

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19861

研究課題名（和文）品質推定に基づく半教師あり機械翻訳

研究課題名（英文）Semi-supervised Machine Translation based on Quality Estimation

研究代表者

梶原 智之（Kajiwara, Tomoyuki）

愛媛大学・理工学研究科（工学系）・講師

研究者番号：70824960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：大阪万博に向けて、機械翻訳の精度向上が急務である。本研究では、自然言語処理モデルによる出力文を正解文なしで自動評価する品質推定に取り組み、これを報酬とする強化学習によって機械翻訳をはじめとするテキスト生成モデルの訓練にも取り組んだ。前者については、多言語文符号化器に基づく教師なし品質推定の手法を提案し、人手評価との相関において既存手法よりも高い性能を達成した。後者については、機械翻訳およびテキスト平易化において、報酬関数として品質推定を用いる強化学習によって、生成文の品質を改善した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大阪万博に向けて、機械翻訳の精度向上が急務である。従来の機械翻訳の訓練では、出力文と正解文の単語一致率を最大化するように深層学習モデルを最適化するのが一般的であり、正解文と表層的に異なる出力文は意味的に正しくともペナルティを受けてしまう。単語単位で表層的な評価に基づくフィードバックを行う従来手法に対して、本研究では、文単位で意味的な評価に基づくフィードバックを用いて機械翻訳を訓練する。正解文の表現に対する依存を減らして柔軟な訓練を実現する本手法は、機械翻訳をはじめとする様々なテキスト生成技術の性能を改善する可能性を持つ。本研究では、機械翻訳とテキスト平易化において、その有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：Improving machine translation performance is an urgent task for the Osaka Expo. In this research, we worked on quality estimation for automatic evaluation of output sentences by natural language processing models without reference sentences, and also trained machine translation and other text generation models by reinforcement learning with such quality estimation as a reward. For the former, we proposed a series of methods for unsupervised quality estimation based on multilingual sentence encoders and achieved better performance than existing methods in terms of correlation with human evaluation. For the latter, we improved the quality of the generated text by reinforcement learning, which employs quality estimation as a reward function for machine translation and text simplification.

研究分野：自然言語処理

キーワード：機械翻訳 品質推定 強化学習

1. 研究開始当初の背景

東京五輪や大阪万博に向けて、機械翻訳の精度向上が急務である。日英や日中の翻訳精度が改善されてきたものの、翻訳器の訓練に必要な 100 万文対を超える対訳データをあらゆる言語対で用意することは困難である。一方で、対訳データを必要としない教師なし機械翻訳の研究が近年急速に発展しており、一部の言語対においては数年前の教師あり機械翻訳に匹敵する品質に到達している。このような、少資源あるいは教師なしの設定における中品質な機械翻訳を更に改善することで、各種サービスの多言語展開が期待できる。

技術的には、意味と表現が 1 対 1 対応しないことが、機械翻訳をはじめとする自然言語処理における積年の課題である。機械翻訳においては、翻訳文と正解文の単語単位の一致率を最大化するようにニューラルネットワークを最適化するのが一般的であり、正解文と表層的に異なる翻訳文は意味的に正しくともペナルティを受けてしまう。特に少資源の設定では、たまたま正解文に出現した表現に強く影響を受け、翻訳器の訓練が局所最適解に陥る恐れがある。そこで本研究では、正解文の表現に対する依存を減らし、翻訳文の文意を捉えた柔軟なフィードバックを与えることによって、図 1 に示すように、機械翻訳の訓練を高度化することを目指す。

2. 研究の目的

- (1) 正解文の表現に依存しない方法で、生成文の品質推定の技術を高度化する
- (2) 品質推定の結果を報酬とする強化学習によって、テキスト生成の技術を高度化する

