Section5: Transformer

1. 要点まとめ

ニューラル機械翻訳を行うモデルとして代表的なのはseq2seqだが、これはEncoderで入力文章全体を 1 つの固定長ベクトルに集約してDecoderに渡すモデルであるため、入力文章が長くなるとうまくいかなくなるという課題がある。

この課題を解決するためにAttentionという手法がある。入力文章全体ではなく特定の箇所を切り取ってDecoderに渡す、という手法である。特定の箇所は、翻訳中の個々の単語に関連がある箇所を選ぶ。このAttentionを取り入れたモデルがTransformerである。

Transformerは、Attentionのみを用いて作られたモデルであり、RNNを使っていない。seq2seq等と同様、Encoder/Decoderで構成される。

Encoderでの処理概要は以下

1. 入力ベクトル（埋め込み表現）に対し、単語の位置情報（時刻情報）を付与（Position Encoding）
2. 複数のAttentionを生成（Multi-Head Attention）
3. 複数のAttentionを位置毎（時刻毎）に全結合して出力

Decoderでの処理概要は以下

1. Encoder出力とDecoderでの前時刻までの出力を入力
    - Decoder出力に対しては、「前時刻までの出力」に限定するためにマスクがかけられる(Masked Multi-Head Attention)
2. 入力から複数Attentionを生成（Multi-Head Attention）
3. 複数のAttentionを位置毎（時刻毎）に全結合して出力

Attentionの生成方法は以下

1. 各入力単語に対しQuery/Key/Valueベクトルを生成
    - Transformerでは、Query/Key/Valueベクトル全てを入力ベクトル（埋め込み表現）から生成（Self Attention）
    - 入力に対してQuery/Key/Valueに対応する重み行列を積算することで生成
2. Query/Keyベクトルを内積＆Softmax関数で加工
    - Softmax関数への入力が大きくなりすぎて勾配消失が起きないよう、Query/Keyベクトルの内積に対して次元でスケーリングを施す（Scaled Dot Production）
3. 加工したベクトルと、Valueベクトルを積算

2. 実装演習

DNN_code_colab_bert1bert2/lecture_chap2_exercise_public.ipynb に実装されているtransformerモデルを動作させ、学習の様子や推論結果を確認する。

```
# ※評価用に改変したセルのコードのみ掲載

# 訓練
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt

num_epochs = 15
hist_epoch = []
hist_train_loss = []
hist_train_bleu = []
hist_val_loss = []
hist_val_bleu = []

best_valid_bleu = 0.

for epoch in range(1, num_epochs+1):
    start = time.time()
    train_loss = 0.
    train_refs = []
    train_hyps = []
    valid_loss = 0.
    valid_refs = []
    valid_hyps = []
    # train
    for batch in train_dataloader:
        batch_X, batch_Y = batch
        loss, gold, pred = compute_loss(
            batch_X, batch_Y, model, criterion, optimizer, is_train=True
            )
        train_loss += loss
        train_refs += gold
        train_hyps += pred
    # valid
    for batch in valid_dataloader:
        batch_X, batch_Y = batch
        loss, gold, pred = compute_loss(
            batch_X, batch_Y, model, criterion, is_train=False
            )
        valid_loss += loss
        valid_refs += gold
        valid_hyps += pred
    # 損失をサンプル数で割って正規化
    train_loss /= len(train_dataloader.data)
    valid_loss /= len(valid_dataloader.data)
    # BLEUを計算
    train_bleu = calc_bleu(train_refs, train_hyps)
```

```
        valid_bleu = calc_bleu(valid_refs, valid_hyps)

        # validationデータでBLEUが改善した場合にはモデルを保存
        if valid_bleu > best_valid_bleu:
            ckpt = model.state_dict()
            torch.save(ckpt, ckpt_path)
            best_valid_bleu = valid_bleu

        elapsed_time = (time.time()-start) / 60
        print('Epoch {} [{:.1f}min]: train_loss: {:5.2f}  train_bleu: {:2.2f}
    valid_loss: {:5.2f}  valid_bleu: {:2.2f}'.format(
                epoch, elapsed_time, train_loss, train_bleu, valid_loss, valid_bleu))
        print('-'*80)

        hist_epoch.append(epoch)
        hist_train_loss.append(train_loss)
        hist_train_bleu.append(train_bleu)
        hist_val_loss.append(valid_loss)
        hist_val_bleu.append(valid_bleu)

    plt.figure(facecolor='white')
    plt.title("transformer(bleu score)")
    plt.xlabel("iter")
    plt.ylabel("bleu")
    plt.plot(hist_epoch, hist_train_bleu, label="train bleu")
    plt.plot(hist_epoch, hist_val_bleu,label="test bleu")
    plt.legend(loc='upper left')
    plt.show()

    plt.figure(facecolor='white')
    plt.title("transformer(loss score)")
    plt.xlabel("iter")
    plt.ylabel("loss")
    plt.plot(hist_epoch, hist_train_loss, label="train loss")
    plt.plot(hist_epoch, hist_val_loss,label="test loss")
    plt.legend(loc='upper left')
    plt.show()

    # ... (省略) ...

    import pandas as pd
    from google.colab import files

    def trim_end(sentence):
        if '.' in sentence:
          return sentence[:sentence.index('.')]
        elif '?' in sentence:
          return sentence[:sentence.index('?')]
        elif '!' in sentence:
          return sentence[:sentence.index('!')]
        elif '。' in sentence:
          return sentence[:sentence.index('。')]
        elif '？' in sentence:
          return sentence[:sentence.index('？')]
```

