

# 自然言語処理プログラミング勉強会 2

## n-gram 言語モデル

Graham Neubig  
奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST)

# 先週の復習：文の確率計算

- 文の確率が欲しい

$W$  = speech recognition system

- 変数で以下のように表す (連鎖の法則を用いて):

$$P(|W| = 3, w_1 = \text{"speech"}, w_2 = \text{"recognition"}, w_3 = \text{"system"}) =$$

$$P(w_1 = \text{"speech"} \mid w_0 = \text{"<s>"})$$

$$* P(w_2 = \text{"recognition"} \mid w_0 = \text{"<s>"}, w_1 = \text{"speech"})$$

$$* P(w_3 = \text{"system"} \mid w_0 = \text{"<s>"}, w_1 = \text{"speech"}, w_2 = \text{"recognition"})$$

$$* P(w_4 = \text{"</s>"} \mid w_0 = \text{"<s>"}, w_1 = \text{"speech"}, w_2 = \text{"recognition"}, w_3 = \text{"system"})$$

注：  
文頭「<s>」と文末「</s>」記号

注：  
 $P(w_0 = \text{"<s>"}) = 1$

## 確率の漸次的な計算

- 前のスライドの積を以下のように一般化

$$P(W) = \prod_{i=1}^{|W|+1} P(w_i | w_0 \dots w_{i-1})$$

- 以下の条件付き確率の決め方は？

$$P(w_i | w_0 \dots w_{i-1})$$

# 1-gram モデルは語順を考慮しない

- 以下の確率は同等

$$P_{\text{uni}}(w=\text{speech recognition system}) = \\ P(w=\text{speech}) * P(w=\text{recognition}) * P(w=\text{system}) * P(w=\text{</s>})$$

=

$$P_{\text{uni}}(w=\text{system recognition speech}) = \\ P(w=\text{speech}) * P(w=\text{recognition}) * P(w=\text{system}) * P(w=\text{</s>})$$

# 1-gram モデルは単語の 関係性を考慮しない

- 文法的な文：（名詞と活用が一致）

$$P_{\text{uni}}(w=i \text{ am}) = P(w=i) * P(w=am) * P(w=</s>)$$

$$P_{\text{uni}}(w=we \text{ are}) = P(w=we) * P(w=are) * P(w=</s>)$$

- 文法的でない文：（名詞と活用が矛盾）

$$P_{\text{uni}}(w=we \text{ am}) = P(w=we) * P(w=am) * P(w=</s>)$$

$$P_{\text{uni}}(w=i \text{ are}) = P(w=i) * P(w=are) * P(w=</s>)$$

しかし、確率は上記の文と同等

# 文脈を考慮することで解決！

- 1-gram モデルは文脈を考慮しない

$$P(w_i | w_0 \dots w_{i-1}) \approx P(w_i)$$

- 2-gram は 1 単語の文脈を考慮

$$P(w_i | w_0 \dots w_{i-1}) \approx P(w_i | w_{i-1})$$

- 3-gram は 2 単語の文脈を考慮

$$P(w_i | w_0 \dots w_{i-1}) \approx P(w_i | w_{i-2} w_{i-1})$$

- 4-gram、5-gram、6-gram などなど

# n-gram 確率の最尤推定

- $n$  単語と  $n-1$  単語からなる文字列の頻度を利用

$$P(w_i | w_{i-n+1} \dots w_{i-1}) = \frac{c(w_{i-n+1} \dots w_i)}{c(w_{i-n+1} \dots w_{i-1})}$$

i live in **osaka** . </s>

i am a graduate student . </s>

my school is in **nara** . </s>

$$n=2 \rightarrow \begin{aligned} P(\text{osaka} | \text{in}) &= c(\text{in osaka})/c(\text{in}) = 1 / 2 = 0.5 \\ P(\text{nara} | \text{in}) &= c(\text{in nara})/c(\text{in}) = 1 / 2 = 0.5 \end{aligned}$$

