

Word2Vec

xbZhong

2025-06-24

Contents

Word2Vec	1
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： $v = W \times one_hot(v)$

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。

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

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

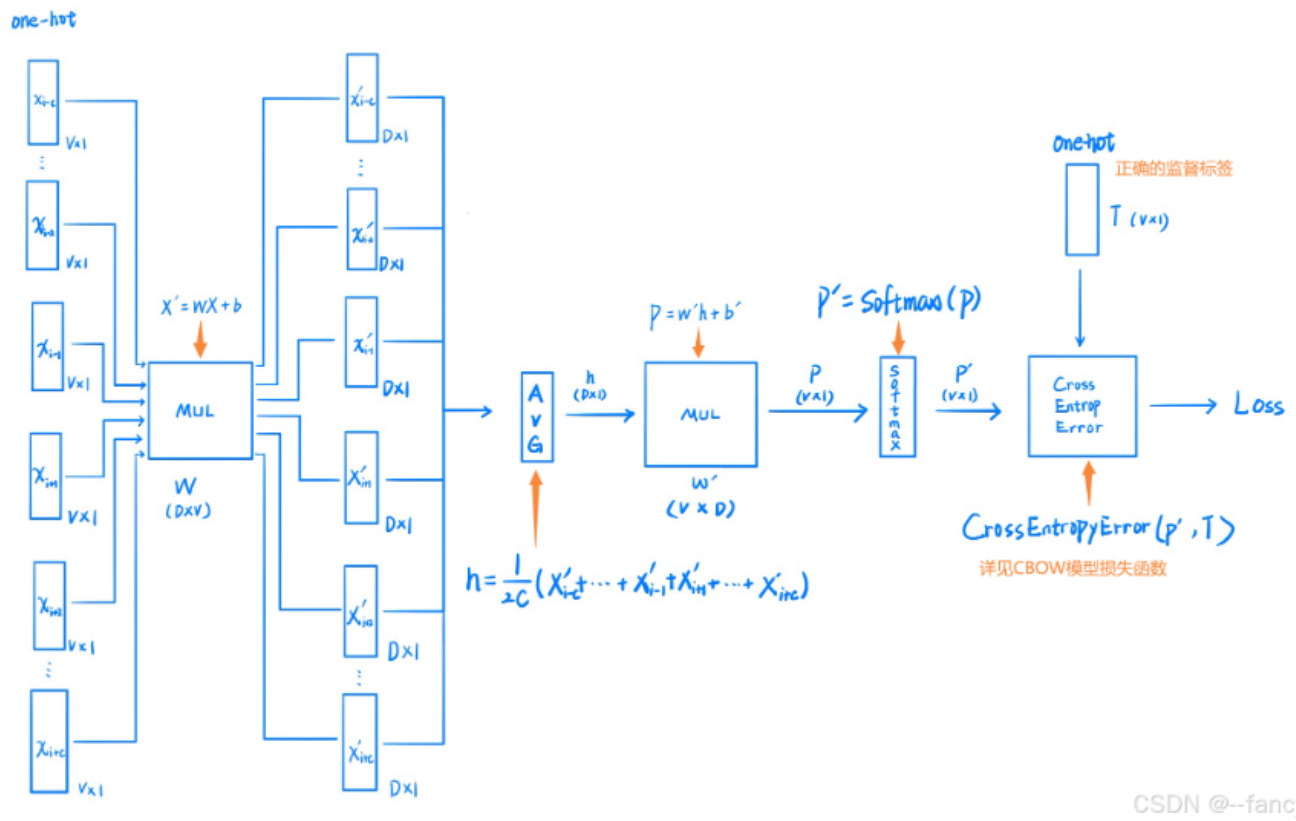


Figure 1: image-20250705224627824