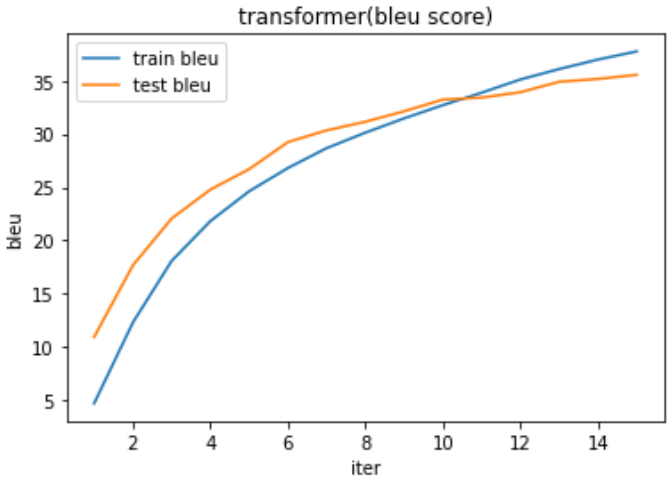
```
    else:
      return sentence


# BLEUの評価
test_dataloader = DataLoader(
    test_X, test_Y, 128,
    shuffle=False
    )

input_list = []
refs_list = []
hyp_list = []

for batch in test_dataloader:
    batch_X, batch_Y = batch
    preds, *_ = test(model, batch_X)
    preds = preds.data.cpu().numpy().tolist()
    refs = batch_Y[0].data.cpu().numpy()[:, 1:].tolist()
    input_ids = batch_X[0].data.cpu().numpy()[:, 1:].tolist()
    refs_list += refs
    hyp_list += preds
    input_list += input_ids

bleu = calc_bleu(refs_list, hyp_list)
print("bleu (max:100)=", bleu)

input_sentence_list = []
pred_sentence_list = []
ref_sentence_list = []
input_word_num_list = []
blue_score_list = []

for idx, (input_ids, pred, ref) in enumerate(zip(input_list, hyp_list,
refs_list)):
  input_sentence_words = trim_end(ids_to_sentence(vocab_X, input_ids))
  input_sentence = ' '.join(input_sentence_words)
  pred_sentence = ' '.join(trim_end(ids_to_sentence(vocab_Y, pred)))
  ref_sentence = ' '.join(trim_end(ids_to_sentence(vocab_Y, ref)))
  word_num = len(input_sentence_words)
  bleu = calc_bleu([ref], [pred])

  input_sentence_list.append(input_sentence)
  pred_sentence_list.append(pred_sentence)
  ref_sentence_list.append(ref_sentence)
  input_word_num_list.append(word_num)
  blue_score_list.append(bleu)

  if idx < 5:
    print("[",str(idx),"] ", input_sentence, " , num=", str(word_num))
    print("    --> (pred)", pred_sentence)
    print("    --> (ok) ", ref_sentence)
    print("    --> bleu= ", bleu)
```

