

作业 4

元敬哲 2022010657

2024 年 6 月 1 日

理论部分

1 单选题 (15 分)

1.1 D

1.2 A

1.3 A

1.4 C

1.5 B

2 计算题 (15 分)

2.1 隐含马尔可夫模型

暑假中, 小 E 每天进行一项体育活动, 包括跑步 (R)、游泳 (S) 和打球 (B), 所选择的体育活动受某种潜在因素 (如心情) 的影响。小 E 每天把进行体育活动的照片发至微信朋友圈, 我们可以根据观测信息推测该潜在因素的状态。

假设该潜在因素分为 S_1 和 S_2 两种状态。在 S_1 时, 小 E 选择三种体育活动的概率分别为 0.6, 0.2, 0.2; 在 S_2 时, 小 E 选择三种体育活动的概率分别为 0.1, 0.6, 0.3。

该潜在因素的变化也有一定规律, 若某天处于 S_1 的状态, 第二天处于 S_1 和 S_2 的状态的概率分别为 0.5, 0.5; 若某天处于 S_2 的状态, 第二天处于 S_1 和 S_2 的状态的概率分别为 0.6, 0.4。

暑假第一天处于 S_1 和 S_2 的状态的概率均为 0.5。

(1) 采用隐含马尔可夫模型 (HMM) 对小 E 暑假体育活动安排进行建模, 请写出 HMM 对应的参数 $\lambda = \{\pi, A, B\}$ 。

解:

依题，将潜在因素的两种状态建模为与时间无关的状态，将小 E 每天的体育活动建模为给定状态下的观测值。则根据题意，可写出 HMM 对应的参数 $\lambda = \{\pi, A, B\}$ 。

其中， $\pi = (0.5, 0.5)$,

$$A = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.6 & 0.3 \end{bmatrix}$$

(2) 假设暑假第 1、2、3 天小 E 所进行的体育活动依次为跑步 (R)、打球 (B) 和游泳 (S)，请计算出该观测序列的概率。

解：

依题，在第一天时，

$$\alpha_1(1) = 0.5 \times 0.6 = 0.3$$

$$\alpha_1(2) = 0.5 \times 0.1 = 0.05$$

第二天，

$$\alpha_2(1) = 0.3 \times 0.5 \times 0.2 + 0.05 \times 0.6 \times 0.2 = 0.036$$

$$\alpha_2(2) = 0.3 \times 0.5 \times 0.3 + 0.05 \times 0.4 \times 0.3 = 0.051$$

第三天，

$$\alpha_3(1) = 0.036 \times 0.5 \times 0.2 + 0.051 \times 0.6 \times 0.2 = 0.00972$$

$$\alpha_3(2) = 0.036 \times 0.5 \times 0.6 + 0.051 \times 0.4 \times 0.6 = 0.02304$$

因此，出现该观测序列的概率为：

$$P(O|\lambda) = \alpha_3(1) + \alpha_3(2) = 0.03276$$

(3) 在 (2) 的条件下。请利用 Viterbi 算法推测暑假第 1、2、3 天最可能的隐含状态序列。

解：

$$\delta_1(1) = 0.5 \times 0.6 = 0.3$$

$$\delta_1(2) = 0.5 \times 0.1 = 0.05$$

$$\phi_1(1) = 0$$

$$\phi_1(2) = 0$$

$$\delta_2(1) = \max\{\delta_1(1)P(S_1|S_1), \delta_1(2)P(S_1|S_2)\}b_1(O_2) = 0.03$$

$$\delta_2(2) = \max\{\delta_1(1)P(S_2|S_1), \delta_1(2)P(S_2|S_2)\}b_2(O_2) = 0.045$$

$$\alpha_2(1) = 1$$

$$\alpha_2(2) = 1$$

$$\delta_3(1) = \max\{\delta_2(1)P(S_1|S_1), \delta_2(2)P(S_1|S_2)\}b_1(O_3) = 0.0054$$

$$\delta_3(2) = \max\{\delta_2(1)P(S_2|S_1), \delta_2(2)P(S_2|S_2)\}b_2(O_3) = 0.0108$$

