



# 第10章：成分句法分析

课件制作：王新宇、吴宪泽、茹栋宇、屠可伟  
讲解人：屠可伟、王新宇、吴宪泽、茹栋宇

# 句法 (Syntax)

---

- 句法研究控制句子结构的规则和过程
- 句法仅与句子的结构有关，与含义无关
  - 一个合乎句法的句子可能在语义层面上是不合理的
    - 例：Colorless green ideas sleep furiously.
  - 两个语义相同的句子可能有不同的句法结构
    - 例：A dog is chasing a cat 与 A cat is being chased by a dog.
- 两种句法表示方法：
  - 成分句法分析
  - 依存句法分析

# 成分句法树

□ 又称短语结构句法树

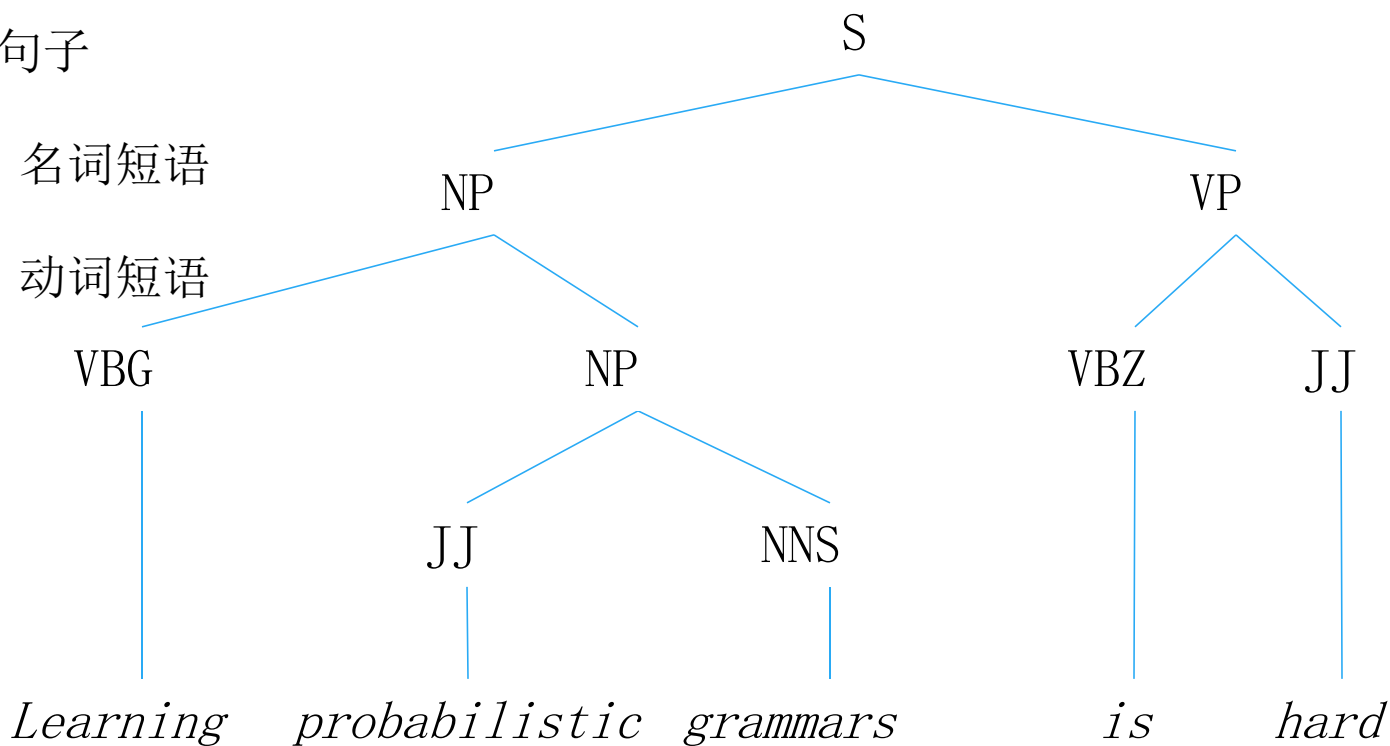
□ 每个非叶子节点代表一个短语

- S: 句子

- NP: 名词短语

- VP: 动词短语

- ...