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

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

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。

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

$$h = Wx_i + b$$

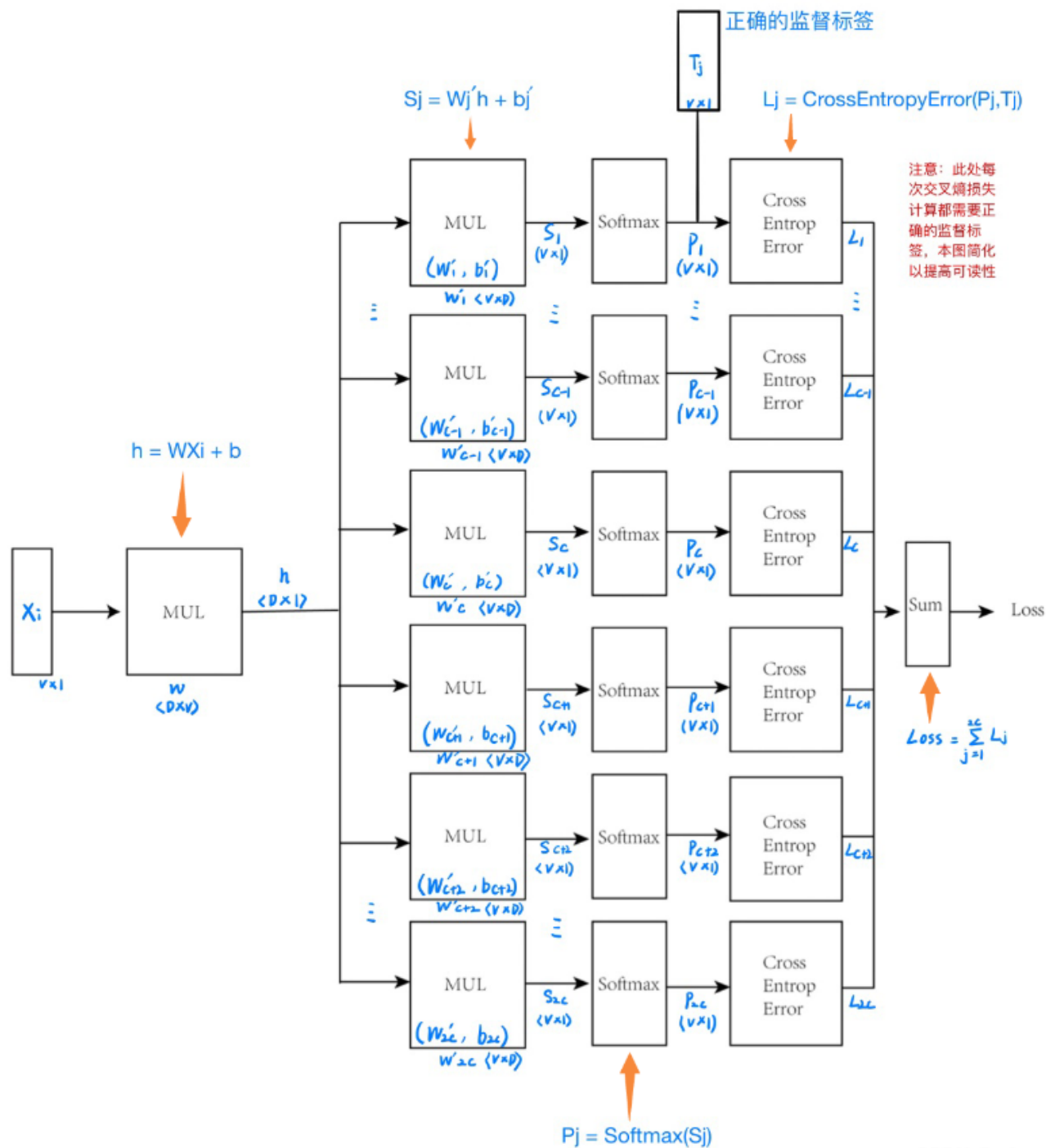
权重输出层 将得到的 h 与隐藏层的权重输出矩阵 W'_j 相乘再加上偏置项 b'_j 得到多个上下文单词得分的向量 $S_j \in \mathbb{R}^{V \times 1}$, $S = (S_1, S_2, \dots, S_{2C})^T$ 。

