NLP基础技术：词法分析（词性标注和词义标注）；句法分析（判断成分和句法结构，有完全/浅层句法分析）；语义分析；语用分析（具体运用）；篇章分析（整体理解分析）

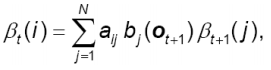
NLP应用技术：机器翻译，信息检索，情感分析，自动问答，自动文摘，社会计算，信息抽取，

正则表达式：[A-Z]（从A到Z），[123]（匹配1或2或3），[^a]（不是a），[a^]（a和^，因为只在[后有效），a|bc（替代产生式），?（上一个字符是可选的），+（出现一次或者更多次），\*（出现0次或者更多次），.（点，匹配任意单个字符），$（在结尾匹配，加在RE的最后），^（在开头匹配，加载RE的最前）

错误的类别：假阳性（不该匹配却匹配，精确度），假阴性（该匹配却没有匹配，覆盖率）

词元（Lemma）：同一个词干（stem）和词性（part of speech），大致相同的词义

词形（Wordform）：词的表面形式（把单复数啥的变化都加上）

词型（Type）：一个单词

词例（Token）：词型在文章中的一个实例

中文分词：Baseline方法是贪心(最长匹配)法

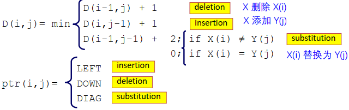
形态学（Morphology）：研究单词是如何从语素构造

语素（Morpheme）：词干（Stem）和词缀（Affix）

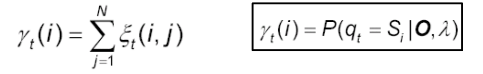
两种广义的构造形式：①屈折（Inflectional）：不改变词类的词缀（walk, walking）②派生（Derivational）：改变意思和词类（clue, clueless）

词干还原（Stemming）：只关心词干，不关心结构，常用于信息检索应用；比如Porter Stemmer，基于规则去词缀，不保证产生真实词干，但不影响IR。

断句（Segmenting Sentences）：用二分类器（EOS/NotEOS），基于规则或ML来判断句号是否为一句话的结束

最小编辑距离：在插入，删除和替代意义下的最少编辑距离；应用：评估机器翻译和语音识别的效果；命名实体（Named Entity）识别和指代（Entity Coreference）识别；解法：设为和的最短编辑距离，目标是让A靠近B。Levenshtein 插入和删除代价为1，替换代价为2。

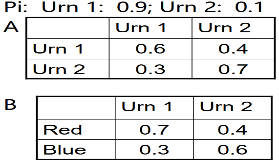
初始化

如果Xi=Yj，则认为在这里是对齐的；为了跟踪对齐情况，仿照LCS维护一个箭头数组跟踪insert（LEFT），delete（DOWN），subst（DIAG）；时间复杂度O(nm)，输出O(n+m)

带权最小编辑距离：维护单个字母del和ins权重，两字母之间sub权重；用于修正一些拼写错误

语言模型：，但是由于数据不足，假设Markov性质成立；Bigram为Markov链，预测用MLE，即P(W\_i | W\_{i-1})=count(Wi-1,Wi)/count(Wi-1)

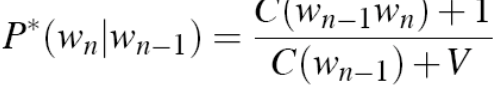
Shannon可视化方法：根据概率选<s>，然后根据给定词为条件，出现下一个词的概率选，直到选择</s>

Unigram(不用条件概率); Bigram(用上个为条件); Trigram; Quadrigram

封闭词汇任务和开放词汇任务（没见过的替换为<UNK>）

评价N-gram模型：①外在评测，Word Error Rate；②内在评测，用困惑度（Perplexity，多用于先期自测）：

最小化PP就是最大化整个句子在模型中的出现概率；开N次根号用来做某种关于模型状态空间的归一化补偿；可以使用条件概率展开

问题：①过拟合，测试集和训练集相差很大则效果不好；②很多概率是0：进行平滑：⑴Laplace平滑，每个Ci都加一，则；

Bigram 如上。

加k法缺点是对于0太多的数据集，非0的概率会极大稀释⑵Good-Turing平滑法，用p0 = N1/N ，其中为出现x次的词的出现次数。

回退（Backoff）：如果更高阶的Markov没有出现，就回退到用低阶的Markov过程对概率进行估计

内插（Interpolation）：将不同阶输出结果线性插值，权重可以和前面的词相关；采用搜索算法找到最优权重（比如EM算法）

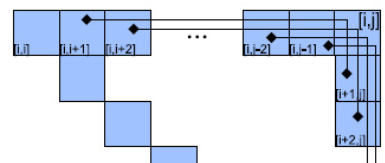
应用上我们一般用来算对应的乘法：避免下溢+加快速度

N-gram优点：容易构建，可以使用平滑来适应新数据；缺陷：只有在测试集与训练集比较相似的情况下表现较好，只能捕捉到较短的结果；神经网络：适应能力强，但训练消耗相对较大