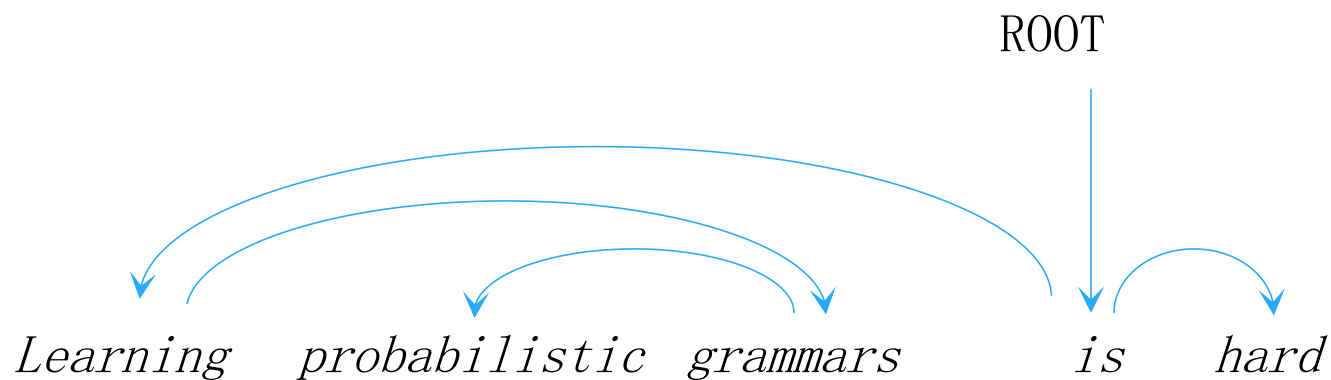


# 依存句法树

□ 每条边代表两个单词之间的一条二元依存关系

- 依存关系可能有标签

- 例：一条位于动词和名词间的边可能有“Subject”标签



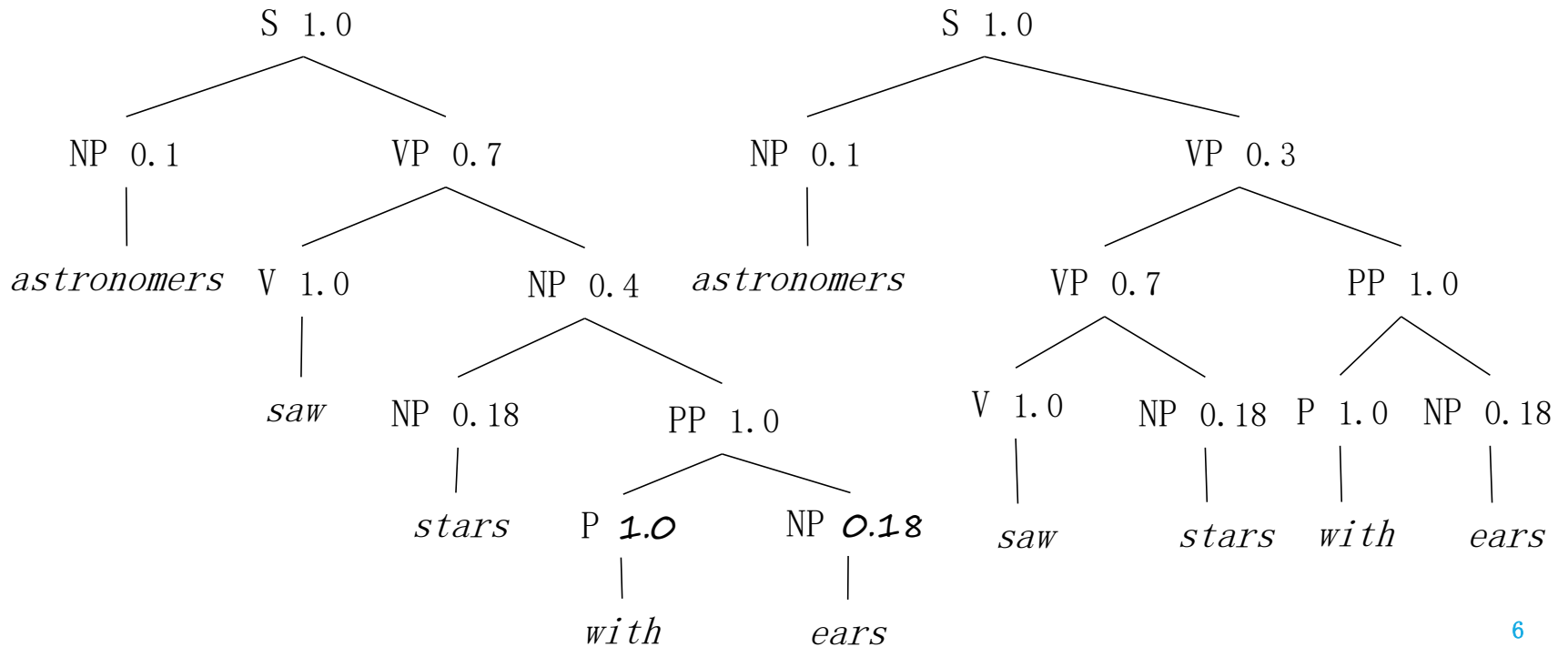
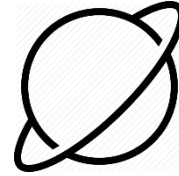
# 句法树打分

---

- 目标：为一个句子的每种句法树赋予一个概率或分数
- 为什么？消除歧义
- 歧义
  - 一个句子可能对应多个句法树
  - 歧义在自然语言中无处不在

# 歧义

## □ Astronomers saw stars with ears



# 句法树打分

---

- 目标：为一个句子的每种句法树赋予一个概率或分数
- 为什么？消除歧义
- 常用方法
  - 把一棵句法树分解成多个部分
  - 每个部分赋予一个概率或分数
  - 把所有概率或分数求和或求积

# 句法分析

---

- 目标：为给定句子找出分数最高的句法树
- 常用方法：
  - 动态规划
  - 贪心搜索/束搜索



# 从语料库中学习句法分析器

- 有监督方法
  - 需要为训练语料中的句子标注句法树（树库）
- 无监督方法（文法归纳）
  - 从无标注训练语料中归纳出句法分析器

## 训练语料

A square is above the triangle.  
A triangle rolls.  
The square rolls.  
A triangle is above the square.  
A circle touches a square.  
.....

学习

## 句法分析器

```
S → NP VP
NP → Det N
VP → Vt NP (0.3)
    | Vi PP (0.2)
    | rolls (0.2)
    | bounces (0.1)
.....
```

# 成分句法分析的评价指标

## 评价指标

### □ 精度

$$Precision = \frac{\text{句法分析器结果中正确的成分数量}}{\text{句法分析器结果中的成分数量}}$$

### □ 召回

$$Recall = \frac{\text{句法分析器结果中正确的成分数量}}{\text{真实结果中的成分数量}}$$

### □ 标记精度 (labeled precision) 与标记召回 (labeled recall) 的计算中, 需非终极结点上的标记正确才记为正确

### □ F1是精度与召回的调和平均

$$F1 = \frac{2 * Precision * Recall}{(Precision + Recall)}$$

# 成分句法分析的评价

## 示例

### □ 正确结果

S-(0:11), NP-(0:2), VP-(2:9), VP-(3:9), NP-(4:6), PP-(6:9), NP-(7:9), NP-(9:10)

### □ 句法分析器结果

S-(0:11), NP-(0:2), VP-(2:10), VP-(3:10), NP-(4:6), PP-(6:10), NP-(7:10)

