### 人工智能游戏玩家



谷歌DeepMind与暴雪合作开发人工智能玩家，挑战实时战略视频游戏“星际争霸2”



What would make a good SC2 agent?

Some general unsolved AI problems:

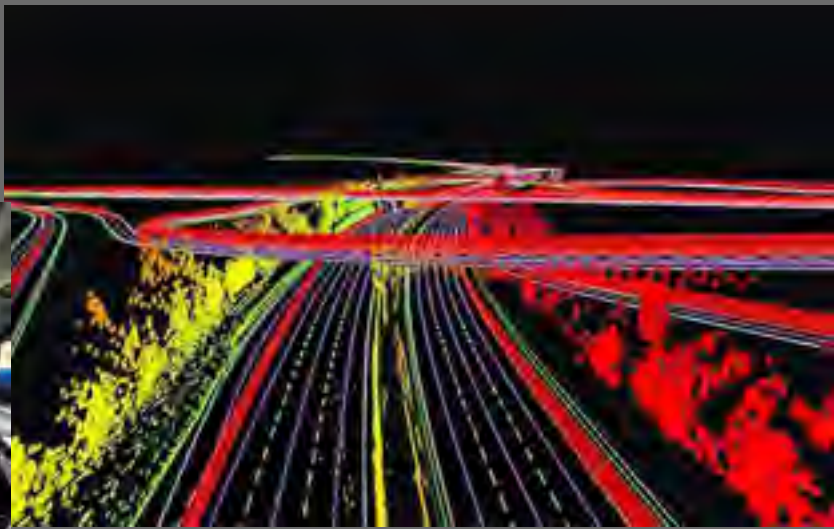
- Memory
- Planning



# ★开辟深度强化学习新战场

AlphaGo新战场：

人工智能自动驾驶



# ★开辟深度强化学习新战场

AlphaGo新战场：

人工智能金融

AlphaGo投顾





# ★开辟深度强化学习新战场

## AlphaGo新战场： 人工智能医疗





# ★开辟深度强化学习新战场



# 提纲 OUTLINES

- 1、AI的本质
- 2、连接主义的深度神经网络取得突破性进展
- 3、深度强化学习：连接主义与行为主义的结合
- 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来

## 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来

以大数据驱动的Deep CNN为代表的感知智能的成功(“举一反三”),使机器在垂直细分领域初步获得了媲美人类水平(human level)的“模式”识别能力,这必将成为认知智能发展的基石。

在新的起点上,进行“举一反三”的认知智能前沿研究

# 迈向认知智能和通用人工智能

☆认知智能，即对人类深思熟虑行为的模拟，包括记忆、常识、知识学习、推理、规划、决策、意图、动机与思考等高级智能行为

现状：追求看清、听清，有识别无理解

未来：要看懂、听懂、读懂！



# ★具有认知推理的半监督/无监督学习

## 从特征学习到规则学习

## 获得举一反三能力

包括预训练（pre-training），Hinton等 (2015)提出的知识蒸馏（Knowledge distilling），利用一个大规模的教师CNN网络去训练一个小型的学生CNN网络；

知识迁移（Knowledge Transfer），将基于大数据习得的知识和技能迁移到小样本学习网络



# ★具有认知推理的半监督/无监督学习

从特征学习到规则学习

获得举一反三能力

“特征提取+推理”的小样本学习  
深度无监督学习是AI的“黑科技”

- 动物与人类习得的大部分知识都来自于无监督学习（先有无监督，监督是语义水平的）；
- 通过预测性的无监督学习来构建并推断世界，获得“印象”；
- 进一步降低对大数据的依赖



# ★迈向通用人工智能

从特征学习到规则学习

获得多任务学习能力

将深度学习获得的特征或概念抽象，想象或与知识图谱结合，同时整合记忆、注意力、常识、推理、规划与意图等，以获得多任务学习能力。

例如，LSTM（Hochreiter，1997）；记忆神经网络MN（Weston et al.，2014）；堆叠增强递归神经网络（Joulin et al.，2014）；NTM（DeepMind，2014）；堆叠的What-Where自动编码器（Zhao et al.，2016），...

# ★迈向通用人工智能

从特征学习到规则学习

获得多任务学习能力

概念抽象：以嵌入结构的方式表达世界

认知向量：概念向量通过时空递归学习，获得知识或认知的表达

推理/规划：对上述递归过程的应用

例如，对自动问答系统等，就可将之视为想法/认知向量之间进行检索比较（深度检索模型）；而对推理、规划、机器翻译、语言与语境理解、对话系统，就可考虑为想法/认知向量的生成、组合与变换（深度生成模型）。



## 4、与符号主义的重新融合代表了AI的未来



作为一种感知智能模型，连接主义的深度卷积神经网络迄今最好地模拟了生物视觉通路，在完备大数据与超强计算硬件的强力支撑下，通过多层特征的自动提取等，已在计算机视觉、语音识别、自然语言处理、自动驾驶、大数据处理等诸多方面，接近、达到甚至超过人类水平。

以AlphaZero为代表的深度强化学习，将连接主义与行为主义结合，已具有超人类水平的博弈类决策能力，为决策类认知智能的探索带来了新的曙光。

与符号主义结合的面向小数据具有“举一反三”推理能力的认知智能与通用人工智能，仍有待探索与突破。



谢谢！