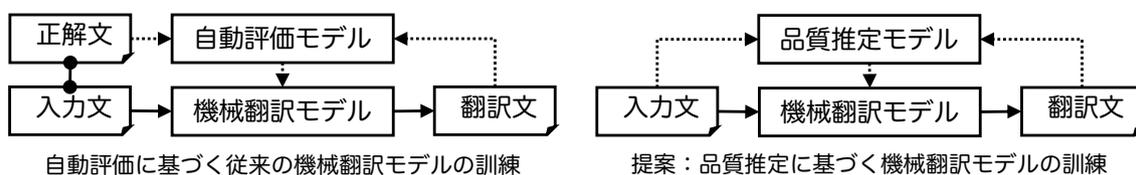


図 1：従来の正解文に基づく訓練（左）と本研究で提案する正解文に依存しない訓練（右）

3. 研究の方法

(1) 品質推定

機械翻訳の研究開発の場では、翻訳品質は BLEU や METEOR などの正解文に基づく方法で自動評価されている。本研究では、正解文の表現に依存せずに翻訳品質を評価するために、正解文の代わりに入力文に基づく品質推定の技術について研究する。機械翻訳の品質推定に関する近年の研究では、入力文・出力文・人手評価値の 3 つ組データを用いて、mBERT や XLM-R などの多言語文符号化器を訓練するアプローチが主流である。しかし、このような品質推定データセットの構築は、原言語と目的言語の両方に精通したアノテータが必要となるため、非常にコストが高い。そこで本研究では、人手評価値を必要としない教師なし品質推定の技術について研究する。

ひとつのモデルで 100 以上の言語を扱うことができる多言語文符号化器は、品質推定をはじめとするクロスリンガル言語理解のために有用である。しかし、図 2 (左) に示すように、多言語文符号化器から得られる文表現は、言語固有の情報による影響を強く受け、再訓練なしでは言語を超えての文間の意味的類似度推定が難しい。本研究では、多言語文符号化器の文表現 (左) から言語固有の情報 (右) を取り除き、言語非依存の意味情報 (中) を抽出する手法を提案する。

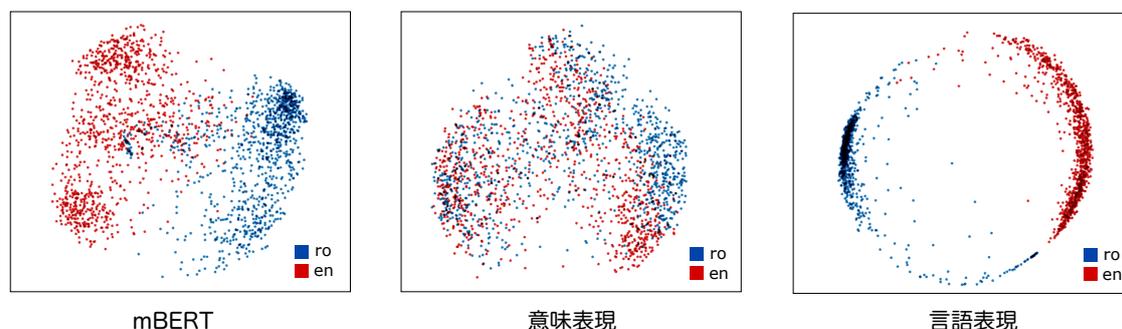


図 2：英語 (en) とルーマニア語 (ro) の対訳データ 1,000 文対の可視化

提案手法は、図 3 に示すように、2 つの多層パーセプトロン (MLP_L および MLP_M) から構成される。多言語文符号化器から得られる文表現を入力として、 MLP_L が言語固有の情報 (言語表現) を