### □ 评价指标计算

$$Precision = \frac{3}{7} = 42.9\%$$

$$Recall = \frac{3}{8} = 37.5\%$$

$$F1 = \frac{2 * Precision * Recall}{(Precision + Recall)} = 40\%$$

# 成分性 (Constituency)

---

## 成分 (Constituent)

- 句中的能作为独立单元 (unit) 的一组单词
  - 例: The fox jumps over the dog
- 单元按照以下特征被分为多类
  - 内部结构 )))
  - 与语言中其他 (外部的) 单元的关系
- 例: 名词短语类

# 成分性

比如我们可以说下面的单元都是英文中的名词短语

The Great Wall

A great team such as Prof. Tu' s

Oriental Pearl TV Tower

The time the cat jump into the room

them

Two students from Nanjing

## 为什么？

### □ 内部结构相似

- 如：限定词 + 修饰语 + 名词 + 修饰语

### □ 与外界单元的关系相似

- 如：都能出现在动词之前

# 文法 (Grammar) 和成分性

---

## 文法

- 有哪些成分，这些成分可以如何组合

上下文无关文法 (CFGs) → 描述文法的多种理论之一

- 又名：短语结构文法 (Phrase structure grammars)
- 最简单和最基础的文法形式之一

# 上下文无关文法

---

4个部分:

□ 终极符 (terminal) 集合  $\Sigma$

← 单词

□ 非终极符 (nonterminal) 集合  $N$

← 短语

□ 起始符 (start symbol)  $S \in N$  (一种页数的非终极符)

□ 产生式规则 (production rule) 集合  $R$

- 描述由一个非终极符生成一串终极符和非终极符的方式

# 文法示例

语法规则		示例
S	→ NP VP	I + want a morning flight
NP	→ Pronoun	I
	Proper-Noun	Los Angeles
Nominal	Det Nominal	a + flight
	→ Nominal Noun	morning + flight
VP	Noun	flights
	→ Verb	do
	Verb NP	want + a flight
	Verb NP PP	leave + Boston + in the morning
PP	Vert PP	leaving + on Thursday
	→ Preposition NP	from + Los Angeles



## 文法示例

Noun →	<i>flights</i>   <i>breeze</i>   <i>trip</i>
Verb →	<i>morning</i>
Adjective →	<i>is</i>   <i>prefer</i>   <i>like</i>   <i>need</i>   <i>want</i>   <i>fly</i>
Pronoun →	<i>cheapest</i>   <i>non-stop</i>   <i>first</i>
Proper-Noun →	<i>latest</i>   <i>other</i>   <i>direct</i>
Determiner →	<i>me</i>   <i>I</i>   <i>you</i>   <i>it</i>
Preposition →	<i>Alaska</i>   <i>Baltimore</i>   <i>Los Angeles</i>
Conjunction →	<i>Chicago</i>   <i>United</i>   <i>American</i> <i>the</i>   <i>a</i>   <i>an</i>   <i>this</i>   <i>these</i>   <i>that</i> <i>from</i>   <i>to</i>   <i>on</i>   <i>near</i> <i>and</i>   <i>or</i>   <i>but</i>

# 序列生成

---

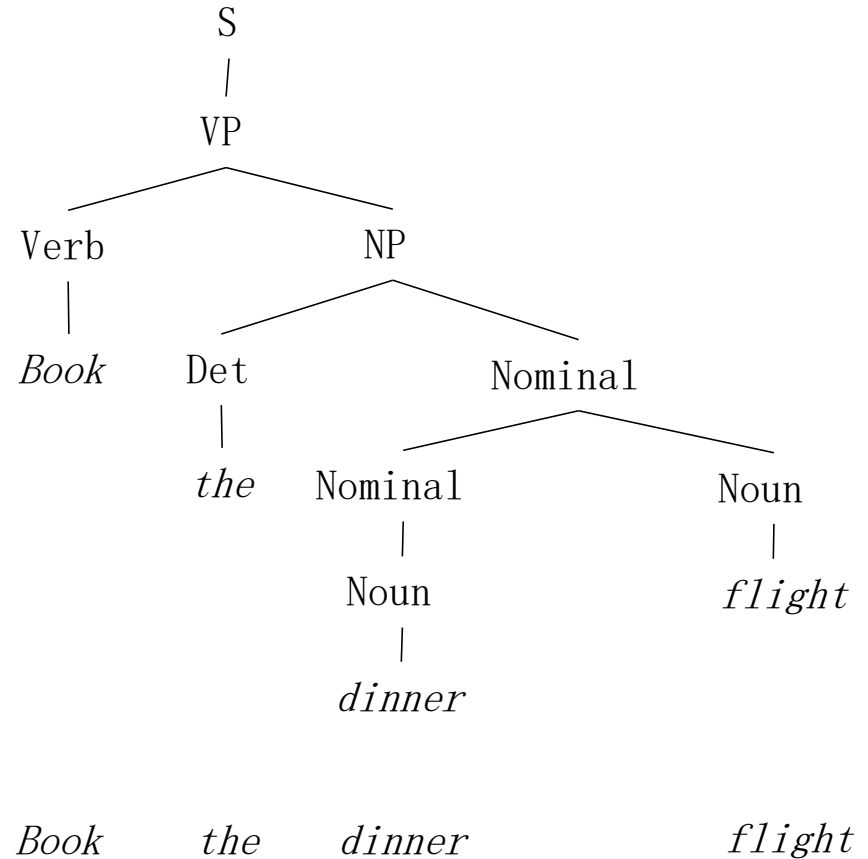
## □ 可以使用文法进行序列生成

- 从只包含起始符  $S$  的序列开始
- 递归地按照规则重写序列
- 当序列中只包含终极符时停止

## □ 该生成过程给出了这个序列的语法结构（句法树（parse tree））

# 序列生成示例

S → NP VP  
S → Aux NP VP  
S → VP  
NP → Pronoun  
NP → Proper-Noun  
NP → Det Nominal  
NP → Nominal  
Nominal → Noun  
Nominal → Nominal Noun  
Nominal → Nominal PP  
VP → Verb  
VP → Verb NP  
VP → Verb NP PP  
VP → Verb PP  
VP → Verb NP NP  
VP → VP PP  
PP → Preposition NP  
.....