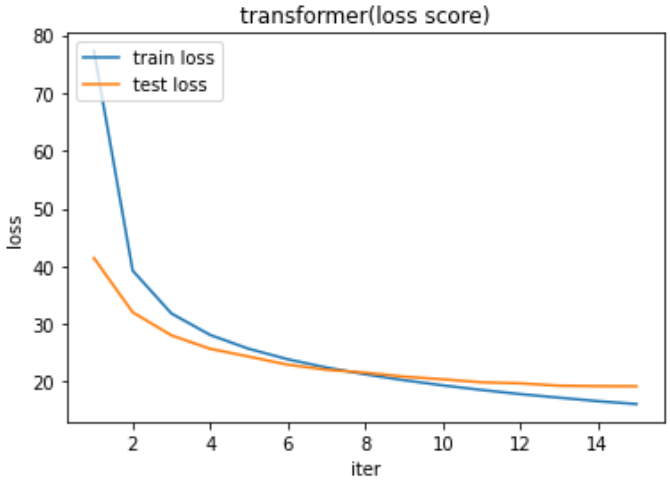
```
result_df = pd.DataFrame({ 'input'  : input_sentence_list,
                           'pred'   : pred_sentence_list,
                           'ok'     : ref_sentence_list,
                           'wordnum': input_word_num_list,
                           'bleu'   : blue_score_list })
result_df.to_csv("transformer_test_result.csv", encoding="shift-jis")
files.download('transformer_test_result.csv')
```

実行結果は以下。

学習の様子

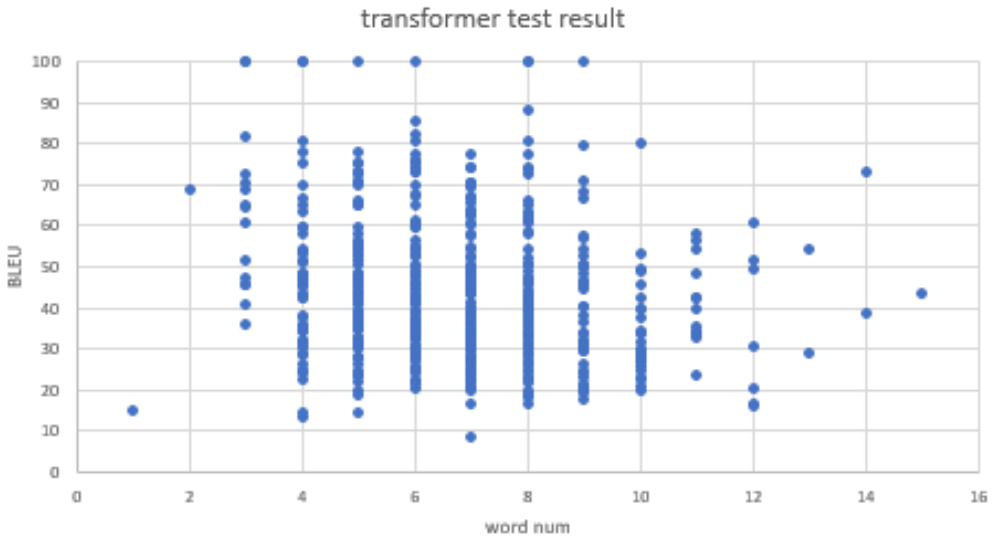
- 訓練データ(train)/テストデータ(test)どちらも、epoch(iter)が大きくなるにつれて、bleuは増加＆lossは減少傾向
- 学習が順調に進んでいることがうかがえる