词类标注（POS Tagging）：①基于规则的方法②概率方法(HMM)

基准方法：无脑选最大类，查表+无脑选，RE方法

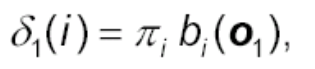
HMM：一些状态S，一些观测值O，关于状态S的转移概率矩阵，输出概率矩阵，即S=i时观测值为k的概率，以及初始状态S的概率分布

HMM Tagging：隐状态是各个POS，输出是各个词本身的HMM；①（评估或计算得分问题）如何计算**给定观察序列**出现的概率？②（解码问题）给定观察序列，如何计算最优的隐状态序列？③（训练问题）如何调整模型参数来最大化某特定观察序列的概率？定义a为状态转移概率，b为观察概率。

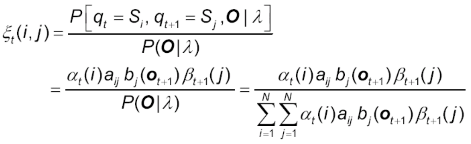
对于①，定义，即第t个观察值对应的隐状态为i时的输出概率，则有递推关系

成立；P(O|λ)=；此方法也可以用来反向计算（Backward Algorithm）：先初始化βT = 1

对于②，使用Viterbi算法，定义，即给定前t个观察序列下前t-1个隐状态最优，第t个状态为i的概率，则递推关系如下：



；同时，为了记忆最优状态，设置（每个t都要记录N次，最后回溯）；为了加速也可以进行对数化。

对于③，现在还没有全局最优解，思路大概有⑴梯度下降⑵EM或者Baum-Welch迭代搜索；重估计的一种方法如下：

则表示从Si转移到Sj的期望总转移边数，表示从Si转移出去的总期望边数；那么，可以得到新的估计转移概率和输出概率，，（表示在观察到符号k）；<UNK>在处理中可以根据形态学猜测其词性（比如-s,-able等）

Forward 就是加起来

重新估计转移矩阵：比如 1-1, 1-2,用有 1-1 转移的序列概率乘转移次数，1-2 转移的序列概率乘转移次数，两者归一化。

最大熵马尔可夫链：状态是由观察值和上一个状态生成的，优化可以直接用最大似然估计，给定观察序列之后哪种隐状态的序列概率最高

评估：用人来分词，作为金标准（97%左右），和机器结果进行比较，得到Confusion Matrix

英语核心构成：句子（表达完整的思想），子句（有一个动词），短语（一种词的聚合）

用CFG解析文法的问题：①一致关系（名词代词和动词的单复数形式应该对应，可以细化语法产生式，但不够简洁美观，泛化能力不够强）②次范畴化（谓语和后边的“参数”类型应该满足一些语义上的约束）；对谓语（基本是动词）进行次范畴化，约束框架称为次范畴化框架，增加语法规则③移位（倒装等特殊句式使动词和宾语的位置发生变化，用CFG很麻烦）

依存文法：记录词之间的论旨角色，一般是二元的；没有非终结符。

文法库的来源：①手工构造②TreeBanks，根据POS过的句子自动生成文法，自动解析，手工修正。

解析文法：DP方案，有效存储二义句子；CKY自底向上O(n^3)，Earley自顶向下O（n^3）

CKY：文法全部写为Chomsky范式（A->BC或A->w）；索引0,1,…,n分别代表第一个单词前，第二个，第n个单词后；CKY表格中填写可能的非终结符，计算table[i,j] 时穷举从i+1到j-1这些可能分隔，并且检测其是否是有效的Chomsky范式；不是Chomsky范式的文法可以重写成Chomsky的。

缺陷：可能产生一些无关的成分

Partial Parsing:只处理大的组块（chunk）在哪；基于规则的部分Parsing：去掉规则集中的递归元素（变成正则文法）；基于ML的Chunking：一个序列分类任务，其把词分为三类“开始，内部和外部”，外部表示其不在任何组块中，内部表示其在某组块中（比如I\_NP在NP中），开始表示其为某块的开始（比如B\_NP）