# 句法分析 (Sentence Parsing)

---

- 以字符串和文法作为输入，输出该字符串的一个或多个句法树的过程
  - 如果无法按照文法产生句法树，则该字符串不属于该文法对应的语言
- 算法：
  - CYK
  - Earley
  - ...

# 概率文法 (Probabilistic Grammars)

---

□ 又名随机文法 (stochastic grammars)

□ 为每条规则赋予一个概率

$$\alpha \rightarrow \beta : P(\alpha \rightarrow \beta | \alpha)$$

□ 句法树的出现概率为它包含的所有规则的概率之积

# 歧义

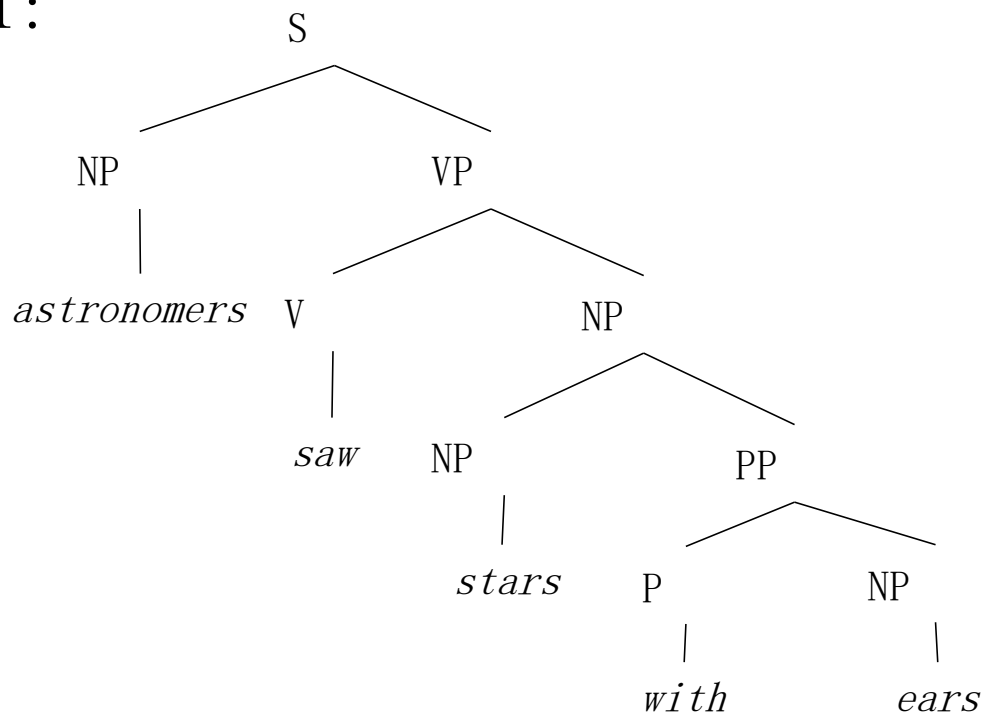
---

- 当一句话对应多个合法的句法树时，这句话是有歧义的
  - 即这句话可能有多种解释
- 例：
  - Astronomers saw stars with ears.

# 示例

S → NP VP	1.0
PP → P NP	1.0
VP → V NP	0.7
VP → VP PP	0.3
P → <i>with</i>	1.0
V → <i>saw</i>	1.0
NP → NP PP	0.4
NP → <i>astronomers</i>	0.1
NP → <i>ears</i>	0.18
NP → <i>saw</i>	0.04
NP → <i>stars</i>	0.18
NP → <i>telescopes</i>	0.1

t1:

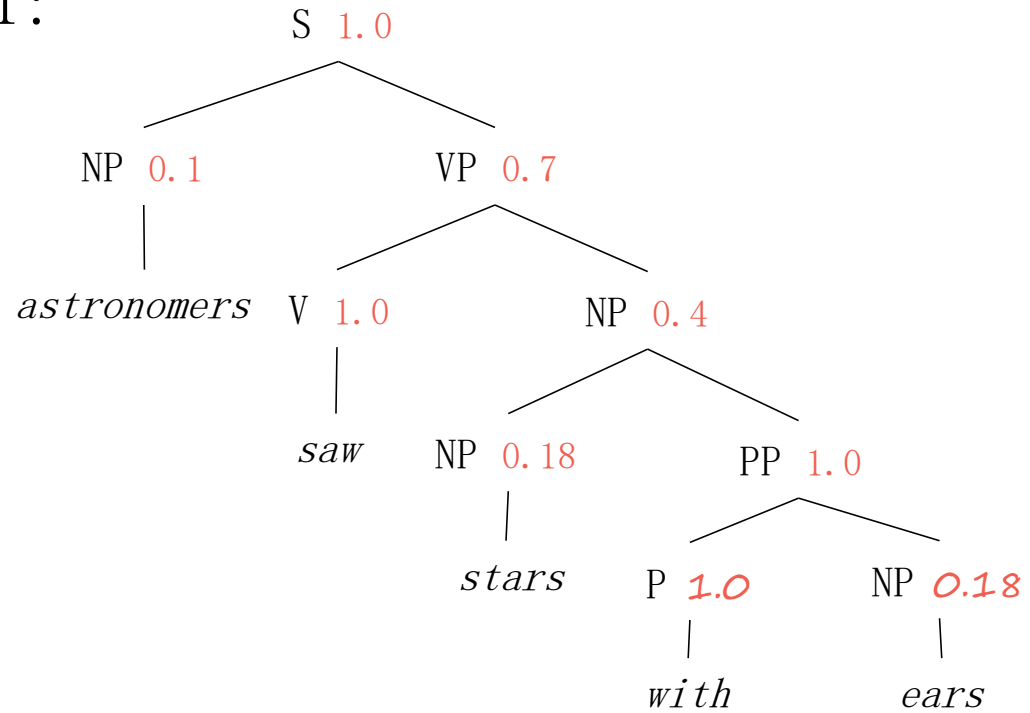


$P(t1) = ?$

# 示例

S → NP VP	1.0
PP → P NP	1.0
VP → V NP	0.7
VP → VP PP	0.3
P → <i>with</i>	1.0
V → <i>saw</i>	1.0
NP → NP PP	0.4
NP → <i>astronomers</i>	0.1
NP → <i>ears</i>	0.18
NP → <i>saw</i>	0.04
NP → <i>stars</i>	0.18
NP → <i>telescopes</i>	0.1

t1:



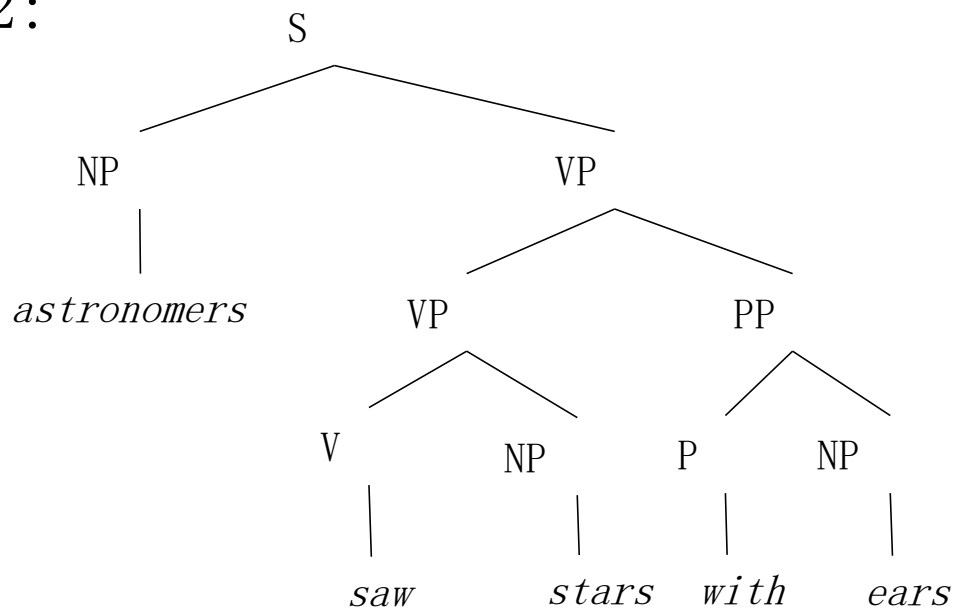
$$P(t1) = 1.0 \times 0.1 \times 0.7 \times 1.0 \times 0.4 \times 0.18 \\ \times 1.0 \times 1.0 \times 0.18 = 0.0009072$$



# 示例

S → NP VP	1.0
PP → P NP	1.0
VP → V NP	0.7
VP → VP PP	0.3
P → <i>with</i>	1.0
V → <i>saw</i>	1.0
NP → NP PP	0.4
NP → <i>astronomers</i>	0.1
NP → <i>ears</i>	0.18
NP → <i>saw</i>	0.04
NP → <i>stars</i>	0.18
NP → <i>telescopes</i>	0.1

t2:

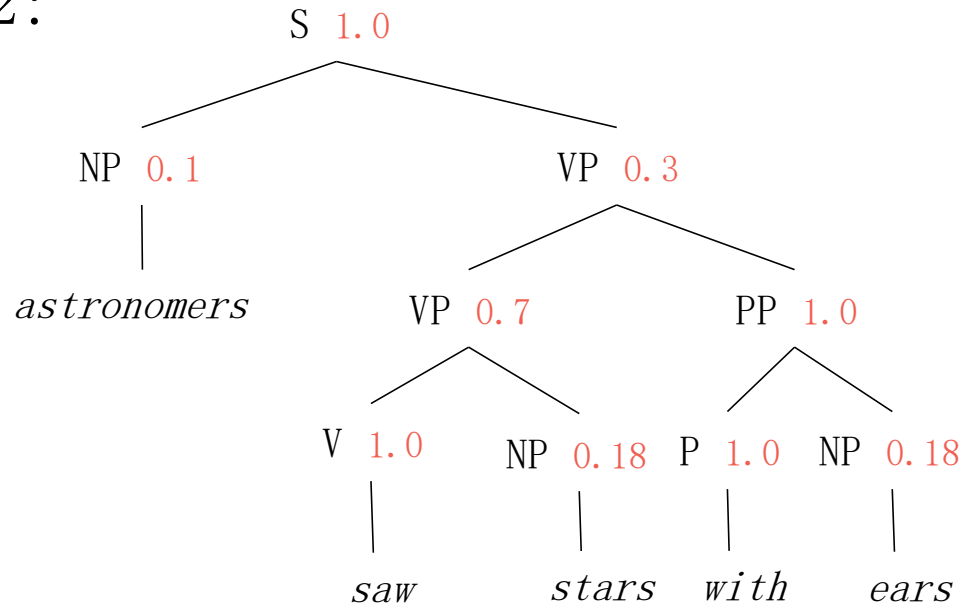


$P(t2) = ?$

# 示例

S → NP VP	1.0
PP → P NP	1.0
VP → V NP	0.7
VP → VP PP	0.3
P → <i>with</i>	1.0
V → <i>saw</i>	1.0
NP → NP PP	0.4
NP → <i>astronomers</i>	0.1
NP → <i>ears</i>	0.18
NP → <i>saw</i>	0.04
NP → <i>stars</i>	0.18
NP → <i>telescopes</i>	0.1