$$\alpha_3(1) = 2$$

$$\alpha_3(2) = 2$$

所以 $P = \max\{\delta_3(1), \delta_3(2)\} = 0.0108$ 。

$$q_3^* = 2, q_2^* = 2, q_1^* = 1$$

最可能的状态序列为: S_1, S_2, S_2

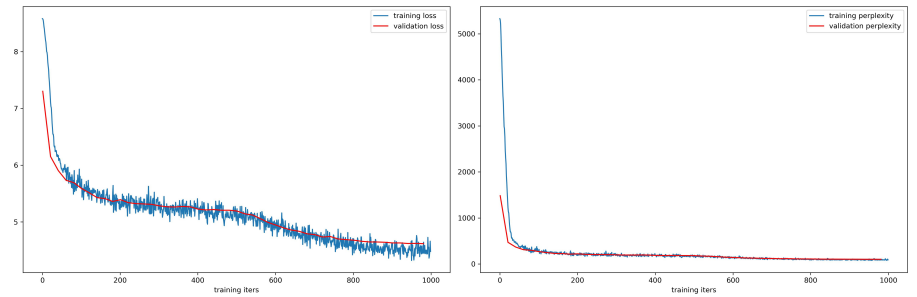
3 编程作业报告

3.1 模型的训练与测试

统计数据集中的单词（本次作业中每个字符作为一个单词）作为词汇表, 对数据预处理结果如下:



训练过程和验证集上 loss 以及困惑度的变化如下图所示：



训练集的 loss 最低达到 4.4817。使用训练好的模型进行文本生成：

- 1) 默认配置下生成样本：

```

PS D:\清华文件\大二下\媒体与认知\hw4\code> python sample.py --ckpt_path workdirs/quansongci
sample from workdirs/quansongci\best.pth
+++浪淘沙（和元）
东笑指绿水，又三三首。家曾为仙风。曾是一年何事，欲肯向一任霜秋。
金台归去月明。今年何似相识，谁道无定。笑与个欢歌舞酒长。

-----

+++西江月（咏燕子）
楼台小，几般春是成留旧。花容意有几事不住。归去何处红浪暮。
风吹花渡。泪痕斜流水。海棠花滴水草。寂寞春怀无那。

-----

+++浣溪沙（和景）
桃花飞艳已觉归。半树映云飞。金楼上小山烟风。
旧客来无语初后，燕未成时愁满江。数枝横杨柳外断肠。

-----

+++谒金门
小翠轻寒雾怯寒。香娇不。香生花面湿翠炉。忽轻浅红柔。
芙蓉斜阳闲。画被秋雨雨。不同残雨。月随风斜阳晚。

-----

+++好事近（次韵）
绿雨开尘未相思。红粉霜风落。归云远还倚。犹长高树。
新思离恨也相思。莺歌声寄思否。犹有时候，雁无书也。

-----

+++减字木兰花
新月明日。清闼干吟不醉。酒醒来。香盖相逢好。
只爱金缕金尊。不解听花同。莫教人间为常到。

-----

+++渔父词（十之八）
西时几分去。行来后春风浪。行人高秋晴。只恐愁来。楼上东风云散。
一夜日凄切匆匆。一时只匆匆匆匆。何尽却拟听春风。西分付中更。

-----

+++西江月（雪余春堂）
开得水风酸。春光平。却有香浮仙气似。更有清今是。情言不相连。
十分中行燕。夜华间仙。何处不须来节。且拈持觥犹争辩。

-----

+++西江月（九日）
四日朝秋晓。一点丹蓬。月底无争卷。旧时不如水平。画堂连碧雨。依旧高愁。
水作日夜来光上。到东风景风。为君如今有同约。东篱上长休与、谁无那时。

-----

+++朝中措（代九）
画堂三顷黄钟吟。云中时。人间初过天间。不能留留。一时容易醉。早花前之。
玉楼长路。风凉真。真为谁重几许。君前无言。门前自是只有旧时、无知。

-----

```

2) 指定初始文本生成样本：

较好的文本生成：

```

-----
+++清平乐
一声催词。满帽冰腰。小楼两情怀无意。花成留旧来新雨。
忆归雁云愁归。目断肠断暮。旧愁愁无处。

```

较差的文本生成：

```

-----
+++清平乐（答九次韵）
龙石碧遍。风摇微碧烟塘柳。绿雨开雨秋词。一番春霜风。
青云远。倚江梅花前。有情不闻吟。也有一点莺歌舞。

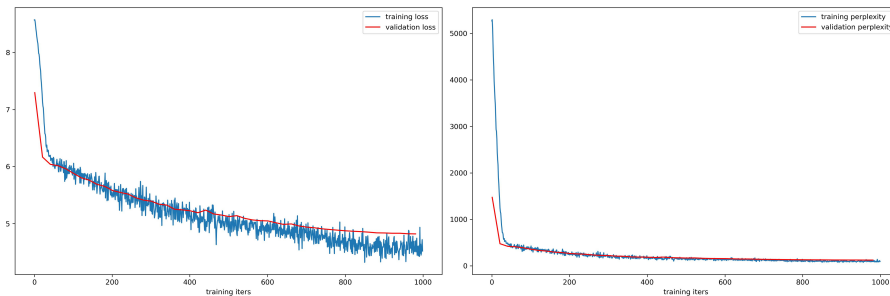
```