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

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。



CSDN @--fancy

Figure 2: image-20250705224657637

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。

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

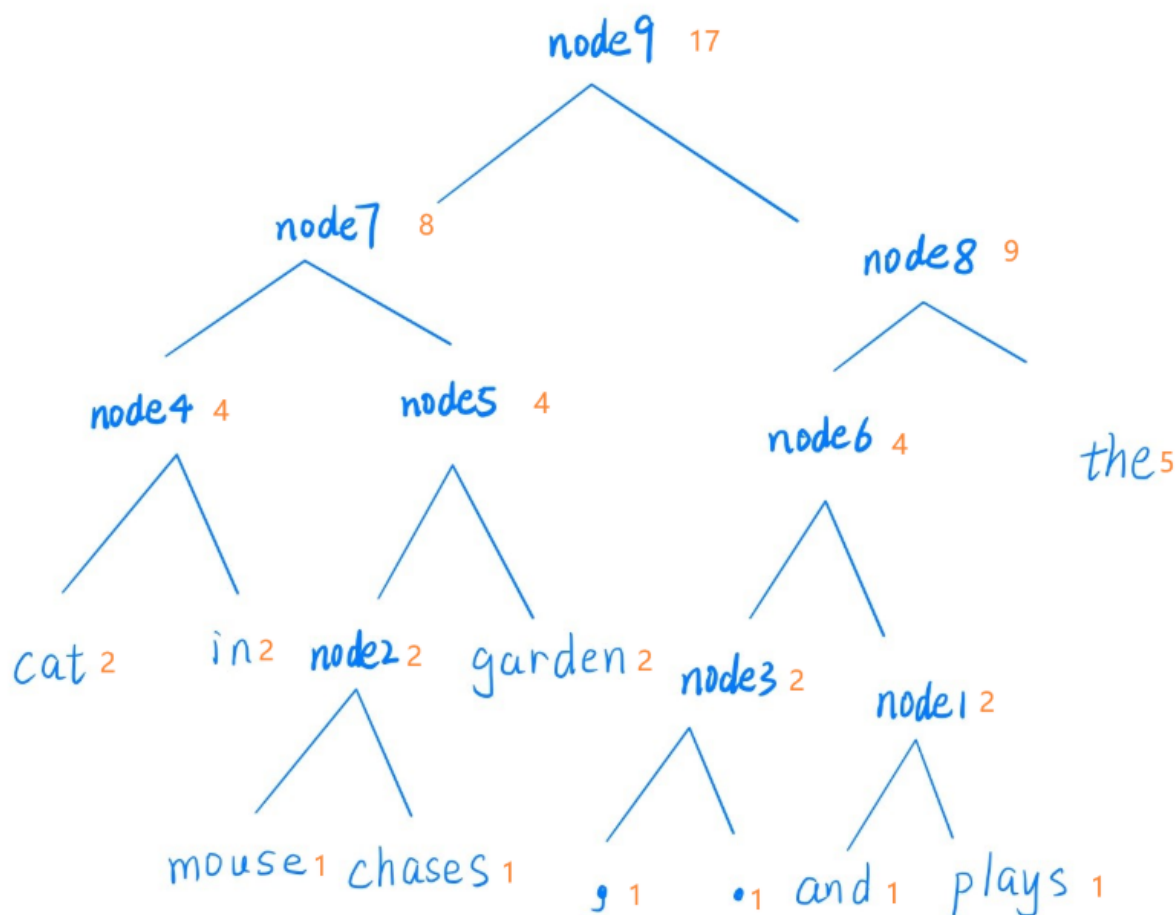
优化

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

Figure 3: 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

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

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

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

其中， $\text{count}(\text{index})$ 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 θ_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

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

最后将 Loss_+ 与 Loss_- 相加得到总的损失 Loss

$$\text{Loss} = \text{Loss}_- + \text{Loss}_+$$