テストデータの各文に対して学習済transformerモデルで推論を行い、各文の推論結果の入力単語数(word num)とBLEUスコアの関係を下図にグラフ化した。

- 単語数≦9の文では、BLEUスコアに明確な差は見られない
- 単語数≧10になると、高いBLEUスコア（80以上）の文が現れなくなっている



BLEUスコアとモデル精度（翻訳精度）の関係を確認するため、BLEUスコアが低い順、高い順にそれぞれ20サンプルずつ抽出し、推論結果(列pred)を正解(列ok)と比較した。

- ワースト20の推論結果は、意味不明 or 意味が全然違う結果が大半を占める
  - BLEUスコア小であれば翻訳精度も低いと言える
- ベスト20の推論結果（※BLUE=100除く）は、意味が正解と同等なものが多いが、中には正解とかなりかけ離れた結果もある（赤字）
  - BLUEスコア大であれば概ね翻訳精度は高いと言えるが、低い翻訳精度の結果も交じっている。
  - ただ、そういう結果は2割弱であり、大局的にモデル全体の精度評価を行う際にはあまり問題にはならないと思われる。

BLEUスコアが低い結果（ワースト20）

	A	B	C	D	E	F
1	no	input	pred	ok	wordn	bleu
2	203	money cannot make up for lost time	金 は な い	失 っ た 時間 を 金 で 埋め合わせ る こと は でき な い	7	8.64715
3	468	go about your business	<UNK>	<UNK> な お <UNK> だ	4	13.5335
4	372	you should eat more vegetables	もっと 食べ る です よ	あなた は もっと 野菜 を 食べ た 方 が い い です よ	5	14.5101
5	202	what a lovely day	<UNK> です	なん て よい 天気 なん でし ょう	4	14.6126
6	2	no	<UNK> でき な い	ごめん なさ い	1	15.3465
7	425	i had enough time , so i didn 't need to hurry	急 に な け れ ば 必要 な かっ た	時間 は 充分 あっ た ので 急 ぐ 必要 は な かっ た	12	15.9548
8	210	all that you have to do is to wait for his reply	君 は 彼 の 待 つ こと を でき る よう に し て い る	君 は 彼 の 返事 を 待ち さえ すれ ば よい	12	16.467
9	117	do any of the members agree with you	これ 以上 あなた は 同意 し ます か	メンバー の 誰 か が 君 に 賛成 し て い ます か	8	16.8471
10	391	all were glad to hear the news	その ニュース を 聞い て うれし い もの を 聞い て い た	その 知らせ を 聞い て みんな 喜ん だ	7	16.9486
11	229	it is no easy task to write a letter	手紙 を 書く の 手紙 を 書く の は 簡単 です	手紙 を 書く こと は 、 たやすい こと で は な い	9	17.702
12	103	i loved reading when i was a child	私 は 子供 の 頃 読ん で い た た た た い	私 は 子供 の ころ 読書 が 大好き だっ た	8	18.2071
13	138	you don 't like <UNK> , do you	<UNK> は 好き です ね	あなた は <UNK> が 好き で は な い の です ね	8	18.6932
14	66	how can you break the news to her	彼女 の ニュース を どう やっ て も よろし い です か	どう やっ て 彼女 に <UNK> と い う ん だい	8	18.9224
15	436	are you referring to me	私 に は 君 は 彼 を 言っ て い る の か	私 の こと を 話し て い る の	5	18.9224
16	342	her voice could hardly be heard above the noise	彼女 の 声 は その 音 を ほとんど 聞い た た た た い	彼女 の 声 は 騒音 の 中 で ほとんど 聞 <UNK> な かっ た	9	19.5648
17	212	he asked after my wife when i met him today	彼 は 今日 私 が 彼 に 会っ た こと を 尋ね た	今日 彼 に 会っ たら 妻 は 元気 か と 聞か れ た	10	19.6678
18	9	choose one from among these	これ ら の 中 の 中 で は 知っ て い る	これ ら の 中 から 1 つ 選び なさ い	5	19.675
19	462	nothing is more important in life than health	健康 より 大切 な もの は 健康 で ある	人生 に おい て 健康 ほど 大切 な もの は な い	8	19.7674
20	199	he does far better than you do at school	彼 は 学校 で 学校 を やっ て い る	彼 は 学校 で は 君 より はる か に 成績 が よい	9	19.8605
21	431	his work shows nothing to <UNK> about	彼 の 仕事 は <UNK> に つ い て い た	彼 の 仕事 は 自慢 する ほど の もの で は な い	7	19.8605