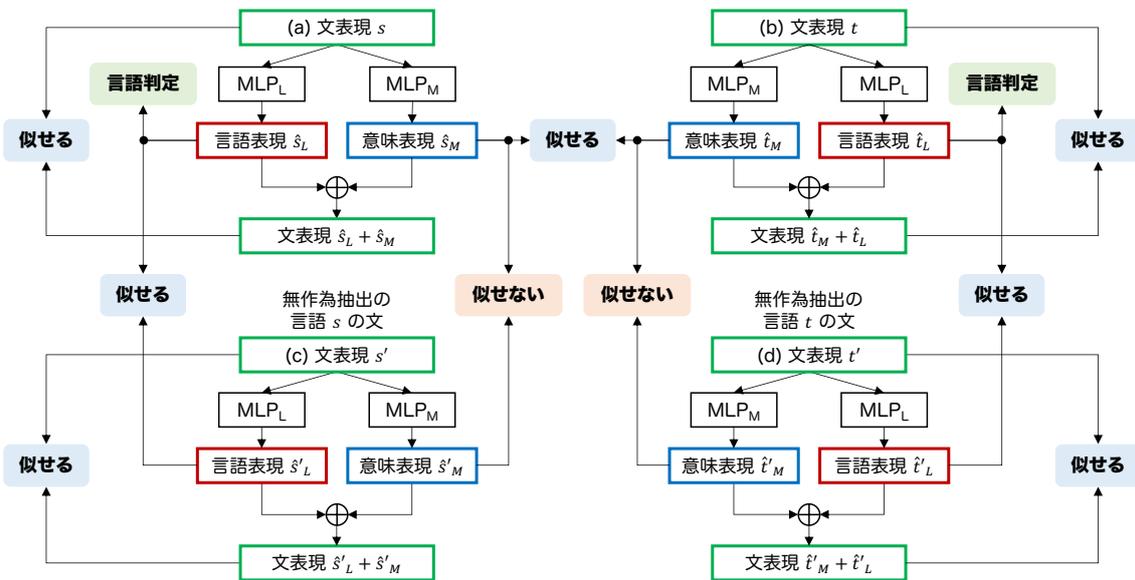


図3：多言語文字符号化器からの言語非依存な意味表現の抽出

抽出し、MLP_Mが言語非依存の情報（意味表現）を抽出する。そして、言語表現と意味表現のベクトルを足し合わせると元の多言語文字符号化器から得た文表現が復元されるという制約のもとで、2つの多層パーセプトロンを学習する。本手法では、対訳データに含まれる(a)原言語文および(b)目的言語文の文対に加えて、(c)原言語の中から無作為に選択された文および(d)目的言語の中から無作為に選択された文の4文を用いて、MLPを学習する。(a)と(b)は意味的に対応するが異言語の文対、(a)と(c)および(b)と(d)は意味的な対応は持たないが同一言語の文対である。これらの文間の関係を考慮して、(a)と(b)の間では意味表現を近づけ、(a)と(c)および(b)と(d)の間では言語表現を近づけつつ意味表現を遠ざける。さらに、言語表現が各言語に固有の情報を持つことを保証するために、言語表現からはその文が何語なのかを判定する。

提案手法によって多言語文字符号化器の文表現から意味表現を抽出できる。品質推定の際には、機械翻訳の入力文および出力文の間で、意味表現の間の余弦類似度を計算する。この類似度が翻訳品質に対応する。

(2) テキスト生成

ニューラル機械翻訳をはじめとする深層学習ベースのテキスト生成では、単語単位のクロスエントロピー損失を用いる訓練が一般的に使用される。本研究では、このように訓練されたテキスト生成モデルを、強化学習の枠組みで再訓練し、生成文の品質を改善する。ここで、強化学習の報酬関数として、先述の品質推定を使用することで、正解文の表層に依存しない文単位での評価およびフィードバックを可能にする。

4. 研究成果

(1) 品質推定

機械翻訳コンペティション WMT20 における品質推定タスクにおいて、提案手法の有効性を評価した。本タスクは、6つの言語対における各1,000文対に対する人手評価値が提供され、モデルが推定する翻訳品質と人手評価値の間のピアソン相関を評価するものである。なお、評価対象の機械翻訳は、Transformerモデルである。提案手法は、En-De および En-Zh の多資源言語対においては100万文対、Ro-En および Et-En の中資源言語対においては20万文対、Ne-En および Si-En の少資源言語対においては5万文対の対訳コーパスを用いて訓練した。品質推定の実験結果を表1に示す。

