

# Word2Vec

xbZhong

2025-06-24

[本页PDF](#)

## Word2Vec

基于CBOW或者skip-gram来计算词向量矩阵，主要目的是为了得到词向量

中心词和上下文词用一个窗口来维护

词嵌入向量： $v = W \times onehot(v)$

其中： $W$ 是Word2Vec中的权重输入矩阵

### CBOW

核心：用上下文词预测中心词

#### 模型结构

输入是上下文文本单词的one-hot向量，通过线性变换压缩成一个单词向量，再通过一次线性变换得到一个单词得分表，最后经过多分类得到要预测的单词。

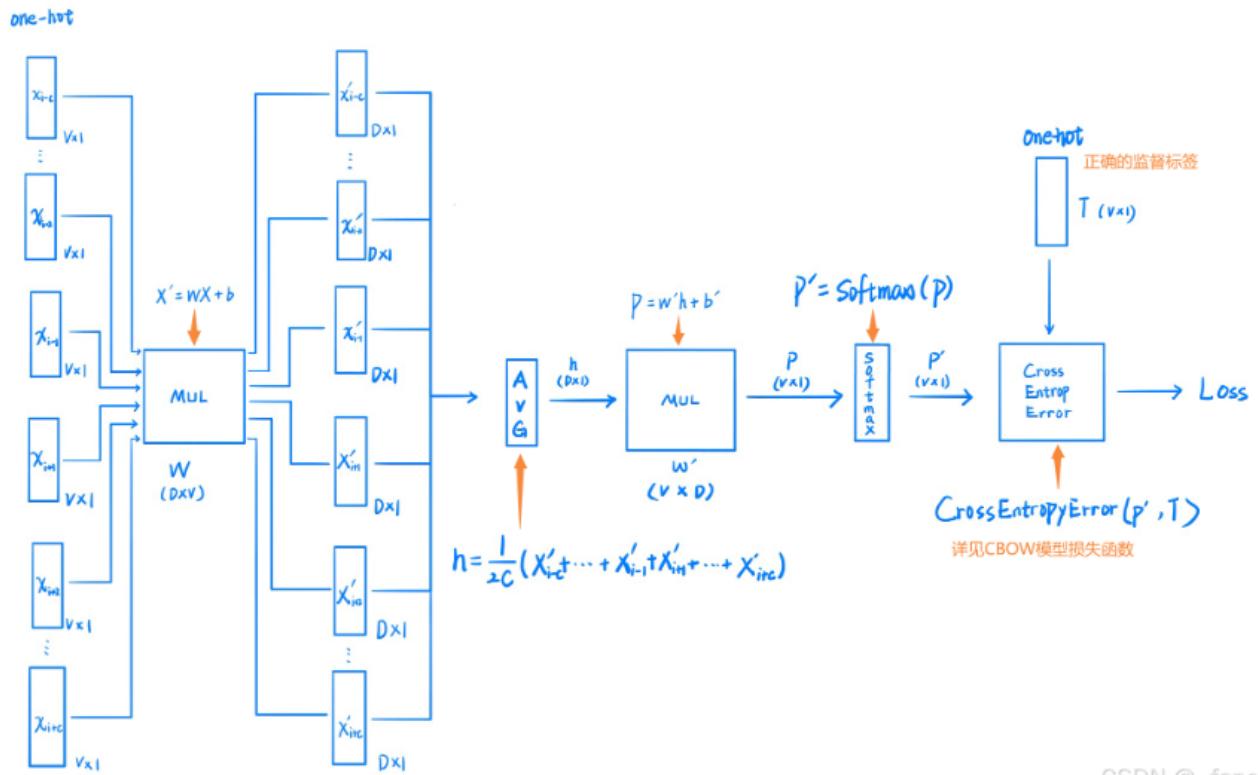


image-20250705224627824

模型输入

上下文（输入）词的多少取决于窗口大小C，因此输入为

$$X = (x_{i-c}, x_{i-c+1}, \dots, x_{i-1}, x_{i+1} \dots, x_{i+c}) \in \mathbb{R}^{V \times 2C}$$