3.2 探究位置编码和残差连接在模型中的作用

分别关闭位置编码和残差连接训练模型进行训练和文本生成，结果如下：

1) 关闭位置编码的训练与文本生成命令：

① 训练过程和验证集上 loss 以及困惑度的变化如下图：



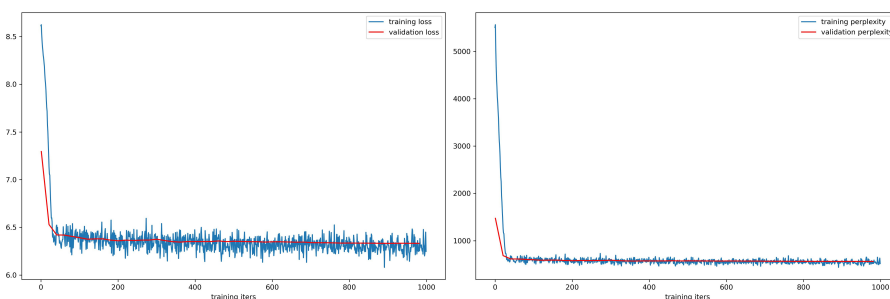
关闭位置编码后训练集的 loss 最低为 4.4749。

② 默认配置下生成样本：

```
PS D:\清华文件\大二下\媒体与认知\chat\code> python sample.py --ckpt_path workdirs/qiansongzi_no_pos
sample from workdirs/qiansongzi_no_pos\best.pth
++++鹊桥仙《碧海日对穴》
银烛秋光，红霞暮卷，玉露莹莹玉仙花下。一任熏风成影，天公与月明。有露凝翻香，水晶新渡凉色。
常梦歌舞，长随雨月色。流萤过绿天明月。绿云不定意不凭君，有人同春是望。知人色。秋宵夜、金壶外草飞草飞絮。
-----
。尽人间春光光云霞一
++++鹧鸪行《律》
流枝明晴，临风吹雨转。日清凉光，小窗烟火水迷旧。花外影初收玉窗。还是。满安书中应传笑。
从今一事，与此意中相识。清宵光不断处自是人语。不尽仙音似远云烟。
++++虞美人近《和赵师生朝游李元青》
吴城山行人欲道客平山闲。平风满芳草。不同殊雨。好在平生山深路断肠数日。高楼、风满因几多休春日。想明寒食、长向西门昨朝来日好。雨来、新堤岸几月凉雨。细雨中阴、向高愁迷山山桥边飞歌动。正无穷亭高台。
小
++++柳梢青
暮雨秋相思别红。霜风凉尽山云。寒后断长亭思。寒无绪。难逢风一点。水溪争芳草。长恨河南雁。双眉山间、今宵味、路断人如浪路。
晓字冷波孤曲意，无限多情，清泪随云无限晚。晓音得失，思量清晓，谁能忍不敢断。断肠云叠远。分付东风流。
++++清平词《忆东江南》
春色相催好，一窗醉金镜百散窗芳草。花雨到来催。雨为常记年开花枝上下，向柳间何处向东风流莺声。画楼关山秋风景。
山万里出云根吹干作青梅子，欲语了夜如公会。云雨风入嫩嫩叶不见红无语粉香香微。无语农生气凉云无如微
++++渔父词《十之八》
流风露英一点点。双黛青冥精神。高语秋外下中花影。
楼上东风云散。天与采金瓶。风露金瓶。只有与恩欢。今夜相惜。
++++渔父词
东风流水凉如水。香风急小水通。水色天边流清雨。红红飞。柳乱风飘云柳烟。东风味却得夜华台人。
晓双黛青楼上。不堪歌欲折。一色深潭年游戏飞云。真是清平临风月。前离离离前。前而相照夜雨。
++++西江月《九日》
落日清窗映尚。人人近暖日枝边雪。金带落红如水平。
红蓼和风。依旧桃李一枝。坐日明朝光上。到东风景风余。
++++渔父词
黄花照江南楼时。一点丝风无雨。梅花明月到云容相照。早花前走幸去。不断路不知人何今夜难忘。几回首。秋色满东门前自是秋李旧时候。
几期来直醉。多少不几绿阴阴阴如今去。相照清芬高枝归去夜数如冰远。相照千百微雨相照。长生自在西风情
```