表1：機械翻訳の品質推定における人手評価とのピアソン相関

	多資源言語対		中資源言語対		少資源言語対		平均
	En-De	En-Zh	Ro-En	Et-En	Ne-En	Si-En	
mBERT	0.07	0.01	0.18	0.01	0.03	-	0.06
+提案手法	0.13	0.13	0.66	0.35	0.40	-	0.34
XLNet	0.06	0.01	0.15	0.02	0.01	0.15	0.06
+提案手法	0.09	0.12	0.65	0.33	0.31	0.23	0.29
LaBSE	0.08	0.04	0.71	0.55	0.55	0.46	0.40
+提案手法	0.15	0.16	0.71	0.55	0.63	0.55	0.46

mBERT・XLM-R・LaBSE の 3 種類の多言語文符号化器に対して、提案手法による意味表現の抽出によって、品質推定の性能が改善できることがわかる。特に、LaBSE の多言語文符号化器との組み合わせによって、最も高い性能を達成できた。また、図 2 に示したように、mBERT や XLM-R は再訓練なしの状態では品質推定器としての性能は低いが、提案手法によって著しい性能改善が見られた。

(2) テキスト生成

機械翻訳コンペティション IWSLT2014 における De-En 翻訳タスクおよび Newsela データセットにおける英語ニュースのテキスト平易化において、提案手法の有効性を評価した。ベースモデルは、機械翻訳においては Transformer モデル、テキスト平易化においては LSTM モデルである。強化学習の報酬として、BERT ベースの文間類似度推定器を用いた。なお、テキスト平易化タスクにおいては、入出力間の類似度に関する報酬に加えて、出力文の文法性や平易性を評価する品質推定器も報酬に組み込んだ。評価指標は両タスクともに BLEU である。実験結果を表 2 に示す。

表 2：テキスト生成における BLEU の自動評価

	機械翻訳	テキスト平易化
ベースモデル	33.73	21.57
+強化学習	34.09	23.14

両タスクにおいて、品質推定ベースの強化学習によって、テキスト生成の性能を改善できた。テキスト平易化においては文法性・同義性・平易性の 3 種類の報酬を用いたが、特に文法性および平易性に関する報酬に大きな改善が見られ、これらがテキスト生成の品質改善に貢献したと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 西原哲郎, 岩本裕司, 吉仲真人, 梶原智之, 荒瀬由紀, 二宮崇	4. 巻 29
2. 論文標題 多言語雑音除去自己符号化器による教師なし品質推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 自然言語処理	6. 最初と最後の頁 669 ~ 687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5715/jnlp.29.669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉村綾馬, 金子正弘, 梶原智之, 小町守	4. 巻 28
2. 論文標題 文法誤り訂正の参照文を用いない自動評価の人手評価への最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然言語処理	6. 最初と最後の頁 404 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5715/jnlp.28.404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Yuto Kuroda, Atsushi Fujita, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya
2. 発表標題 Unsupervised Translation Quality Estimation Exploiting Synthetic Data and Pre-trained Multilingual Encoder
3. 学会等名 arXiv:2311.05117
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuto Kuroda, Tomoyuki Kajiwara, Yuki Arase, Takashi Ninomiya
2. 発表標題 Adversarial Training on Disentangling Meaning and Language Representations for Unsupervised Quality Estimation
3. 学会等名 Proceedings of the 29th International Conference on Computational Linguistics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Nakatani, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya
2. 発表標題 Comparing BERT-based Reward Functions for Deep Reinforcement Learning in Machine Translation
3. 学会等名 Proceedings of the 9th Workshop on Asian Translation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nattapong Tiyajamorn, Tomoyuki Kajiwara, Yuki Arase, Makoto Onizuka
2. 発表標題 Language-agnostic Representation from Multilingual Sentence Encoders for Cross-lingual Similarity Estimation
3. 学会等名 Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akifumi Nakamachi, Tomoyuki Kajiwara, Yuki Arase
2. 発表標題 Text Simplification with Reinforcement Learning using Supervised Rewards on Grammaticality, Meaning Preservation, and Simplicity
3. 学会等名 Proceedings of the ACL-IJCNLP 2020 Student Research Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryoma Yoshimura, Masahiro Kaneko, Tomoyuki Kajiwara, Mamoru Komachi
2. 発表標題 SOME: Reference-less Sub-Metrics Optimized for Manual Evaluations of Grammatical Error Correction
3. 学会等名 Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akifumi Nakamachi, Hiroki Shimanaka, Tomoyuki Kajiwara, Mamoru Komachi
2. 発表標題 TMUOU Submission for WMT20 Quality Estimation Shared Task
3. 学会等名 Proceedings of the Fifth Conference on Machine Translation (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関