

# 基于深度学习的 知识追踪模型及应用

王新义@沪江智能学习实验室(HILL)

# 目录

- AI背景下互联网教育
- 知识追踪的定义、现状及挑战
- 知识追踪的模型：贝叶斯知识追踪 (BKT) 模型
- 深度学习及深度知识追踪模型
- 深度知识追踪实践、总结及展望

# CONTENTS

## AI背景下互联网教育（知识追踪的背景和意义）

# 关于教育及互联网教育

- 教育是最传统、最复杂、涉及面广的社会活动
- 教育痛点：公平、效率、痛苦
- 互联网教育：低频、高交互



真正的互联网教育是具备大规模、复杂交互行为的普惠性知识学习和教育。

# AI背景下互联网教育



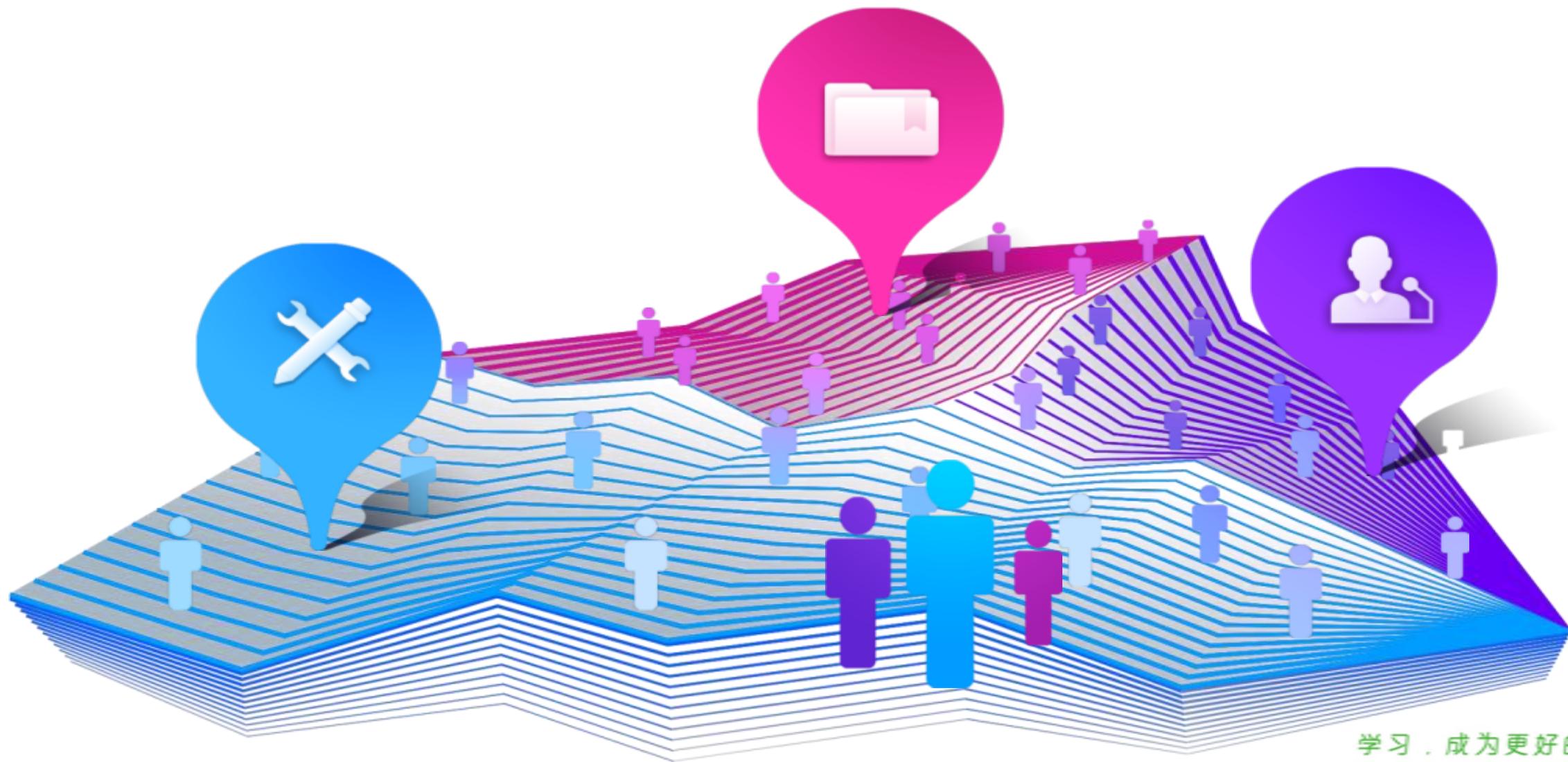
- 愿景：帮助教育进化
  - 因材施教的千年愿景
  - 个性化学习
- 使命：使用机器学习(AI)技术改造和促进人类自身学习(提高学习效率和学习效果)