## 低頻度 n-gram の問題

- n-gram 頻度が 0 → n-gram 確率も 0

$$P(\text{osaka} | \text{in}) = c(\text{in osaka})/c(\text{in}) = 1 / 2 = 0.5$$

$$P(\text{nara} | \text{in}) = c(\text{in nara})/c(\text{in}) = 1 / 2 = 0.5$$

$$P(\text{school} | \text{in}) = c(\text{in school})/c(\text{in}) = 0 / 2 = \mathbf{0!!}$$

- 1-gram モデルと同じく、線形補間を用いる

$$\text{2-gram: } P(w_i | w_{i-1}) = \lambda_2 P_{ML}(w_i | w_{i-1}) + (1 - \lambda_2) P(w_i)$$

$$\text{1-gram: } P(w_i) = \lambda_1 P_{ML}(w_i) + (1 - \lambda_1) \frac{1}{N}$$



# 補間係数の選択法：グリッド探索

- $\lambda_2$  と  $\lambda_1$  の様々な値を試し、尤度が最も高くなるように選択

$$\lambda_2 = 0.95, \lambda_1 = 0.95$$

$$\lambda_2 = 0.95, \lambda_1 = 0.90$$

$$\lambda_2 = 0.95, \lambda_1 = 0.85$$

...

$$\lambda_2 = 0.95, \lambda_1 = 0.05$$

$$\lambda_2 = 0.90, \lambda_1 = 0.95$$

$$\lambda_2 = 0.90, \lambda_1 = 0.90$$

...

$$\lambda_2 = 0.05, \lambda_1 = 0.10$$

$$\lambda_2 = 0.05, \lambda_1 = 0.05$$

## 問題：

選択肢が多すぎる

→ 選択に時間がかかる！

全ての n-gram に対して同じ  $\lambda$

→ 尤度が最適とは限らない！

# 文脈を考慮した補間係数の選択

頻度の高い単語：Tokyo

$c(\text{Tokyo city}) = 40$   
 $c(\text{Tokyo is}) = 35$   
 $c(\text{Tokyo was}) = 24$   
 $c(\text{Tokyo tower}) = 15$   
 $c(\text{Tokyo port}) = 10$

...

ほとんどの 2-gram が既観測  
→ 大きな  $\lambda$  が最適

頻度の低い単語：Tottori

$c(\text{Tottori is}) = 2$   
 $c(\text{Tottori city}) = 1$   
 $c(\text{Tottori was}) = 0$

未観測の 2-gram が多い  
→ 小さな  $\lambda$  が最適

- 補間係数の選択にも文脈を考慮：

$$P(w_i | w_{i-1}) = \lambda_{w_{i-1}} P_{ML}(w_i | w_{i-1}) + (1 - \lambda_{w_{i-1}}) P(w_i)$$

# Witten-Bell 平滑化

- $\lambda_{w_{i-1}}$  を選ぶ方法の 1 つ

$$\lambda_{w_{i-1}} = 1 - \frac{u(w_{i-1})}{u(w_{i-1}) + c(w_{i-1})}$$

$u(w_{i-1}) = w_{i-1}$  の後に続く単語の異なり数

- 例えば、

$$\begin{array}{ll} c(\text{Tottori is}) = 2 & c(\text{Tottori city}) = 1 \\ c(\text{Tottori}) = 3 & u(\text{Tottori}) = 2 \end{array}$$

$$\lambda_{\text{Tottori}} = 1 - \frac{2}{2+3} = 0.6$$

$$\begin{array}{ll} c(\text{Tokyo city}) = 40 & c(\text{Tokyo is}) = 35 \dots \\ c(\text{Tokyo}) = 270 & u(\text{Tokyo}) = 30 \end{array}$$

$$\lambda_{\text{Tokyo}} = 1 - \frac{30}{30+270} = 0.9$$

# 言語モデルのための プログラミング技術

## 配列への挿入

- 文頭・文末記号を考慮するために以下の操作を利用

```
my_words = ["this", "is", "a", "pen"]
```



```
my_words = ["<s>", "this", "is", "a", "pen", "</s>"]
```