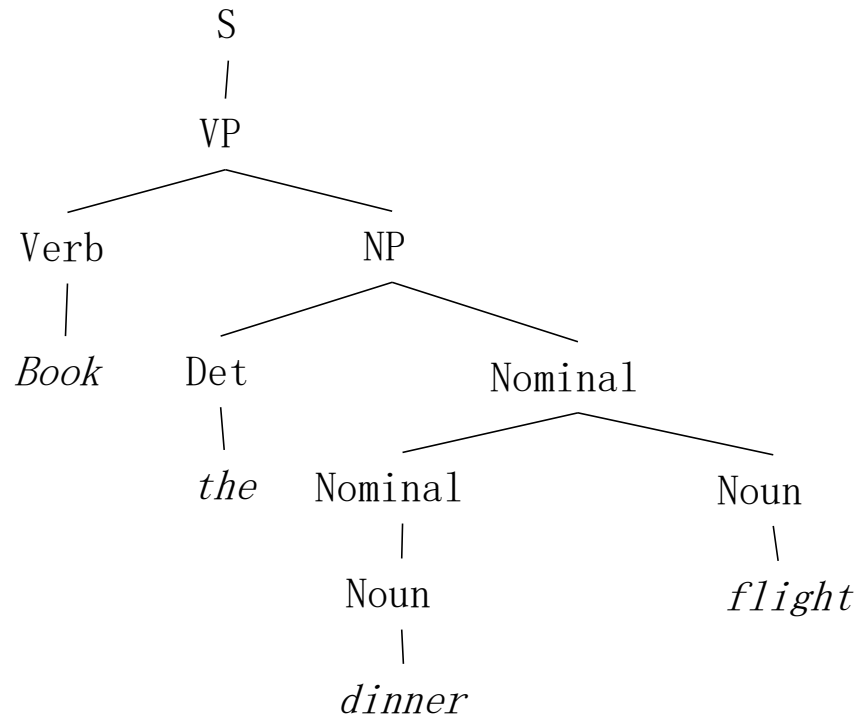
t2:



$$P(t2) = 1.0 \times 0.1 \times 0.3 \times 0.7 \times 1.0 \times 0.18 \\ \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.18 = 0.0006804$$

# 示例

S → NP VP	[. 80]
S → Aux NP VP	[. 15]
S → VP	[. 05]
NP → Pronoun	[. 35]
NP → Proper-Noun	[. 30]
NP → Det Nominal	[. 20]
NP → Nominal	[. 15]
Nominal → Noun	[. 75]
Nominal → Nominal Noun	[. 20]
Nominal → Nominal PP	[. 05]
VP → Verb	[. 35]
VP → Verb NP	[. 20]
VP → Verb NP PP	[. 10]
VP → Verb PP	[. 15]
VP → Verb NP NP	[. 05]
VP → VP PP	[. 15]
PP → Preposition NP	[1.0]
.....	



***Book the dinner flight***

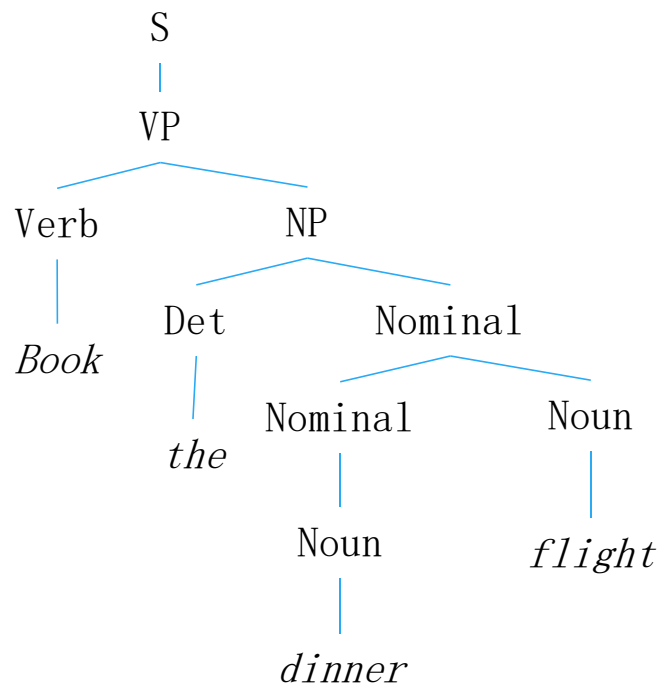
$$P(T) = .05 \times .20 \times .20 \times .20 \times .75 \times .30 \times .60 \times .10 \times .40 = 2.2 \times 10^{-6}$$