# 机器学习在沪江的应用

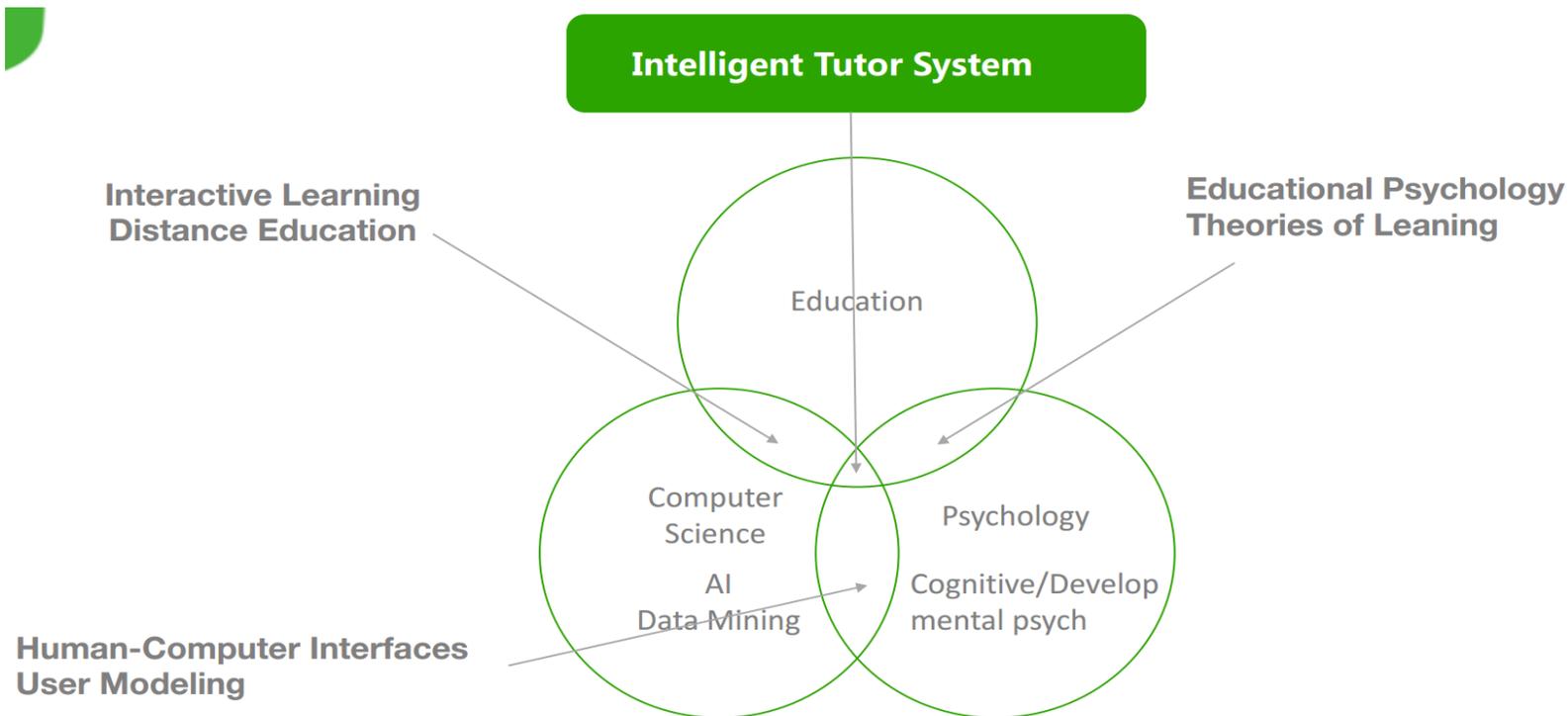


IT大咖说  
知识共享平台



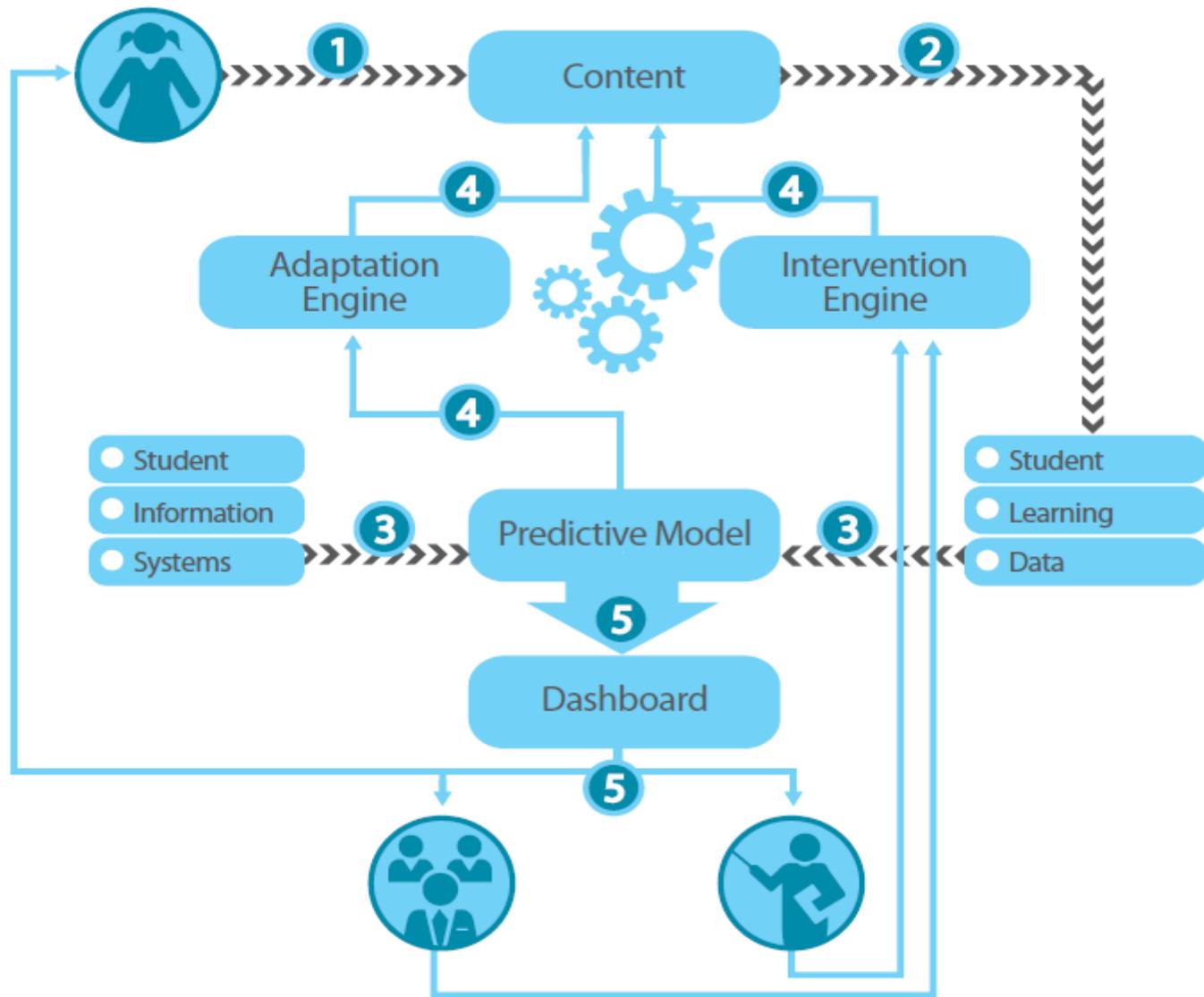
学习，成为更好的自己

# 智能学习系统



“智能学习系统主要指Intelligent Tutor System ( ITS ) 基于教育学、认知科学、计算机科学、数学等理论基础为用户提供交互式的计算机学习环境满足学习者个性化的学习需求。” —Graesser et al, 2005

# 自适应学习(Adaptive learning)



# CONTENTS

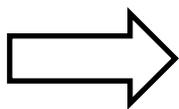
## 知识追踪的定义、现状及挑战

# 什么是知识追踪？

知识追踪指的是使用计算机模型，根据学生和习题之间的交互，来自动衡量学生的知识水平。



传统教育



互联网教育

知识追踪特点：

1. 自动化
2. 个性化

# 知识空间描述

如何描述人类掌握知识的程度？

使用知识空间，知识空间是一些概念的集合，一个人可以掌握这些概念的一部分，即构成这个人掌握的知识的集合。这个集合和外表现出来的和习题的交互有关。通过这个交互的过程和结果来描述一个人掌握的知识。

[https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge\\_space](https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_space)

# 知识追踪的现状和挑战

鉴于知识追踪方法对于教育上的重大意义，业界已经有很多相关的模型应用于知识追踪上。但是知识追踪还有很多问题有待解决。

1. 人脑的复杂性：不同的场景需要不同的记忆模型描述
2. 知识的复杂性：不同知识点之间有复杂的内部联系，如何描述这些联系

# CONTENTS

## 贝叶斯知识追踪模型

# 贝叶斯知识追踪模型简介

[Michael V. Yudelson et. al.](#)

贝叶斯知识追踪模型的核心是隐马尔科夫模型(Hidden Markov Model, HMM)，把学生的知识看做隐变量，通过观察学生在习题上的表现（答对或答错）来达到推测学生对知识掌握程度的目的。

为什么叫贝叶斯——通过条件概率，从结果（习题的表现）出发推断原因（知识水平），即贝叶斯推断。

# 模型参数

$$p(L_1)_u^k = p(L_0)^k, \longrightarrow \text{初始知识水平}$$

$$p(L_{t+1}|obs = correct)_u^k = \frac{p(L_t)_u^k \cdot (1 - p(S)^k)}{p(L_t)_u^k \cdot (1 - p(S)^k) + (1 - p(L_t)_u^k) \cdot p(G)^k}$$