其中， $x_i$ 为目标单词， $x_i \in \mathbb{R}^{V \times 1}$

### 权重输入层

将目标单词 $x_i$ 的单热编码与隐藏层的输入权重 $W$ 相乘再加上偏置 $b \in \mathbb{R}^{D \times 1}$ 得到 $x'_j$ ，即 $X'_j = WX_j + b$ ，写成矩阵形式

$$X' = WX + b$$

其中

$$X = [x_{i-c}, x_{i-c+1}, \dots, x_{i-1}, x_{i+1} \dots, x_{i+c}] X' = [x'_{i-c}, x'_{i-c+1}, \dots, x'_{i-1}, x'_{i+1} \dots, x'_{i+c}]$$

### 加权平均层

将输入层得到的所有 $X'_j$ 进行加权平均得到 $h$

$$h = \sum_{j=i-C, j \neq i}^{i+C} \frac{1}{2C} (x'_{i-c} + x'_{i-c+1} + x'_{i-1} + x'_{i+1} + x'_{i+c})$$

### 权重输出层

将得到的 $h$ 作线性变换得到每个单词得分的向量 $P$ ， $P = (P_1, P_2, \dots, P_V)^T$ ， $P_i \in R$ 表示为位置索引为 $i$ 处的单词得分

$$P = W'h + b'$$

### Softmax层

将输出层得到的得分用Softmax处理为概率 $P'$ ， $P' = (p'_1, p'_2, \dots, p'_V)$ ， $p'_i$ 表示位置索引为 $i$ 处的单词概率

$$p'_i = softmax(p_i) = \frac{\exp(p_i)}{\sum_{k=1}^V \exp(p_k)}$$

模型的输出是在 $P'$ 中取出**最大概率对应位置**的值设为1，其他位置设为0，得到一个单热编码。这个单热编码对应的词就是模型作为预测结果的词。

### 损失函数

用的是**交叉熵损失 (Cross Entropy)**，交叉熵损失的输入是Softmax层计算得到的概率向量 $P'$ 和正确的监督标签 $T$ ，其中 $P' = (P'_1, P'_2, \dots, P'_V)^T$ ，正确的监督标签 $T = (t_1, t_2, \dots, t_V)$ 就是**正确答案单词的单热编码**。