# 句法分析

## 句法分析

- 使用上下文无关文法的句法分析 (Parsing) 是指对输入字符串赋予合理的句法树 (Parse Trees) 的任务。

*Book the dinner  
flight*



讲者口误, 应是句法分析, 下同

# 句法分析

---

## 暴力搜索算法

- 枚举全部符合输入字符串的句法树。

## 缺陷

- 含 $n$ 个叶子节点的二叉树的数量是卡特兰数 (Catalan Number)  
 $C_{n-1}$
- 算法复杂度指数增长

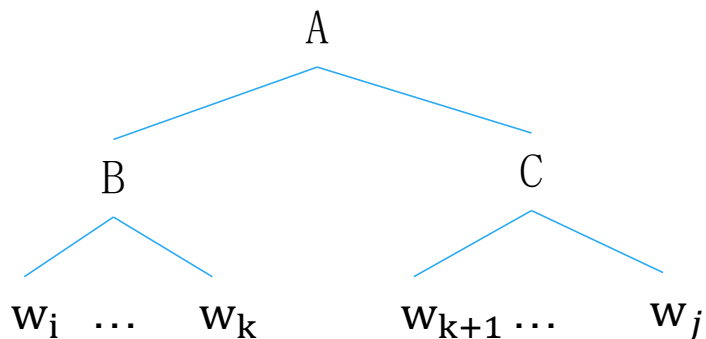
# 句法分析

## 动态规划算法

- 将原问题切分为若干个子问题
- 对较小的子问题的解可以在解决更大的子问题时复用

## 句法分析中的子问题

- 对位置  $i$  和  $j$  之间的子字符串进行句法分析



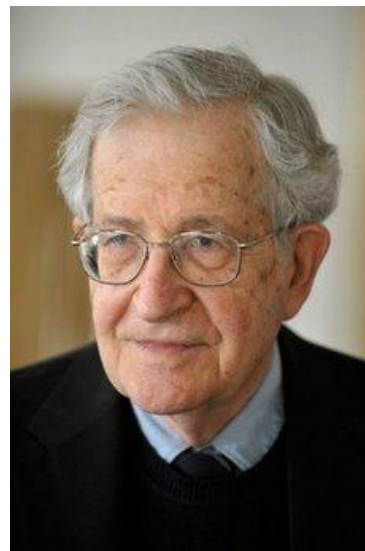
# Cocke-Kasami-Younger (CKY, 又称CYK) 算法

## CKY算法

- 一种自底向上的动态规划算法
- 应用于用CNF (Chomsky Normal Form, 乔姆斯基范式) 表达的上下文无关文法

## CNF

- 仅有两种产生式规则 (Production Rules)
  - $A \rightarrow B, C$
  - $A \rightarrow w$



Noam Chomsky

# 问题

---

如何应对文法不用CNF表示的情况？

## 解决方案

- 任意的上下文无关文法均可自动地重写为CNF形式
  - 转化之后的文法与之前的文法对于相同的字符串是否符合该文法的判断是一致的
  - 生成的句法树则有所区别（二叉树）



# CFG转化CNF

---

## 转化方法

- 消除一元产生式规则链
  - 形如  $A \rightarrow B, B \rightarrow C$  , 将转化为  $A \rightarrow C$
- 在文法中引入新的中介非终结符来划分长度大于2的多元产生式规则
  - 形如  $S \rightarrow A B C$  可转化为  $S \rightarrow X C$  与  $X \rightarrow A B$
  - $X$  是在原文法中未出现的新的非终结符

# CFG转化CNF

$S \rightarrow NP VP$

$S \rightarrow Aux NP VP$

$S \rightarrow VP$

$NP \rightarrow Pronoun$

$NP \rightarrow Proper - Noun$

$NP \rightarrow Det Nominal$

$Nominal \rightarrow Noun$

$Nominal \rightarrow Nominal Noun$

$Nominal \rightarrow Nominal PP$

$VP \rightarrow Verb$

$VP \rightarrow Verb NP$

$VP \rightarrow Verb NP PP$

$VP \rightarrow Verb PP$

$VP \rightarrow VP PP$

$PP \rightarrow Preposition NP$

$S \rightarrow NP VP$

$S \rightarrow X1 VP$

$X1 \rightarrow Aux VP$

$S \rightarrow book | include | prefer$

$S \rightarrow Verb NP$

$S \rightarrow X2 PP$

$S \rightarrow Verb PP$

$S \rightarrow VP PP$

$NP \rightarrow I | she | me$

$NP \rightarrow TWA | Houston$

$NP \rightarrow Det Nominal$

$Nominal \rightarrow book | flight | meal | money$

$Nominal \rightarrow Nominal Noun$

$Nominal \rightarrow Nominal PP$

$VP \rightarrow book | include | prefer$

$VP \rightarrow Verb NP$

$VP \rightarrow X2 PP$

$X2 \rightarrow Verb NP$

$VP \rightarrow Verb PP$

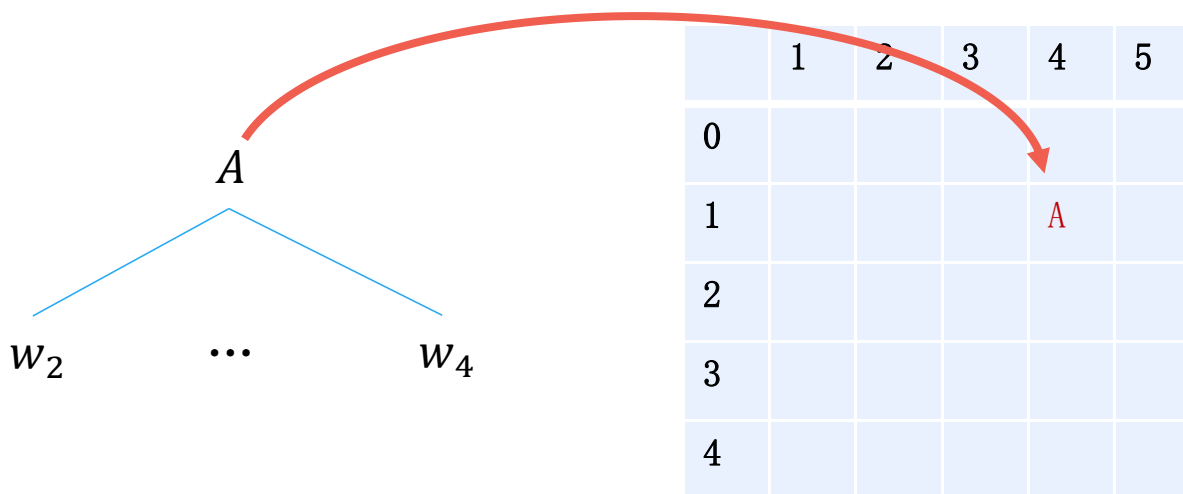
$VP \rightarrow VP PP$

$PP \rightarrow Preposition NP$

# CKY算法

## CKY算法

- 生成一个表格，使生成输入字符串中位置  $i$  到  $j$  子串的非终结符  $A$  放在表格中单元格  $[i-1, j]$  的位置



- 生成整个字符串的非终结符将位于单元  $[0, n]$ 
  - 特别地，若该字符串符合该文法中的完整句法构造，对应的非终结符则为  $S$

# CKY算法

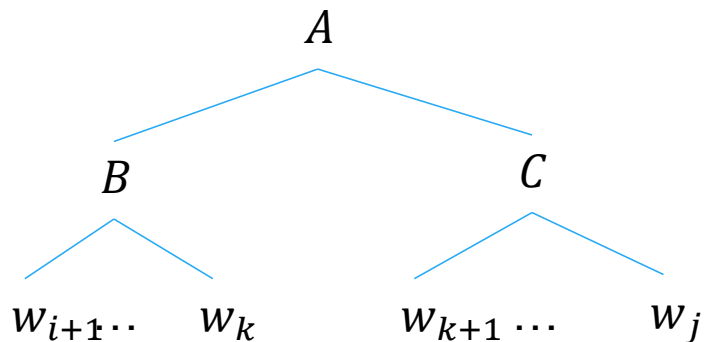
## CKY算法

### □ 基本情况:

- 当且仅当存在规则  $A \rightarrow w_i$  时  $A$  填充在单元格  $[i-1, i]$

### □ 递归:

- 当且仅当存在规则  $A \rightarrow BC$  与  $k$  使  $B$  在单元格  $[i, k]$  且  $C$  在单元格  $[k, j]$  时,  $A$  填充在单元格  $[i, j]$



# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0					
1					
2					
3					
4					

# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det				
1					
2					
3					
4					

# CKY算法示例

## 输入字符串

The *flight* includes a meal.