$\xrightarrow{\text{做题失误的概率}}$   $\xrightarrow{\text{猜对题目的概率}}$

$$p(L_{t+1}|obs = wrong)_u^k = \frac{p(L_t)_u^k \cdot p(S)^k}{p(L_t)_u^k \cdot p(S)^k + (1 - p(L_t)_u^k) \cdot (1 - p(G)^k)}$$

$$p(L_{t+1})_u^k = p(L_{t+1}|obs)_u^k + (1 - p(L_{t+1}|obs)_u^k) \cdot p(T)^k \longrightarrow \text{从不会到会的概率}$$

$$p(C_{t+1})_u^k = p(L_t)_u^k \cdot (1 - p(S)^k) + (1 - p(L_t)_u^k) \cdot p(G)^k$$

### Model Parameters

- P(L<sub>0</sub>) = Initial Knowledge
- P(T) = Probability of learning
- P(G) = Probability of guess
- P(S) = Probability of slip

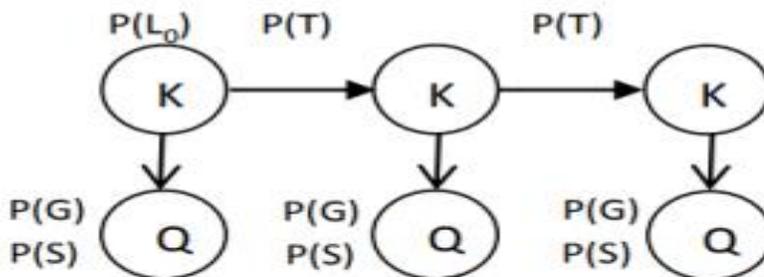
### Nodes representation

- K = knowledge node
- Q = question node

### Node states

- K = two state (0 or 1)
- Q = two state (0 or 1)

### Knowledge Tracing



# 贝叶斯知识追踪模型的缺点

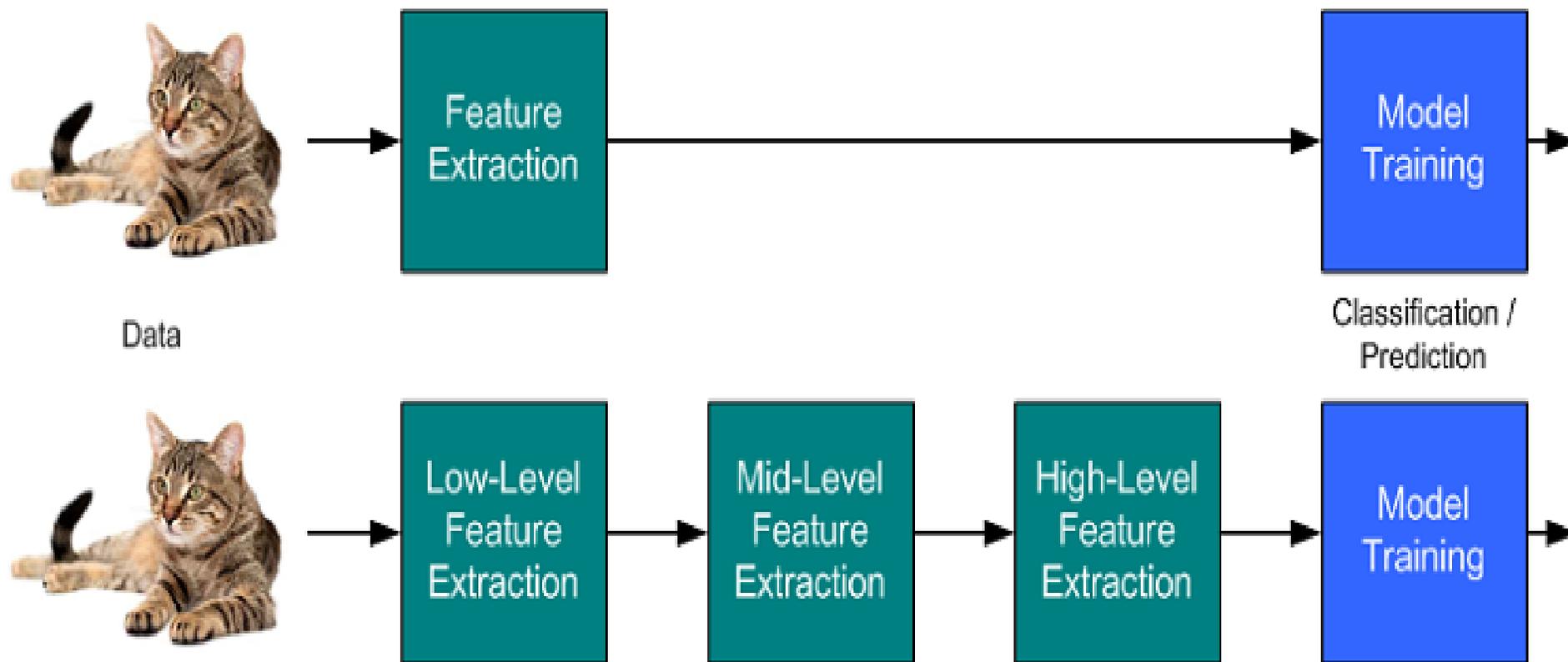
1. 问题和知识的映射不能严格一对一
2. 模型参数太少，难以处理比较复杂的知识体系
3. HMM假设当前题目只和上一次的状态有联系（难以模拟较长序列）