- Python で `append` と `insert` 関数を利用

```
my_words.append("</s>") # 配列の最後い挿入
```

```
my_words.insert(0, "<s>") # 配列の最初に挿入
```

## リストの一部の抜き出し

- あるリストが与えられた時、 $x-1$  要素目から  $y$  要素目を抜き出す

`my_list[x:y]`

```
my_list = ["a", "b", "c", "d", "e"]
print my_list[1:3]           # リストの 2 番と 3 番の要素をプリント
print my_list[:3]           # リストの最初の 3 つの要素をプリント
print my_list[3:]           # リストの 4 番目以降の要素をプリント
print my_list[:-2]          # リストの最後の 2 つの要素以外をプリント
```

- n-gram  $w_{i-n+1} \dots w_i$  が与えられた場合、文脈  $w_{i-n+1} \dots w_{i-1}$  の計算に利用

# 演習問題

# 演習問題

- 2つのプログラムを作成
  - train-bigram: 2-gram モデルを学習
  - test-bigram: 2-gram モデルに基づいて評価データのエントロピーを計算
- テスト入力 : test/02-train-input.txt
- 学習データ : data/wiki-en-train.word
- data/wiki-en-test.word に対してエントロピーを計算  
(線形補間を用いる場合、様々な $\lambda_2$ を試す)
- 上級編 :
  - Witten-Bell 平滑化を利用 (線形補間の方が簡単)
  - 任意な文脈長が利用可能なプログラムを作成



# train-bigram 擬似コード (線形補間)

create **map** *counts*, *context\_counts*

**for each** *line* **in** the *training\_file*

**split** *line* into an array of *words*

**append** “</s>” to the end and “<s>” to the beginning of *words*

**for each** *i* **in** 1 **to**  $\text{length}(\text{words})-1$  # 注: <s> の後に始まる

$\text{counts}["w_{i-1} w_i"] += 1$  # 2-gram の分子と分母を加算

$\text{context\_counts}["w_{i-1}"] += 1$

$\text{counts}["w_i"] += 1$  # 1-gram の分子と分母を加算

$\text{context\_counts}[""] += 1$

**open** the *model\_file* for writing

**for each** *ngram*, *count* **in** *counts*

**split** *ngram* into an array of *words* # “ $w_{i-1} w_i$ ”  $\rightarrow$  {“ $w_{i-1}$ ”, “ $w_i$ ”}

**remove** the last element of *words* # {“ $w_{i-1}$ ”, “ $w_i$ ”}  $\rightarrow$  {“ $w_{i-1}$ ”}

**join** *words* into *context* # {“ $w_{i-1}$ ”}  $\rightarrow$  “ $w_{i-1}$ ”

$\text{probability} = \text{counts}[\text{ngram}] / \text{context\_counts}[\text{context}]$

**print** *ngram*, *probability* **to** *model\_file*

# test-bigram 擬似コード (線形補間)

$\lambda_1 = ???, \lambda_2 = ???, V = 1000000, W = 0, H = 0$

**load** model into *probs*

**for each** *line* in *test\_file*

**split** *line* into an array of *words*

**append** “</s>” to the end and “<s>” to the beginning of *words*

**for each** *i* in 1 to length(*words*)-1 # 注: <s> の後に始まる

$P1 = \lambda_1 probs["w_i"] + (1 - \lambda_1) / V$  # 1-gram の平滑化された確率

$P2 = \lambda_2 probs["w_{i-1} w_i"] + (1 - \lambda_2) * P1$  # 2-gram の平滑化された確率

$H += -\log_2(P2)$

$W += 1$

**print** “entropy = ”+ $H/W$