概率CFG：给文法规则都赋一个概率，用来解决二义性，同时模仿人类解析语言的过程；非二义的情况下就是该文法的概率，二义的情况是n者相加；解析树的每个NT都放有一个概率值；注意，对来说概率其实是，只是DP的时候和肯定都已经计算出来了；如果有种B和C（来源于不同的分点，但是都合法）则取最大概率的那种

求PCFG文法概率：用Treebank里面的数据进行统计

或者按确定性语法进行Parse后进行重新估计得出概率。由此可以有改进的 maxprob CKY。

PCFG的问题：没有考虑到推导环境的上下文（只基于很小的上下文得到一个概率），导致最优推导和TreeBank中的实际推导存在很大差异

解决方案：①父节点标注，将非终结符一分为n，每个都标上其父节点的信息（NP→NPSubject），但是增加了语法复杂性，并且需要更多数据②中心词（NP的中心词是名词，VP的中心词是动词，PP的中心词是介词），现在文法符号变成类似VP(中心词)；由于句子太少，规则不变，PCFG的概率变成类似P(r|VP^dumped) = Count(这个规则用在dump上)/Count(dump作为中心词出现次数)；这其实是一种次范畴化；同时，应该加入一种优先级，描述中心词和上层文法之间的选择亲和性。

Parser评估：采用构成评估（Constituent-level Evaluation），分为覆盖率（Recall，你的解析结果中正确【即有相同节点标签和正确分点的节点】的节点数/treebank中的相应constitent节点数）和精准度（Precision，你的解析结果中正确的节点数/你的解析结果中的节点数）

Recall = 2/5; Precision = 2/4;

交叉括号（Cross Brackets）：treebank has ((X Y) Z) and candidate has (X (Y Z)) 的情形；这个应该作为客观的函数来最小化

上述方法的缺点：会更偏向“安全的，浅的解析”；部分错误可能不停向上传播，导致很多交叉括号的情况；将所有节点一视同仁，而不是更关注核心的语义关系

四种向量语义模型：①稀疏向量表示⑴以互信息（Mutual-information）为权重的单词关联矩阵②稠密向量表示⑴奇异值分解和潜在语义分析（Latent Semantic Analysis）⑵各种神经网络模型（Skip-grams, CBOW）⑶Brown clusters

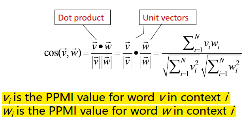
词项-文档矩阵（Term-Document Matrix），tf\_(t,d)表示词t在d文档中出现的次数；两列相近则两个文档相近；两个行相近则两个词相近。

词-词（word-word）矩阵：又叫词-上下文（word-context）矩阵，a\_ij表示在每次单词i的±7（或者别的数）的范围内出现单词j的次数之和；矩阵会比较稀疏，并且窗口大小和目标有关（窗口越小语法信息越多，窗口越大语义信息越多）

两个单词间的两种互相关（co-occurrence）：①一阶互相关（syntagmatic组合），这些词基本都靠在一起，比如wrote和book ②二阶互相关（paradigmatic聚合），这些词的邻居相近，比如wrote和said

直接计数（raw counts）的问题：直接用原始词频考察词-词相关性会有很大偏差，比如”the”和”of”一起出现的频率非常高，但是词义不一定是最贴近的；为了修正，用PPMI（点间互信息，Positive Pointwise Mutual Information）来进行修正：PPMI(X,Y)= ；f\_ij定义为w\_i出现在以c\_j为上下文的中心词当中的频数，则p\_ij，p\_(i\*)和p\_(\*j)均容易求得。

PMI会向出现较少的事件倾斜，解决方法：①给稀有事件更高概率： ，其中 ,α为一个预先给定的值（如0.75），此方法可以平滑较大和较小的概率②用加一平滑法（差不多）

相似性度量：采用向量夹角来归一化内积；

Vi和Wi分别是v和w在上下文i的PPMI值；因为PPMI非负，故cos值在0-1之间

其它定义上下文的方法：通过语法环境，比如一个名词可以被那些形容词修饰，或者做哪些动词的宾语；于是，一个向量用Relation\*|V| 个关系进行修饰，比如“subject-of, absorb”这种；另一种方法是将上下文定义成“counts of words that occur in one of R