BLEUスコアが高い結果（ベスト20　※BLEU=100は除外（˙꒳˙完全一致なので自明））

	A	B	C	D	E	F
1	no	input	pred	ok	wordn	bleu
11	323	this is the house where i was born	これ は 私 が 生まれ た 家 です	ここ は 私 が 生まれ た 家 です	8	88.0112
12	397	how many pens do you have	何 本 の ペン を 持っ て い ます か	あなた は 何 本 の ペン を 持っ て い ます か	6	85.7404
13	269	let him do as he likes	彼 は 彼 を 好き に し て やせ よう	彼 の 好き な よう に やら せ なさ い	6	82.4237
14	236	words failed her	言葉 は 失敗 し た い です	彼女 は 言葉 に 詰ま っ た	3	81.6497
15	109	please come to talk to me	私 に 話し て くれ	相談 に 来 て ください	6	80.9107
16	124	it looks like snow	雪 の よう に 見える	雪 に なり そう だ	4	80.9107
17	162	what time did the plane arrive at narita	その 飛行機 は 何時 に 到着 し た の です か	飛行機 は 何時 に 成田 に 到着 し た の です か	8	80.5634
18	237	i didn 't quite catch the name of that <UNK>	私 は その 名前 を <UNK> に し な かっ た	そんな <UNK> の 名前 聞い た こと な い	10	80.3428
19	381	will you tell me the way to kyoto station	京都 に 行く 道 を 教え て くれ ませ ん か	京都 駅 へ 行く 道 を 教え て くれ ませ ん か	9	79.6549
20	257	i don 't like coffee	コーヒー は 好き で は な い	ぼく は コーヒー が <UNK> だ	5	78.2542
21	460	that student is tom	あの 学生 は トム の <UNK> だ	あの 生徒 が トム です	4	78.2542
22	187	i quite <UNK> on to that man	私 は その 男 を <UNK> に し たい	その 人 が 本当 に 好き と なっ た	7	77.6545
23	95	i have lived here for a long time	私 は 長い 間 ここ に 住ん で い たい	私 は 長い 間 ここ に 住ん で い ます	8	77.4403
24	390	we cannot go into the <UNK>	私 たち は その <UNK> に 乗り込む こと を でき な い	<UNK> を に は 入れ ませ ん	6	77.3055
25	228	it is quite a sorry sight	その 光景 は まっ たく まっ たく 見え な け れ ば な い	まっ たく 悲し い 光景 だ	6	75.9836
26	488	the examination is near at hand	その 試験 は すぐ に <UNK> を し て い る	試験 が <UNK> に 迫っ た	6	75.9836
27	286	i have to go now	私 は 今 行か な け れ ば な ら な い	僕 は もう 行か な け れ ば な ら な い	5	75.3922
28	226	he has a dog	彼 は 犬 を 飼っ て い る	彼 は 、 犬 を 飼っ て い る	4	75.165
29	483	he never breaks his promise	彼 は 決して 約束 を 破ら な い	彼 は 、 決して 約束 を 破ら な い	5	75.165
30	161	she didn 't need to come	彼女 は 来る 必要 は な かっ た	彼女 が 来る 必要 は な かっ た	6	75.0624
31	419	what 's the name of this tune	これ は どう な っ て い る の の です か	何 と い う 曲 なの	7	74.4782

3. 確認テスト

※Section5は確認テストなし