# CONTENTS

## 深度学习及深度知识追踪模型

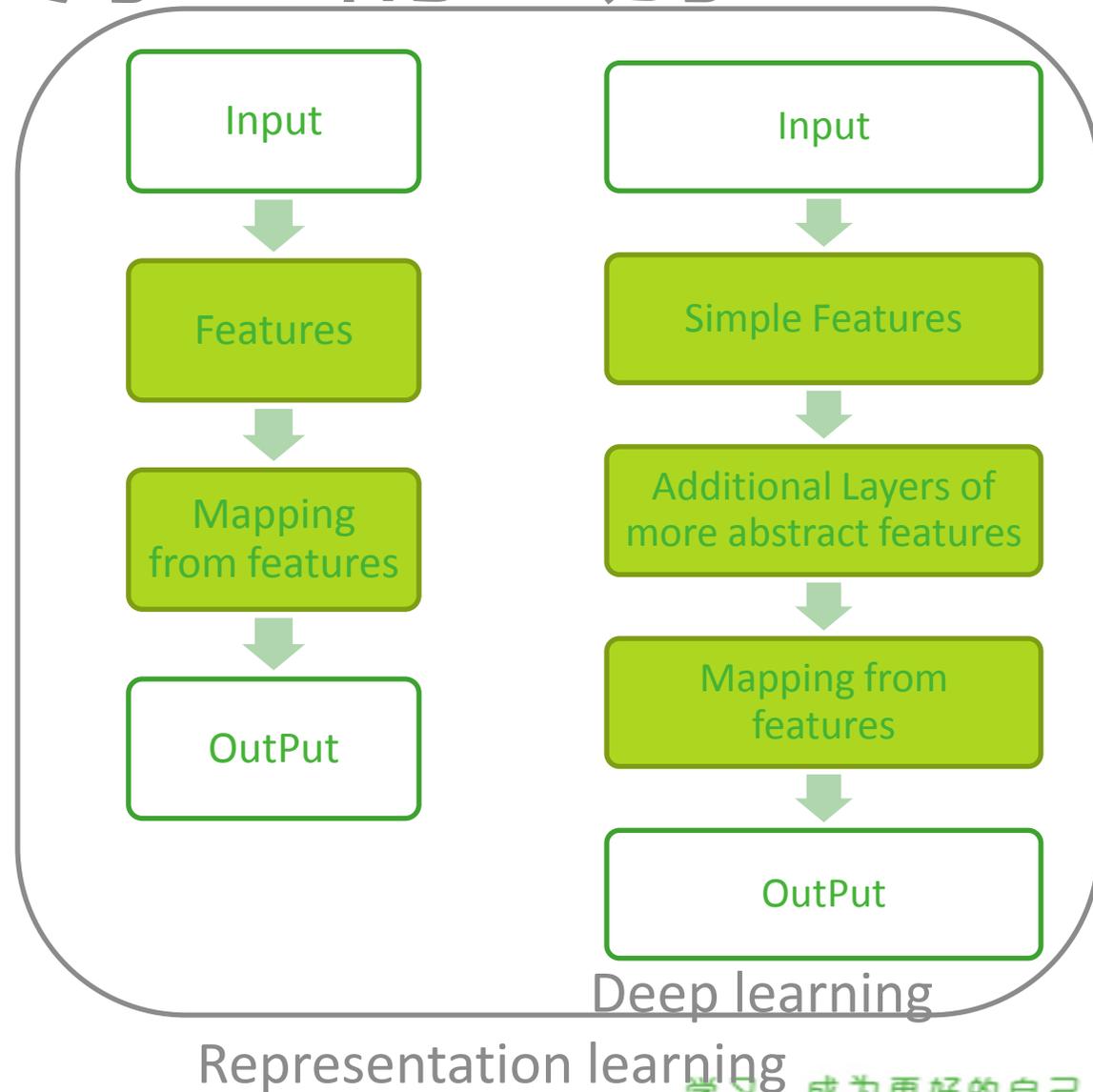
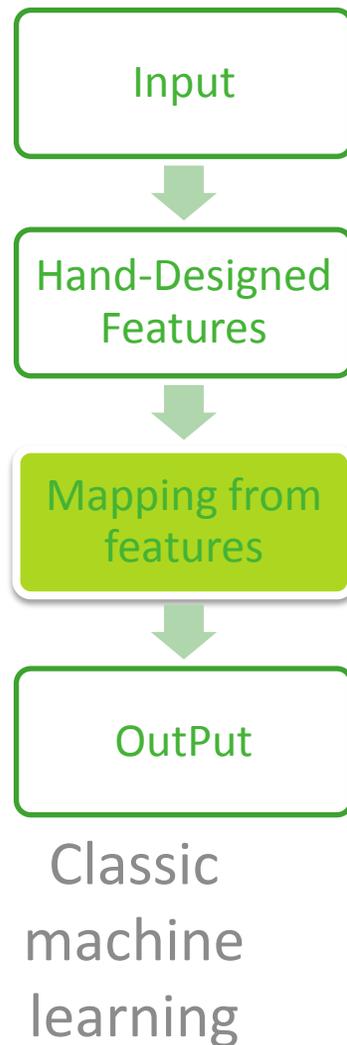
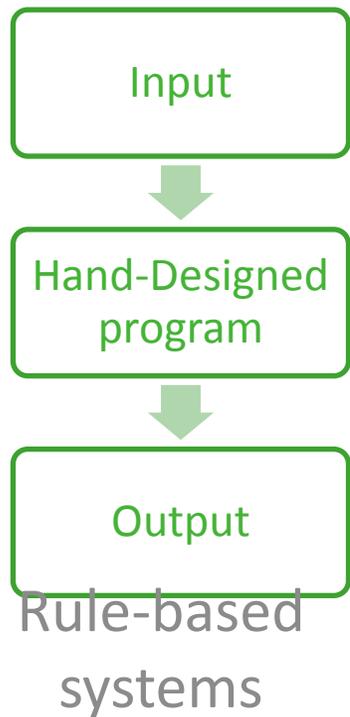
### — 深度知识追踪基础—深度学习

# What Is Deep Learning?



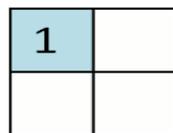
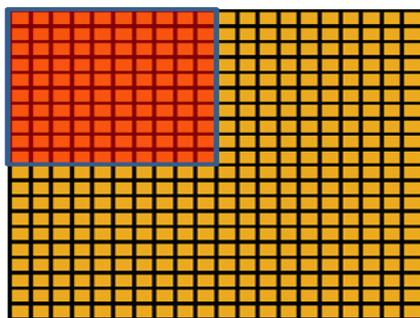
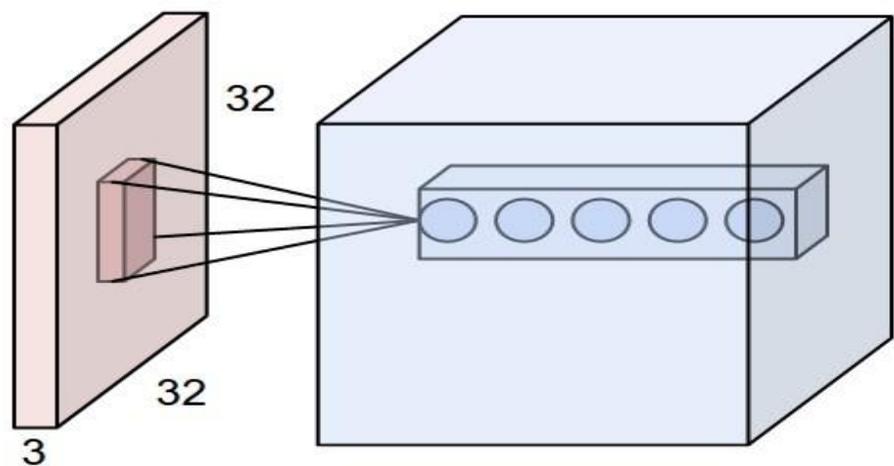
深度学习是一种特定类型的机器学习，具有强大的能力和灵活性，它将大千世界表示为嵌套的层次概念体系（由较简单概念间的联系定义复杂概念、从一般抽象概括到高级抽象表示）。

# 机器学习与深度学习的区别



# CNN

- 卷积层 (Convolutional Layer)
- 池化层 (Pooling Layer)