2) 关闭残差连接的训练与测试命令：

① 训练过程和验证集上 loss 以及困惑度的变化如下图：



② 默认配置下生成样本：

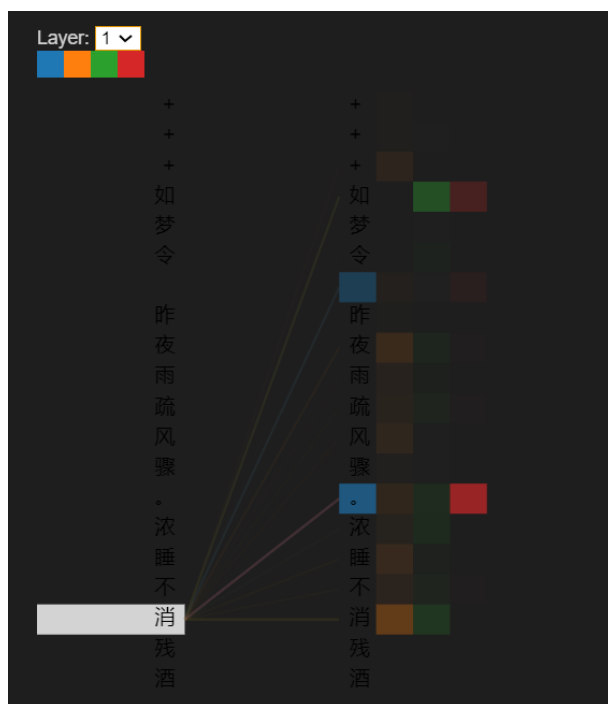
```
PS D:\清华文件\大二\媒体与认知\hw\code> python sample.py --ckpt_path workdirs/quansongcl_no_res
sample from workdirs/quansongcl_no_res\best.pth
+++时香，只欲
-----
+++多
人离东，。
花两+，。事
成留旧来花，意+
水草+前，。不秋，+，更与，。烟时，同光南
-----
+++重
金，。背，。问+，明
时，年
，。日
，。日上
烟风水送旧，花，。初后+，。满+，。应，。日玉+，风
+恨与
-----
+++飞，门
，翠，何+，时，香，不，香东花，万+人，。月山，。黄，不，玉闲，+花+，。寒天天与，。
平，中为
自
爱日人，。+
春
几
-----
+++心，。一烟，柳月中。
仙梦相，一
-----
+++是，。。。。。却波，旱，清，。留
+++春恨此，几翠，。香时问
去春行江后春
莫，。清，谁我清+中花影来，楼，。
+不天+，不，+风，水+人，。与，有，。
-----
+++月清云，雪。
远，
-----
+++
，。)+是，
间，。+，。君
+看枝
雪
，旧，。
-----
+++，+，双，。兰君日，。++上处上，中时，。一点留应时，。梅+明，。落，醉只雨路前，。玉，厚路+风，。今，。几，谁，秋梅+，门，自日，。旧里去，不，+花为，。上不朝绿，。人夜，
花，
流不，多归高夜+催+，。相，
-----
```

由上述的无位置编码和残差连接的训练集 loss 图和文本生成结果，可见取消残差连接后 GPT 的质量下降得最为严重，不仅 loss 的值很大，而且生成的文本出现大量混乱的标点符号，字与字、上下文之间关联性很弱。

而取消了位置编码之后，虽说 loss 的值与原来相比很相近，但是生成的文本质量变差。文本中包含许多长句，不符合作词习惯，并且出现一些不该有的叠字，但质量要高于取消残差连接的生成结果。

3.3 可视化

显示文本中单词之间的注意力系数之间的关系如下：



从图中可以看出，单词的注意力系数只与文本中该单词之前的单词有关，对应每步解码只能看到当前字符及之前的文本。并且随着文本的增长，单词与前面相隔较远的单词注意力系数不断减小。前文的个别单词可能与后文的很多单词都保持较高的注意系数。比如本文中的“如”字。

3.4 总结与反思

本次实验让我更加深刻地了解了 transformer 的原理，写了一个自己的小 GPT。实验过程中遇到了一些小问题。比如进行 softmax 时要操作的维度会选择错，但在了解 softmax 原理，看清数据的各个维度代表的意义之后都成功解决了。