Dependencies“，而不是直接用滑动窗口，比如” M(“cell”,”absorb”) = count(subj(cell,absorb))

+ count(obj(cell,absorb)) + count(pobj(cell,absorb)),

etc.“

PPMI的替代指标：tf-idf（term-frequency词的频率和inverse document frequency），其中df\_i表示number of documents with word i，N是文档的总数；则 成立。

PPMI方法本身构造的是稀疏向量

稠密向量的优势：稠密向量更容易捕获“同义“

构造稀疏向量的方法：⑴SVD，PCA，成分分析；压缩后的词项-文档矩阵可以作为一种潜在语义分析，而PPMI Word-Word矩阵的SVD可以生成词嵌入向量⑵Skip-grams, CBOW：在猜测词的过程中产生词向量，通过训练一个神经网络来猜测临近词的意思，优势是比SVD快很多倍，并且可以调word2vec包；Skip-grams预测临近的2C个词：（因为训练目标是重建损失最小，输出向量在训练完成时会基本等于输入向量，则输出也是近似One-hot的）

训练目标是让重建旁边词的损失最小（用自己这个词取猜旁边的词=skipgram），同时让输出更不像随机选择的k个单词；Skipgram可以证明和PMI有关

⑶Brown clusters：一种根据词的前后的词的聚合进行聚类的算法；一开始每个词都在一个等价类中，然后让相似的上下文的词进行cluster，这个cluster操作可以看成一种二元操作，其可以生成一个二叉树，这个二叉树按编号读出来就是其词向量；相似的词其向量的距离也比较近。

Lexical Semantics (词汇语义学)

Word sense（词义）

-Homonyms (同形/同音异义词)；Polysemy (多义关系)

WordNet

是一个反应词汇之间关系的数据库，和传统词典不同：Meaning-based 遍历；结构：语义关系+同义词集

语义关系：词之间关系，概念之间关系

同义词集：同义词是最重要的关系，wordnet 中的关系是建立在同义词集之间的，同义词是概念的例示

Super sense 可以作为词义的粗粒度表示

动词的同义词集：使用方式词连接；支持继承；时序关系更重要

形容词的同义词集：1. 描述类 2. 关系类 3. 有情感色彩类

Wordnet 可以看作一个稀疏数据库，是单词和同义词集之间的真值表（属于为 1，不属于为 0）

Wordnet 可以被 POS 限制，分为 Paradigmatic (组合) relations (within POS) 和 syntagmatic (聚合) relations (across POS)；主要有 4 类彼此未连接的 wordnet：动词、名词、形容词、副词

Wordnet 存在的问题：1. 关系未加权 2. 非常稀疏 3. 关系可能不直接 4. 未实现相互唤起 5. Types 和 roles 未分离

Wordnet 是一种词汇上的本体论

Word Similarity

同义是一种严格的 0/1 关系，而相似性是两个单词的某个语义相似即可，更宽松；相似性和关联性不同

基于词库的相似性判断

1. Path-based 相似性

c1, c2 是两个含义节点

Pathlen(c1, c2) = 1 + edges(c1 to c2)

Simpath(c1, c2) = 1/Pathlen(c1, c2)

Wordsim(w1, w2) = 两个词最相近的两个含义的 simpath

问题：每条边的权重一样，层次越高越抽象；我们希望：每条边权重相互独立，只通过抽象节点连接的相似性较低

2. Information Content similarity

P(c) 是在语料中随机抽取一个词，属于concept c 的概率，特别地 P(root) = 1

Self-information: l(w) = -log2 P(w) 表明我们从事件发送得到信息量的多少

Information Content = -ln P(c)

最小公共包含：LCS(c1, c2) = 同时包含 c1, c2的最低层的节点

Sim\_resnik(c1, c2) = -ln P(LCS(c1, c2))

Sim\_lin(c1, c2) = 2ln P(LCS(c1, c2))/(ln P(c1) + ln P(c2))

分布式相似性判断

Inside words

词语本身语义，使用“主题”表达，加入限制？ 局限性：语言太灵活了。

在特定领域（e.g. 生物）使用 wordnet效果更好。

语义消歧（Word Sense Disambiguation）

对特定词语集合的 WSD 任务：可以使用机器学习训练分类器

适用于所有词语的任务：数据量太大，关系稀疏，不能使用针对特定词语集合的分类器

监督学习：

标签集（每个词语所有可能的含义）、训练语料（带标注）

特征提取：搭配（考虑位置，待分类词左右加减window size出现的词一起构成向量），词袋（不考虑位置，先构建一个可能出现的词的集合，在待分类词左右加减 window size 的窗口内统计有无出现预定集合内的词，出现处记 1，否则为 0）