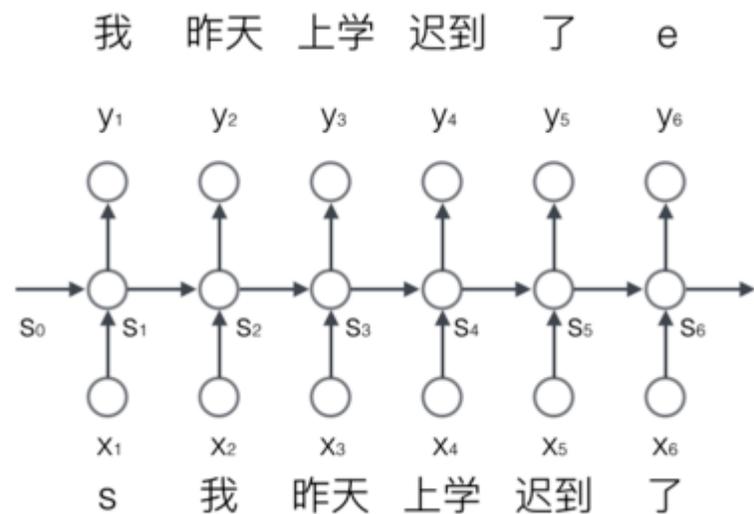
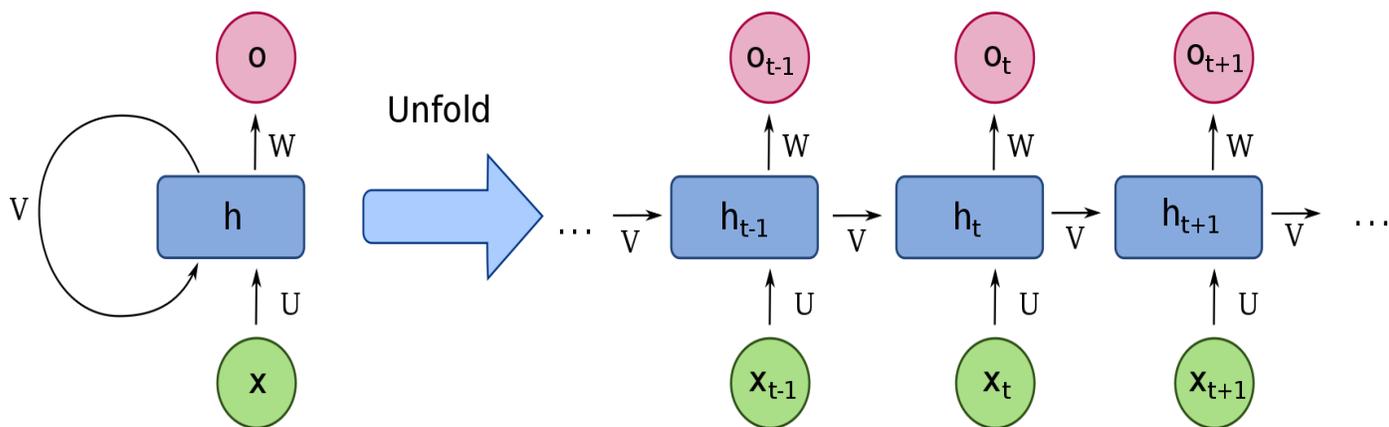


<p>Input Volume (+pad 1) (7x7x3)</p> <p><math>x[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p><math>x[:, :, 1]</math></p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p><math>x[:, :, 2]</math></p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr> </table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	2	1	2	0	0	1	0	1	2	2	0	0	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	1	2	1	2	0	0	2	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2	0	0	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	<p>Filter W0 (3x3x3)</p> <p><math>w0[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table> <p><math>w0[:, :, 1]</math></p> <table border="1"> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table> <p><math>w0[:, :, 2]</math></p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> <p>Bias <math>b0</math> (1x1x1)</p> <p><math>b0[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>1</td></tr> </table>	1	1	-1	0	1	0	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0	1	0	-1	1	1	1	-1	1	0	-1	1	0	1	<p>Filter W1 (3x3x3)</p> <p><math>w1[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table> <p><math>w1[:, :, 1]</math></p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> <p><math>w1[:, :, 2]</math></p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </table> <p>Bias <math>b1</math> (1x1x1)</p> <p><math>b1[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>0</td></tr> </table>	1	1	-1	-1	1	0	-1	0	1	0	0	-1	1	0	0	1	1	0	1	0	-1	1	-1	0	0	-1	0	0	<p>Output Volume (3x3x2)</p> <p><math>o[:, :, 0]</math></p> <table border="1"> <tr><td>5</td><td>-1</td><td>4</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>8</td><td>5</td><td>11</td></tr> </table> <p><math>o[:, :, 1]</math></p> <table border="1"> <tr><td>-2</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>-4</td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>6</td></tr> </table>	5	-1	4	7	3	2	8	5	11	-2	0	5	-4	8	7	1	0	6
0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	2	0	1	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	2	0	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	2	2	1	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	2	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	2	1	2	1	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	0	2	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	2	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	2	2	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	2	1	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	2	1	2	2	1	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	2	2	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	2	2	1	0	2	0																																																																																																																																																																																																																			
0	2	2	2	2	0	0																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	0	1	1	0																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	1	0	2	0																																																																																																																																																																																																																			
1	1	-1																																																																																																																																																																																																																							
0	1	0																																																																																																																																																																																																																							
0	-1	-1																																																																																																																																																																																																																							
-1	1	-1																																																																																																																																																																																																																							
-1	1	0																																																																																																																																																																																																																							
1	0	-1																																																																																																																																																																																																																							
1	1	1																																																																																																																																																																																																																							
-1	1	0																																																																																																																																																																																																																							
-1	1	0																																																																																																																																																																																																																							
1																																																																																																																																																																																																																									
1	1	-1																																																																																																																																																																																																																							
-1	1	0																																																																																																																																																																																																																							
-1	0	1																																																																																																																																																																																																																							
0	0	-1																																																																																																																																																																																																																							
1	0	0																																																																																																																																																																																																																							
1	1	0																																																																																																																																																																																																																							
1	0	-1																																																																																																																																																																																																																							
1	-1	0																																																																																																																																																																																																																							
0	-1	0																																																																																																																																																																																																																							
0																																																																																																																																																																																																																									
5	-1	4																																																																																																																																																																																																																							
7	3	2																																																																																																																																																																																																																							
8	5	11																																																																																																																																																																																																																							
-2	0	5																																																																																																																																																																																																																							
-4	8	7																																																																																																																																																																																																																							
1	0	6																																																																																																																																																																																																																							

toggle movement

# 循环神经网络简介

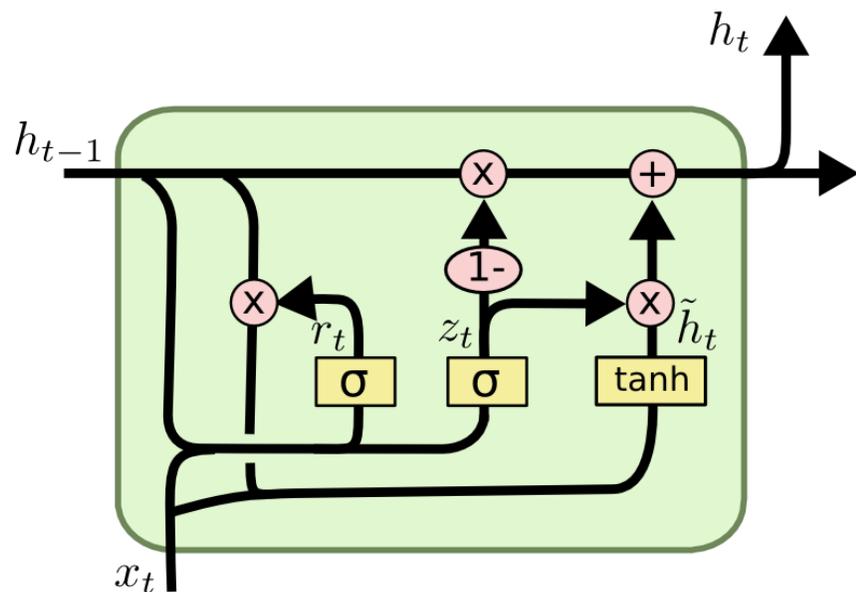
在自然语言和序列数据处理方面，经常会用到循环神经网络（Recurrent Neural Network，RNN），以下为RNN的基础结构（Vanilla RNN）