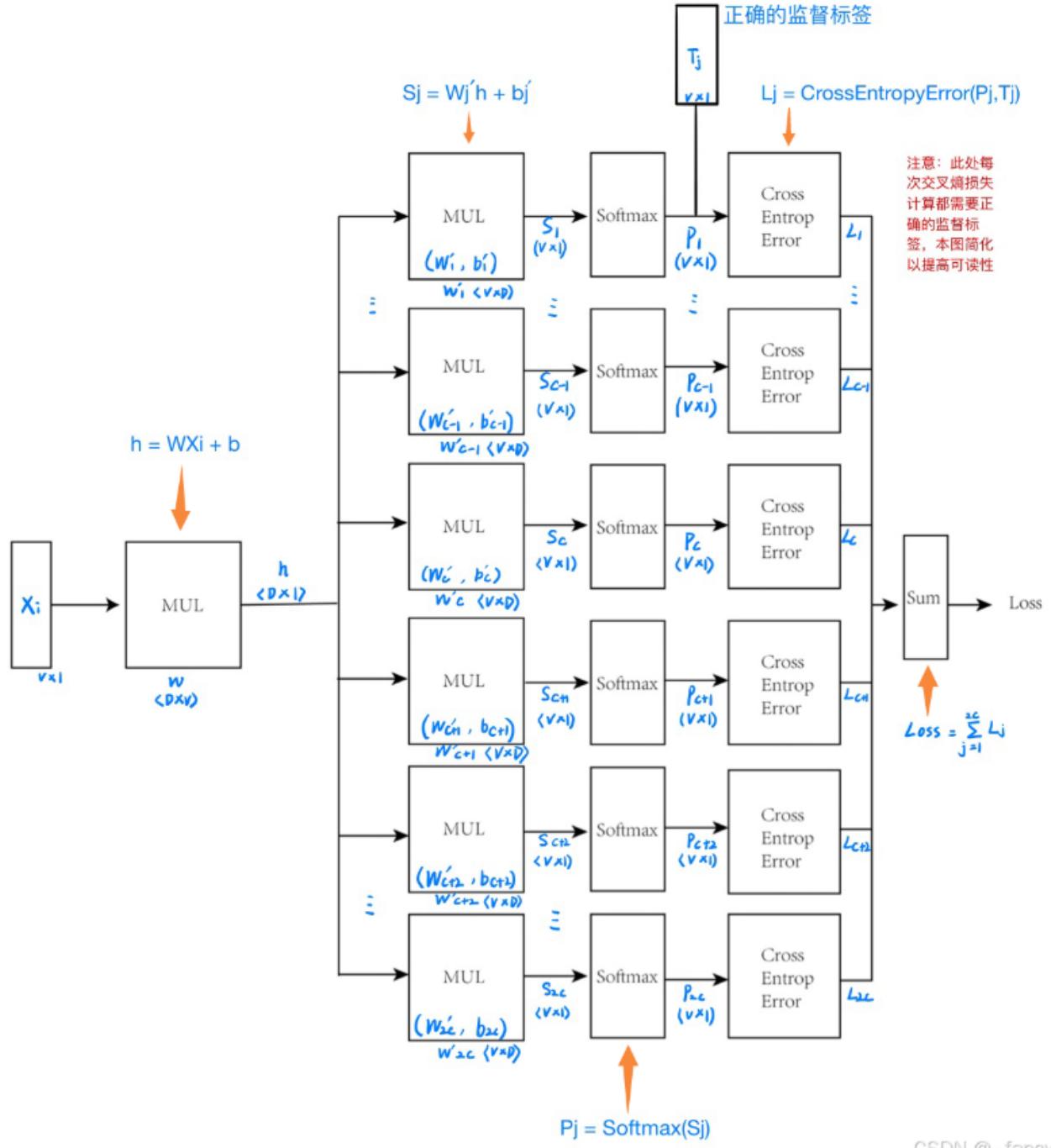
$$Loss = - \sum_{i=1}^V t_i \log(P'_i)$$

## skip-gram

核心：用中心词预测上下文词

### 模型结构

模型输入时目标单词的单热编码，通过线性变换形成预测上下文单词的向量，再通过一次线性变换得到每一个上下文单词的得分表，最后经过多分类得到要预测的上下文单词。



CSDN @--fancy

image-20250705224657637

## 模型输入

将目标词表示为单热编码，作为模型输入  $x_i \in \mathbb{R}^{V \times 1}$ ,  $i$  表示目标单词所在位置。

## 权重输入层

将目标词的单热编码  $x_i \in \mathbb{R}^{V \times 1}$  作线性变换得到隐藏层向量  $h$

$$h = Wx_i + b$$

## 权重输出层

将得到的 $h$ 与隐藏层的权重输出矩阵 $W'_j$ 相乘再加上偏置项 $b'_j$ 得到多个上下文单词得分的向量 $S_j \in \mathbb{R}^{V \times 1}$ ,  
 $S = (S_1, S_2, \dots, S_{2C})^T$ 。

$$S_j = W'_j h + b'_j$$

## Softmax层

将输出层得到的得分 $S_j$ 用softmax处理为概率 $P_j$ ,  $P_j = (P_j(0), P_j(1), \dots, P_j(V-1))^T$

$$P_j(k) = \text{Softmax}(S_j) = \frac{\exp(S_j(k))}{\sum_{l=0}^{V-1} \exp(S_j(l))}$$