分类器：可以使用朴素贝叶斯+平滑、基于规则的决策

对测试排序：可以使用 P(sense 1| feature)/P(sense 2 | feature) 来评估两种意思之间的区分程度

内在评价标准：准确率和验证集

Baseline：1. 使用最常出现的意思，人类准确率 80%；2. Lesk 算法：选择和词典中 gross 和例句重合最多的意思，给词语加权 idf\_i = log(N/df\_i) N 为文章总数，df\_i 为单词 I 在几篇文章中出现过（在越少文章中出现说明越重要，否则不那么重要），评分变成加权和

图的观点：选取最中心的意义

半监督学习：半监督学习需要大量人工标注的数据，使用 bootstrapping解决：

使用已知的固定搭配；或者含义基本完全一致的一篇语料作为种子，使用种子训练的分类器对所有样本进行分类，将结果可信度较高的添加到种子集合中，重复步骤

问题：可能需要对每个歧义词训练一个分类器，需要选择合适的训练集合

组合语义学（Compositional Semantics）

不需要准确知道每个词语含义，只需大致知道整体意思

1. 使用一阶逻辑，根据语法分析建立逻辑表达式，注意量词顺序

2. 使用信息抽取

信息抽取

命名实体识别（NER）

基于规则

人工构造正则表达式，或者词出现的语法规则

基于机器学习

对文本进行编码 — 人工标注训练数据 – 特征提取 – 训练分类器（抽取 substring）

IOB 编码：对于 N 类需要 2\*N + 1 个标签，对于每一类：有 B-类别 表示属于某一类实体的开始，I-类别 表示实体的继续，O 表示不属于任何类

特征选择：1. word shape：将单词的长度、大小写等特征进行区分性映射

序列模型：1. MEMM（最大熵马尔科夫模型）基于当前信息和之前的决策进行决策 2. Conditional Random Fields (CRFS)：全序列条件决策模型，非局部条件决策；训练较慢，但能避免局部偏差

评价：准确率、召回率、F1

关系发现和关系分类

Tuple(a, b) 存放 a, b 之间的关系

1. 首先判断是否存在关系 2. 对关系进行分类

原因：在训练时通过第一步能过滤掉大多数词语对；不同任务可以选择不同特征集

特征：1. 命名实体本身的特征（类型、首字母等） 2. 命名实体周围词语的特征（window size 内的词语） 3. 命名实体所在的语法环境（产生式、依赖式等）

半监督 bootstrapping：从已知有关系的实体出发，在语料中提取更多关系特征，再利用这些关系特征得到更多实体之间的关系，之后重复操作

模板填充

Cascades of transducers

Machine Learning：1. One seq classifier per slot 2. One big sequence classifier

问题：跟语言相关、需要特定领域知识

信息抽取的准确率不高：错误会传递（错误的命名实体识别产生错误的关系）

生物信息抽取

特定领域问题：语料充足，主要研究问题是 NER 和（相互反应）关系分析。

问答(QA)

类型：在一段材料中寻找答案；关系数据库的接口；交互式问答

主要步骤：问题分类+关键词提取 -> 文章信息抽取 -> 提取回答

问题分类：决定回答类型；一般使用人为规则和机器学习

问题关键词提取：提取出若干无关联重点词

文章抽取：先选择带有所有重点词的文章，再根据得到的文章数是否达到“门限”判断限制是否需要调整，增添或者去掉若干重点词

文章排序：1. 关键词窗口中词出现的顺序与问题中一致 2. 两个关键词之间最长距离 3. 窗口中不相关词数量

潜在答案排序：可以从维基百科或者 wordnet 中收集潜在答案

问题表述可能不同，解决方案：根据重写规则重构问题（变成填空题）-> 使用搜索引擎收集答案 -> 建立 N-gram 模型（权重，改写后的问题在文章中出现的频率） -> 筛选（与问题类型匹配的得分较高）-> 合并答案

评价指标：平均排序倒数（1/(第一个正确答案的在预测出的答案集序号)）

信息检索(Information Retrieval)