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det				
1		N			
2					
3					
4					

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2					
3					
4					



# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2			V		
3					
4					

# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2			V		
3				Det	
4					

# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2			V		
3				Det	
4					N

# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2			V		
3				Det	NP
4					N

# CKY算法示例

## 输入字符串

*The flight includes a meal.*

## 文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			
1		N			
2			V		VP
3				Det	NP
4					N

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP			S
1		N			
2			V		VP
3				Det	NP
4					N

# CKY句法分析

---

## 问题

以上介绍的算法是一个句法分析器吗？

- 句法分析希望得到一个句法树，而非一个是非答案

## 解决方案

- 增加回溯指针，使每一个状态可以回溯其来源
- 在填表之后，（从起始符）递归地自顶向下分析句子成分

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow Det N$

$VP \rightarrow V NP$

$V \rightarrow includes$

$Det \rightarrow the$

$Det \rightarrow a$

$N \rightarrow meal$

$N \rightarrow flight$

	1	2	3	4	5
0	Det → NP	→ S			
1		N			↑ S
2			V → VP		↑ VP
3				Det → NP	↑ NP
4					N



# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

	1	2	3	4	5
0	Det N	??			
1		N			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

	1	2	3	4	5
0	Det → NP N	↑			
1		N			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

	1	2	3	4	5
0	Det N	NP			
1		N			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP	??		
1		N	NP		
2			PP		
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

	1	2	3	4	5
0	Det	NP	NP		
1		N	NP		
2			PP		
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N$

$NP \rightarrow N N$

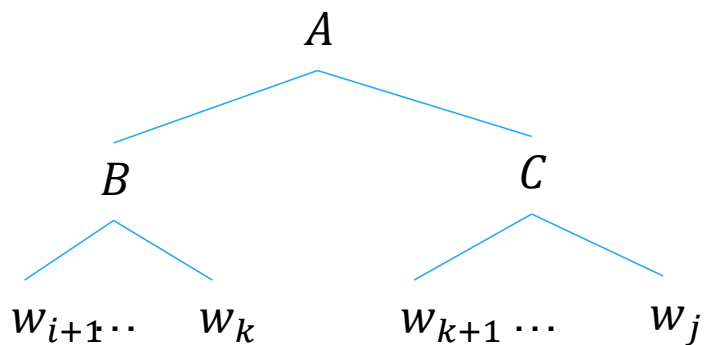
	1	2	3	4	5
0	Det	NP	NP		
1		N	NP		
2			PP		
3					
4					

# 概率句法分析

## 概率句法分析

- 对于概率文法，例如 PCFG，找出对于输入字符串最大概率的句法树
- 对于输出表格的单元格  $[i-1, j]$ ，对每一个非终结符  $A$ ，附上以  $A$  为根节点，覆盖位置  $i$  到  $j$  的子字符串的最优句法树的概率
- 递归式：

$$P_{A,i,j} = \max_{B,C,k} P(A \rightarrow B C) \times P_{B,i,k} \times P_{C,k,j}$$



# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0					
1					
2					
3					
4					



# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP [ .80 ]$

$NP \rightarrow Det N [ .30 ]$

$VP \rightarrow V NP [ .20 ]$

$V \rightarrow includes [ .05 ]$

$Det \rightarrow the [ .4 ]$

$Det \rightarrow a [ .4 ]$

$N \rightarrow meal [ .01 ]$

$N \rightarrow flight [ .02 ]$

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4				
1					
2					
3					
4					

# CKY算法示例

输入字符串

The *flight* includes a meal.

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4				
1		N 0.02			
2					
3					
4					

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2					
3					
4					

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2			V .05		
3					
4					

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2			V .05		
3				Det 0.4	
4					

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2			V .05		
3				Det 0.4	
4					N 0.01

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2			V .05		
3				Det 0.4	NP 0.0012
4					N 0.01

# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			
1		N 0.02			
2			V .05		VP 0.00001 2
3				Det 0.4	NP 0.0012
4					N 0.01



# CKY算法示例

输入字符串

*The flight includes a meal.*

文法

$S \rightarrow NP VP$  [.80]

$NP \rightarrow Det N$  [.30]

$VP \rightarrow V NP$  [.20]

$V \rightarrow includes$  [.05]

$Det \rightarrow the$  [.4]

$Det \rightarrow a$  [.4]

$N \rightarrow meal$  [.01]

$N \rightarrow flight$  [.02]

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4	NP .0024			S 0.00000 002304
1		N 0.02			
2			V .05		VP 0.00001
3				Det 0.4	NP 0.0012
4					N 0.01

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N [0.7]$

$NP \rightarrow N N [0.3]$

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4 N 0.8				
1		N 0.02			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N [0.7]$

$NP \rightarrow N N [0.3]$

	1	2	3	4	5
0	Det → 0.4 N 0.8	NP .0056 ↑			
1		N 0.02			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N [0.7]$

$NP \rightarrow N N [0.3]$

	1	2	3	4	5
0	Det 0.4 N 0.8	NP .0048			
1		N 0.02			
2					
3					
4					

# 歧义

## 文法

$NP \rightarrow Det N [0.7]$

$NP \rightarrow N N [0.3]$

	1	2	3	4	5
0	Det → 0.4 N 0.8	NP .0056			
1		N 0.02			
2					
3					
4					