# 长短时记忆网络 ( LSTM )

一般RNN容易碰到的一个问题是梯度消失/爆炸，这个对于长序列的训练很不利。

长短时记忆网络(Long Short Term Memory Network, LSTM)是RNN的一种特殊变体，能够很好的应对这种状况。



$$z_t = \sigma (W_z \cdot [h_{t-1}, x_t])$$

$$r_t = \sigma (W_r \cdot [h_{t-1}, x_t])$$

$$\tilde{h}_t = \tanh (W \cdot [r_t * h_{t-1}, x_t])$$

$$h_t = (1 - z_t) * h_{t-1} + z_t * \tilde{h}_t$$

# CONTENTS

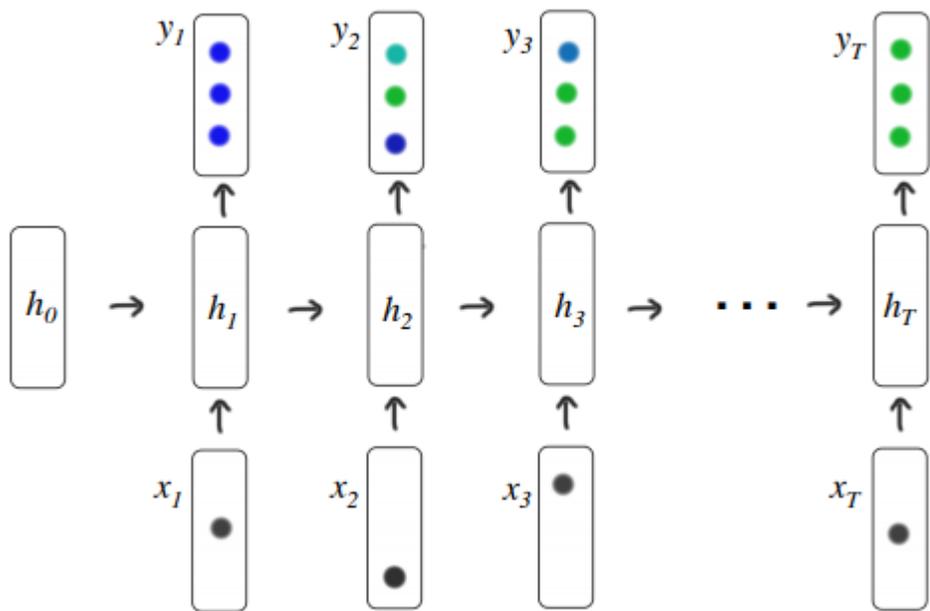
## 深度学习及深度知识追踪模型 — 深度知识追踪模型

# 深度知识追踪模型描述

$x_1, x_2, x_3 \dots$  代表问题是否做对的编码

$y_1, y_2, y_3 \dots$  代表对于所有问题做对的概率

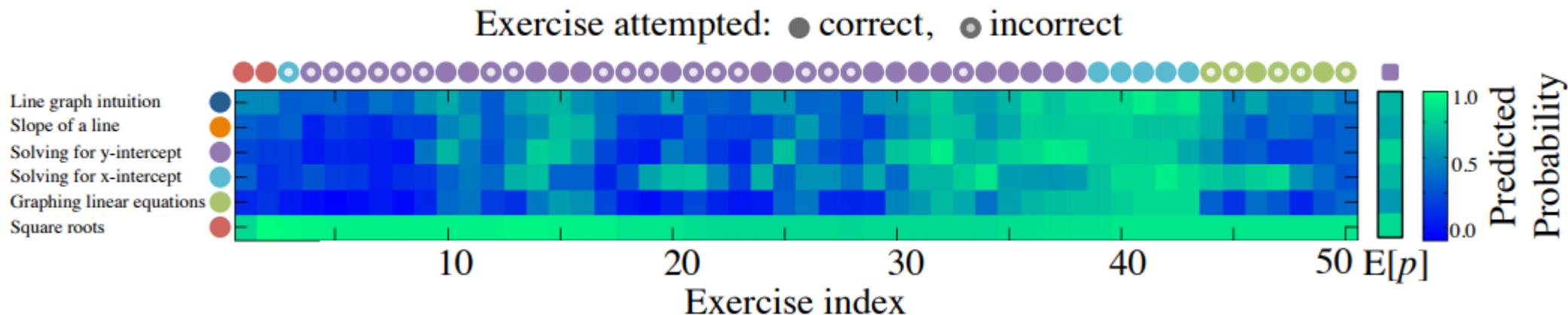
$h_0, h_1, h_2 \dots$  代表学生隐含知识水平



$$\mathbf{h}_t = \tanh(\mathbf{W}_{hx}\mathbf{x}_t + \mathbf{W}_{hh}\mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{b}_h),$$
$$\mathbf{y}_t = \sigma(\mathbf{W}_{yh}\mathbf{h}_t + \mathbf{b}_y),$$

# 深度知识追踪模型简单实例

1. 问题的类型和回答是否正确（输入）
2. 问题做对的概率（输出）



# 深度知识追踪优点

1. 能够反映长时间的知识关系（知识遗忘等）
2. 能够对复杂的知识点之间的联系进行建模
3. 能够反应连续的知识水平的变化（输出的是一个概率值）

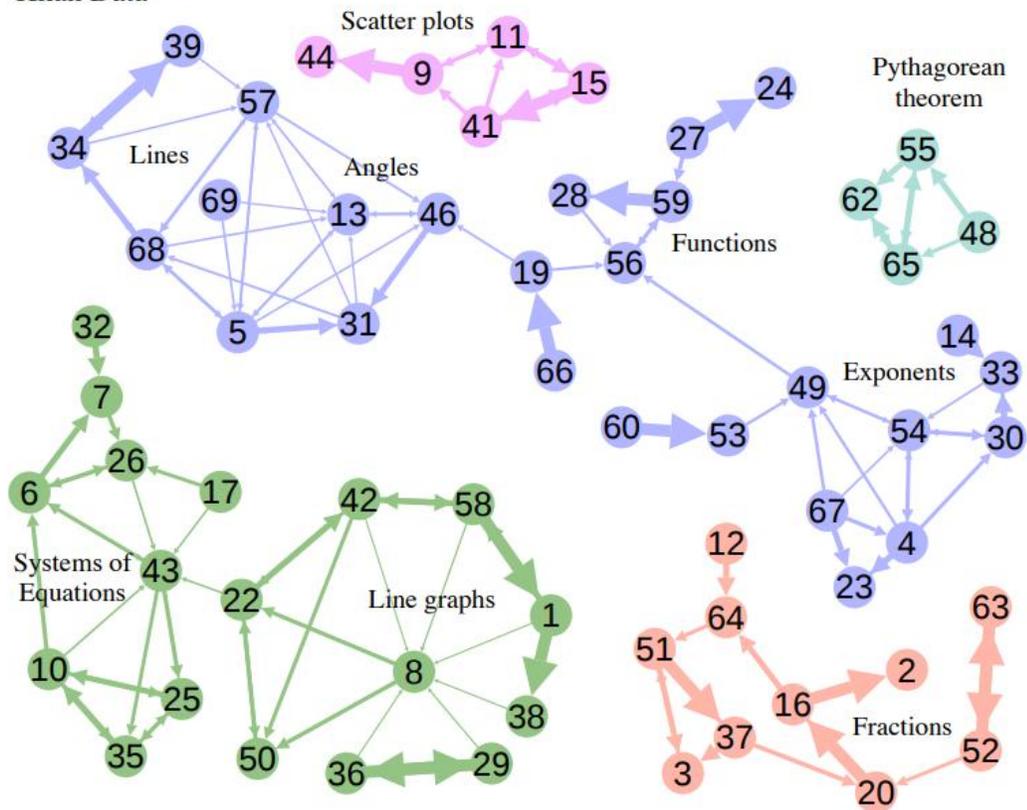
# 深度知识追踪描述知识点相互依赖

$$J_{ij} = \frac{y(j|i)}{\sum_k y(j|k)}$$

问题*i*和*j*的关联的权重可以通过使用深度知识追踪模型给出, 其中*J<sub>ij</sub>*指的是问题*i*到问题*j*的关联权重, *y(j, i)*是在问题*i*答对的前提下问题*j*答对的概率。