基本假设：文章含义能够根据文章中出现的词（bag of words）的频率推测

倒排索引：文章ID+文章中查询词出现的次数；stop list：去除主题无关词（of, a等）；stemming：关注词干

特定型检索：

向量词空间：文章和查询语句被表示为向量

D = (t1, t2, …, tn) 表示n个词语类型，每个词语类型在文章中出现的次数，可以通过点乘来判定相似性

上述方法对所有词的权重相同，考虑加权（局部权重（表达意义）和全局权重（区分性））

局部权重：词频的函数；全局权重：idf\_i = log(N/df\_i)

TF-IDF Weighting：由频率推导得到的权重 \* 倒排索引

通过向量空间中的方向来衡量相似性和相关度（余弦相似度）

大体步骤：根据关键词找到所有相关文章 -> 将查询语句和文章编码 -> 用余弦相似度衡量相关性并排序

摘要(summarization)

单文章摘要：选取内容 -> 对抽取的句子进行排序 -> 重新组织，删除冗余信息

选取句子：TF\*IDF 加权，特征选择：线索词、开头或者结尾词、句子位置、主题词频

词语链：（指代关系构成的）链的强度用长度和同义性衡量，选取强度较强的链的第一个句子

主题词：使用 log 概率并设置值域判断一个词能不能作为主题词，包含主题词较多的句子被抽出

也可以使用机器学习方法抽取。

机器翻译

1. 基于概率和规则

评价指标

1. 人为评价：忠实度、流畅度（不同人的感受和评价不同）；Kappa 系数 = k=(p(A)-p(E))/(1-p(E)) p(A) 为评价者给出一致评价的可能性，p(E) 为平均得到一致评价的可能性（比如共 5 个评分点，P(E) = 0.2）

2. 自动评价指标：给定机器翻译和人的参考翻译，要求给出两者之间的相似性

WER(Word error rate) = (替换、查找和删除操作数)/(参考长度)

BLEU(n-gram 准确率)：短句惩罚，不能连续使用相同词两次，计算公式 BLEU=min⁡(1, (output length)/(ref length))(∏\_i▒〖precision\_i 〗)^{1/4}

其中 i=1,2,3,4 使用代表 i-gram 的准确率（output中的词组是否在 ref 里出现），也可以使用多个 ref 增大可信度

3. 基于统计的机器翻译

大体思路：输入 -> 翻译模型（给出候选 p(f | e)） -> 语言模型（确定翻译的合理性 p(e)）-> 解码输出(find argmax{p(e)p(f | e)})

需要从语句对齐的语料中学习如下几个概率：

1. n(x | y) 词 y 在译文中产生 x 的概率

2. p 某个单词在译文中不出现，被删除的概率

3. t 实际的翻译概率表

4. d(j | i) 原文中位置i的词出现在译文中位置 j 的概率

词语对齐：开始时假设所有词语的对应都是等概率的，然后观察两种语言的哪些词经常一起出现，并提升他们的概率；

EM 算法：1. 找出所有可能的以已知语言词汇为条件的未知绑定词汇的概率，并假设等可能 2. 计算可能的组合绑定情况的概率并标准化 3. 对一组绑定，寻找出现的证据，并乘响应的概率，标准化 4. 概率最大的即为需要的绑定 p(f | e)

对于给定的 f 寻找使得 p(f | e)\*p(e) 最大的 e，使用动态规划求解。

Word based 翻译缺陷：对多个已知单词对应同一个未知语言的情况难以处理，于是有 phrase based 翻译：1. 先将待翻译语料划分为词组（很多可能的划分）2. 对应词组翻译 3. 解码；好处：多对多映射；减少单个词语的歧义性

换位概率 d(a\_i-b\_(i-1) )=α^(|a\_i-b\_(i-1) |)，其中 a\_i 是 第i个英语单词翻译成的目标语言后所在的位置，b\_{i-1} 是第 i-1 个对应的位置

P(f | e) = 对应词组翻译概率 乘 换位概率

为了训练对应词组翻译概率需要很大的双语语料，并且做词组对齐 。词组对齐首先进行单词对齐，之后使用概率最大的单词对齐组合。解码过程同样可以使用动态规划或者 A\* 搜索。

基于机器学习的翻译

RNN：直接计算 p(target | source) 概率，进行端到端训练

输入输出使用 word embedding，输出概率使用 softmax 标准化，测试时选择每次选择概率最大的单词输出

局限：1. 受限于词语库大小，希望扩大词汇范围（拷贝技巧，加入<unknow>标签） 2. 长句子翻译不理想（使用 attention）3. 有些语言比较复杂（使用字符层面翻译预测）