## 模型输出

模型输出是在 $P$ 中取出最大概率对应位置的值设为1, 其他设为0, 得到一个单热编码, 这个单热编码对应的词就是预测上下文单词的结果。

## 损失函数

使用交叉熵损失 (Cross Entropy) 进行计算, 其输入是概率向量 $P_j(k)$ , 和正确的监督标签 $T$ , 其中  
 $P_j = (P_1, P_2, \dots, P_{2C})$ , 正确的监督标签 $T_j = [t_j(1), t_j(2), \dots, t_j(V)]$ 是正确答案单词的单热编码。

$$L_j = - \sum_{k=1}^V t_k \log(P_j(k)) Loss = \sum_{j=1}^{2C} L_j$$

## 优化

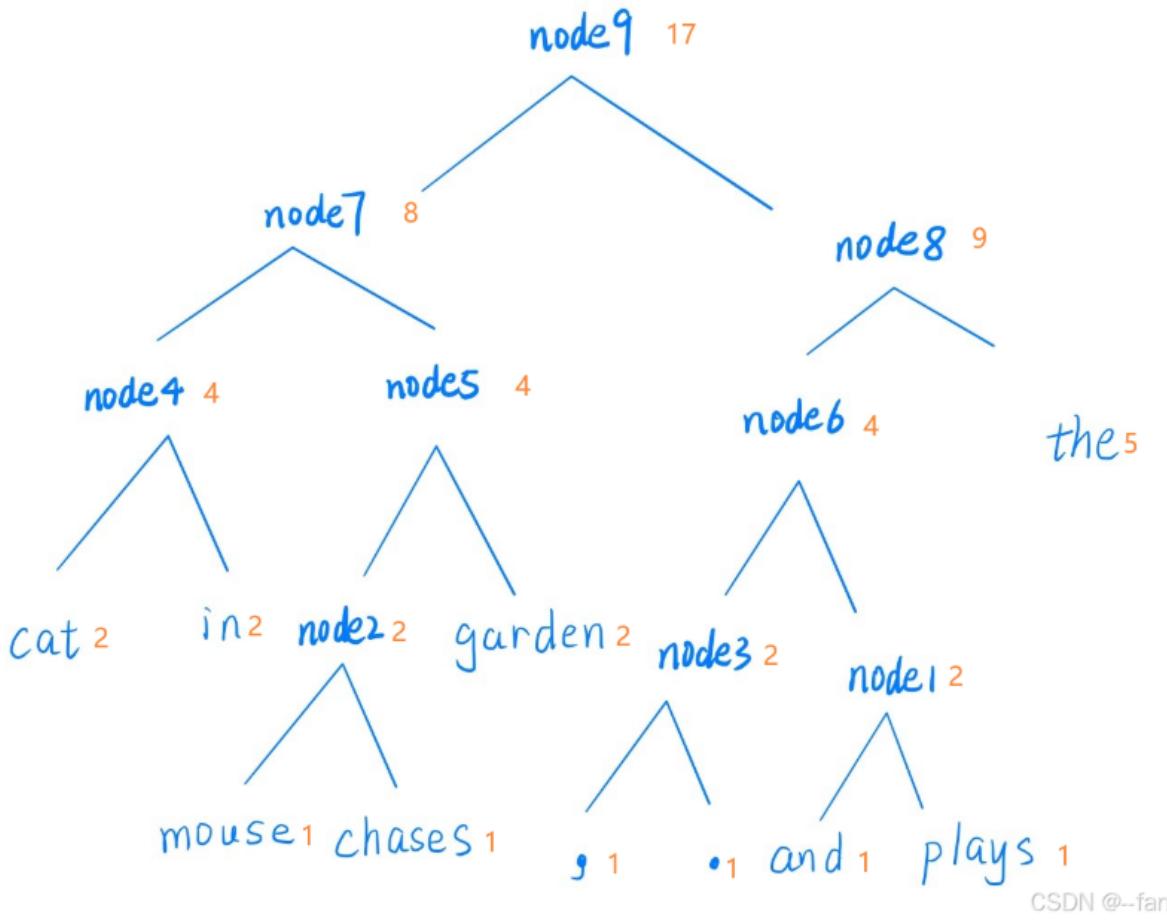
正常使用word2vec模型, 我们是要预测 $V$ 个单词出现的概率, 但是语料库十分巨大, 这么做肯定不现实, 因此我们可以使用 Huffman树来加速, 把运算次数压缩到 $\log V$ 。