# 可汗学院八年级数据集知识点关系

Khan Data



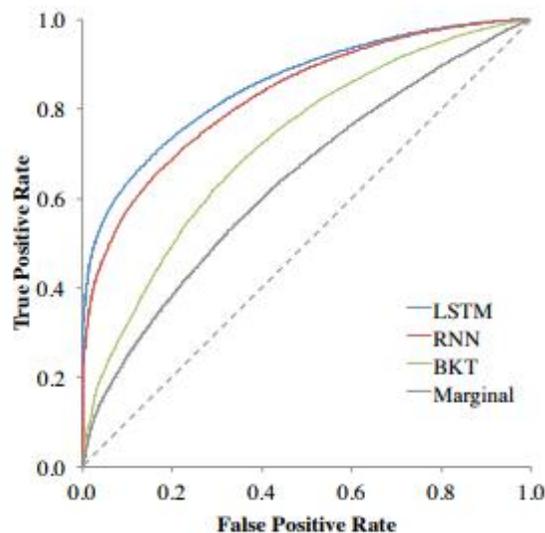
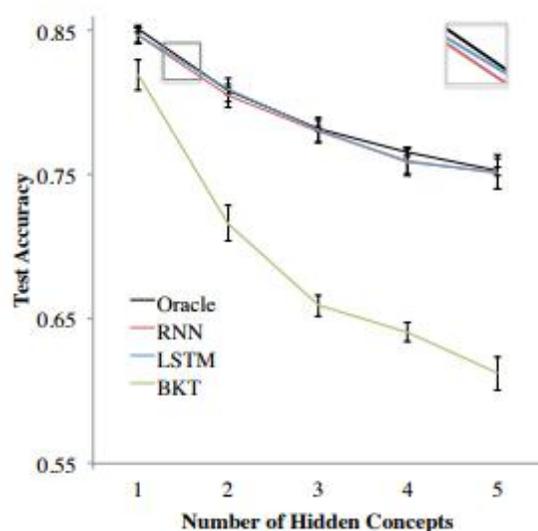
1 Linear function intercepts	24 Interpreting function graphs	47 Constructing inconsistent system
2 Recognizing irrational numbers	25 Systems of equations w. Elim. 0	48 Pythagorean theorem proofs
3 Linear equations 3	26 Solutions to systems of equations	49 Scientific notation intuition
4 Multiplication in scientific notation	27 Views of a function	50 Line graph intuition
5 Parallel lines 2	28 Recog func 2	51 Multistep equations w. distribution
6 Systems of equations	29 Graphing proportional relationships	52 Fractions as repeating decimals
7 Equations word problems	30 Exponent rules	53 Cube roots
8 Slope of a line	31 Angles 2	54 Scientific notation
9 Linear models of bivariate data	32 Understand equations word problems	55 Pythagorean theorem 2
10 Systems of equations with elimination	33 Exponents 2	56 Functions 1
11 Plotting the line of best fit	34 Segment addition	57 Vertical angles 2
12 Integer sums	35 Systems of equations w. substitution	58 Solving for the x intercept
13 Congruent angles	36 Comparing proportional relationships	59 Recognizing functions
14 Exponents 1	37 Solutions to linear equations	60 Square roots
15 Interpreting scatter plots	38 Finding intercepts of linear functions	61 Slope and triangle similarity
16 Repeating decimals to fractions 2	39 Midpoint of a segment	62 Distance formula
17 Graphical solutions to systems	40 Volume word problems	63 Converting decimals to fractions 2
18 Linear non linear functions	41 Constructing scatter plots	64 Age word problems
19 Interpreting features of linear functions	42 Solving for the y intercept	65 Pythagorean theorem 1
20 Repeating decimals to fractions 1	43 Graphing systems of equations	66 Comparing features of functions 0
21 Constructing linear functions	44 Frequencies of bivariate data	67 Orders of magnitude
22 Graphing linear equations	45 Comparing features of functions 1	68 Angle addition postulate
23 Computing in scientific notation	46 Angles 1	69 Parallel lines 1

# CONTENTS

## 深度知识追踪实践、总结及展望 — 深度知识追踪实践

# 在测试数据集上的表现

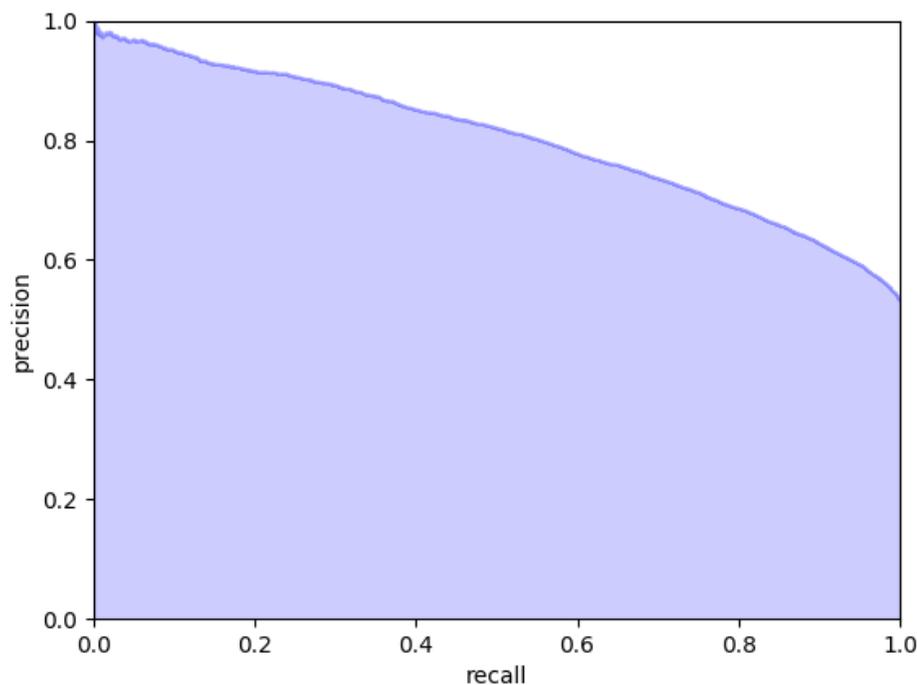
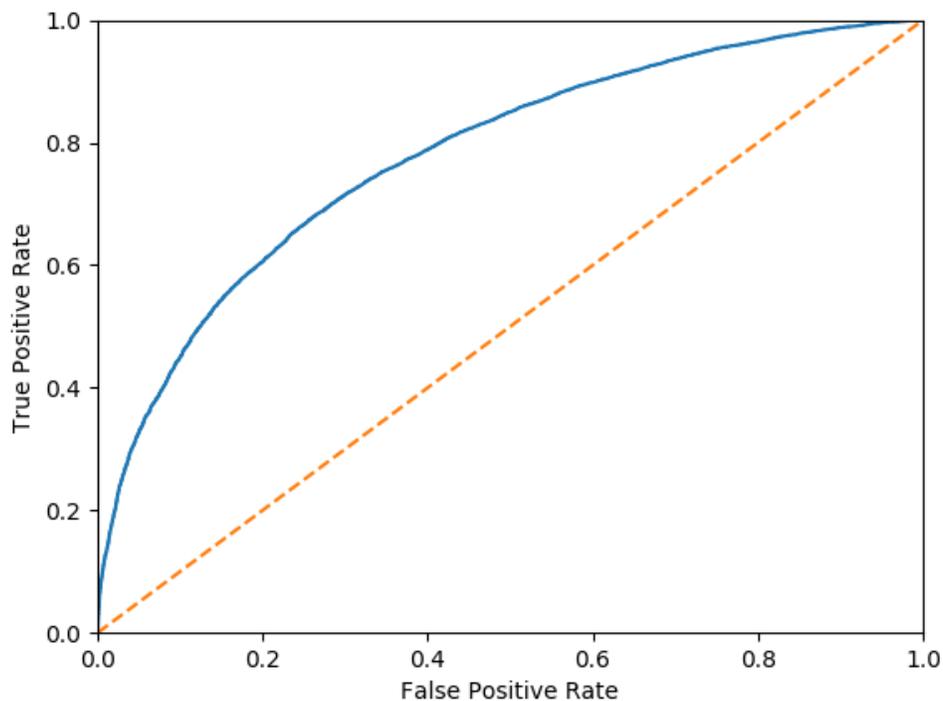
Dataset	Overview			AUC			
	Students	Exercise Tags	Answers	Marginal	BKT	BKT*	DKT
Simulated-5	4,000	50	200 K	0.64	0.54	-	0.75
Khan Math	47,495	69	1,435 K	0.63	0.68	-	0.85
Assistments	15,931	124	526 K	0.62	0.67	0.69	0.86



# 在沪江英语词汇量测试数据集上的表现

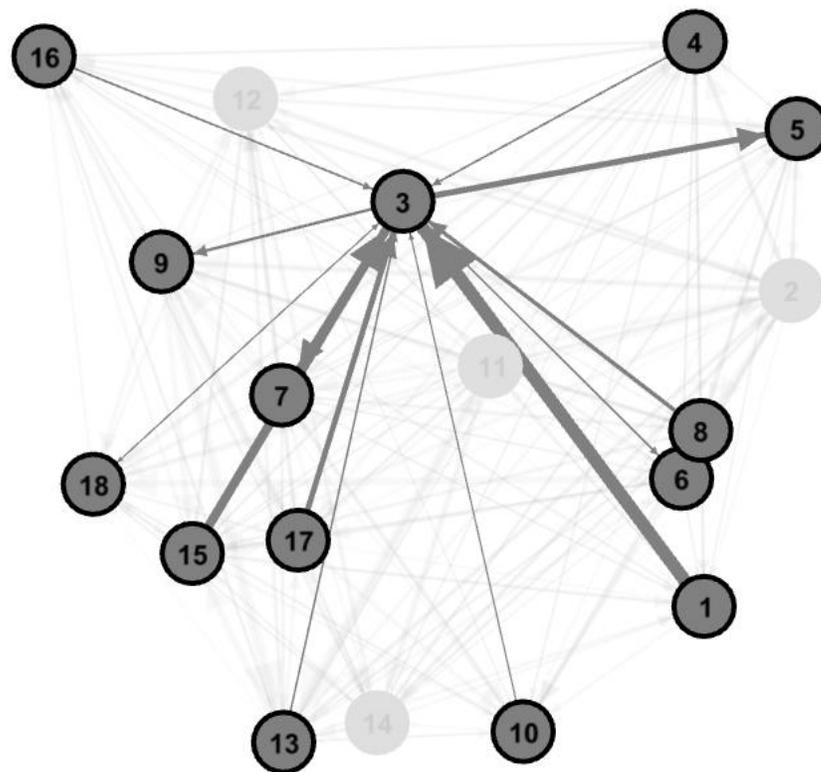
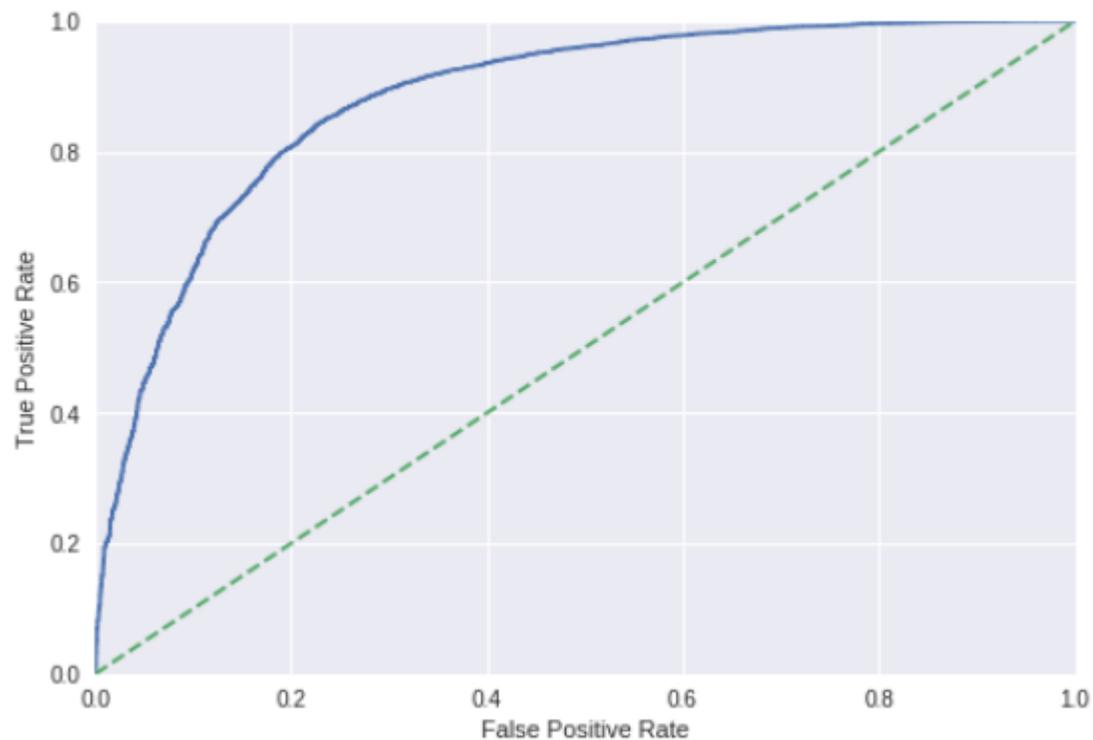
使用10w次沪江英语的词汇量测试的结果作为训练集，1w次测试集，结果如下：

AUC: 0.78, 相比于其他词汇量测试的模型（如IRT模型的简单逻辑回归，大约0.70左右）有了很大提高。



# 在中考模拟考数学试题数据集上的表现

AUC score: 0.881



# CONTENTS

## 深度知识追踪实践、总结及展望 — 总结和展望

# 深度知识追踪的未来

1. 人工智能辅助教育的一种手段
2. 自动发现知识点间的相互联系
3. 智能设计课程，减少教育工作量

# Q&A