## 分层Softmax

基本思想: 将词典中的每个词按照词频大小构建出一颗Huffman树, 词频大的词处于浅层, 词频小的词处于深层。

- 叶子节点都是词
- 非叶子节点具有要学习的参数, 是一个二分类器, 全部都接受相同的输入 (上下文向量)

如图所示:



CSDN @--fancy

image-20250705162047281

计算概率的步骤：

1. 已知每个非叶子节点具有网络参数，可以用网络参数算出并使用softmax算出来一个概率值 $P$ ，称为正向概率
2. 因为哈夫曼树是二叉树，知道一个分支的概率 $P$ ，我们就可以算出另外一个分支的概率为 $1 - P$
3. 按上述步骤不断进行，我们就可以算出每个非叶子节点每个分支的概率
4. 根据上述算出来的值，可以通过概率连乘算出每个词的概率

## 负采样

**正样本：**真实有效的上下文本对，（中心词，上下文词）

**负样本：**从词汇表中随机选择一些不相关的词作为负样本。通过负样本来训练模型，使模型学习到区分正样本和负样本的能力

**基本思想：**通过从词汇表中随机选择一些“负样本”来代替计算所有可能的上下文词，从而大幅度降低计算复杂度。将多分类问题转化为二分类问题，让模型对正样本预测的概率逼近1，对负样本预测的概率逼近0。

## 损失函数

这里重点讲一下损失函数，因为前面的流程基本都差不多

### 正样本损失

我们可以知道 $T_1$ 是正确的标签， $T_1 = (t_1, t_2, \dots, t_V)^T$ ， $P$ 是每个单词对应的概率， $P = (P_1, P_2, \dots, P_V)$ ，在这里进行优化。在 $T$ 中，只有正确索引位置为1，进行损失函数计算时，只保留正确索引位置单词的得分概率，因此我们将得分向量中正确的得分直接取出，即 $S_1 = (\theta_1 h)^T T_1$

随后直接将得分转换为概率，此处是二分类问题，用sigmoid函数，最后应用于Cross Entropy

$$P_1 = \sigma(S_1) = \sigma((\theta_1 h)^T T_1) = \frac{1}{1 + e^{-(\theta_1 h + b'_1)^T T_1}} Loss_+ = -\log(P_1) = -\log\left(\frac{1}{1 + e^{-(\theta_1 h + b'_1)^T T_1}}\right)$$

## 负样本损失

首先要进行**负采样**，按照词频给出每个单词的概率分布

$$f(w) = \frac{[count(w)]^{\frac{3}{4}}}{\sum_{i=1}^V [count(i)]^{\frac{3}{4}}}$$

其中， $count(index)$ 计算索引位置为index位置单词的词频， $w$ 表示目标单词的索引， $V$ 为词汇表的大小。

接着按照**概率分布进行采样**，若抽取到正例则重新采样。数据量大，负样本个数 $k$ 通常为5，数据量小，负样本个数通常为5~20个。

对于采样出的负样本，我们计算对应的得分**之后将其取负号**再使用Sigmoid函数，然后使用原来计算正样本的方式进行计算。

我们将负样本权重输出矩阵 $\theta_0$ 与隐藏层的向量 $h$ 相乘得到单词得分向量，随后依次去除每个负样本对于**索引位置单词的得分**然后**取负号**

$$S_{0,i} = -(\theta_0 h + b'_0)^T T_{0,i}$$

其中， $T_{0,i}$ 为负样本对应的标签，然后使用Sigmoid函数转换为概率

$$P_1 = \sigma(S_{0,i})$$

使用交叉熵计算损失

$$Loss_- = \sum_{i=1}^k \log(P_{0,i})$$

最后将 $Loss_+$ 与 $Loss_-$ 相加得到总的损失 $Loss$

$$Loss = Loss_- + Loss_+$$