

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月5日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05873

研究課題名(和文)ニューラルネットに基づく制御可能な自然言語生成

研究課題名(英文)Controllable Natural Language Generation with Neural Networks

研究代表者

Neubig Graham (Neubig, Graham)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・客員准教授

研究者番号：70633428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,400,000円

研究成果の概要(和文)：自然言語の文を生成する技術は、人間の言語同士を翻訳する機械翻訳、人間と自然言語で対話を行う対話システム、長い文章を簡潔にまとめる自動要約など、様々な応用で用いられる汎用的な技術である。近年ニューラルネット(NN)に基づく言語生成モデルは、従来の生成モデルを大幅に上回る精度を実現しているが、予期せぬ致命的な誤りが起こりやすい。本研究では、人手で結果が制御可能なNN言語生成という新たな自然言語生成枠組みを開発し、従来のNN言語生成の精度を保ちながら実用に耐えられる技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

それぞれの研究成果は、言語生成の性能向上、効率向上、制御性向上などを実現しており、機械翻訳・対話システム・自動要約などの幅広い分野で適応可能である。それぞれの応用において、誤りの削減や制御性の向上、効率の向上を実験により確認している。また、開発したソフトウェアを公開し、研究機関や企業などで広く利用されている。

研究成果の概要(英文)：Technology to generate sentences in natural language has various applications: machine translation, which translates between human languages, dialogue systems, which facilitate communication between humans and machines, and summarization, which converts longer chunks of content into short summaries. Recently, methods based on neural networks (NNs) have outperformed other more traditional models by a large margin, but they often also cause unpredictable and serious errors. In this project, we developed NN-based language generation technology where it is possible to control the results, maintaining the accuracy of NN-based methods while improving practical applicability.

研究分野：自然言語処理

キーワード：言語生成 機械翻訳 ニューラルネットワーク 機械学習 自然言語処理

1. 研究開始当初の背景

自然言語生成とは、何らかの入力を受け取り、その入力に基づき自然言語の文を生成する技術である。言語生成は非常に適用範囲の広く、ある言語の文を別の言語の文へと変換する機械翻訳、対話履歴に応じて次の発話を生成する対話システム、長い文章の内容を簡潔にまとめる自動要約などがその応用として研究されてきた。これらの応用は Google 翻訳、Siri、Yahoo ニュースに代表されるウェブサービスで広く利用されている。

従来、言語生成を行う際に、その文を構成する要素(単語や句)を個別に生成し、これらを組み合わせて文を生成する要素合成手法が利用されてきた。しかし研究開始当時、従来の要素合成と全く異なる、深層学習とニューラルネットワーク(NN)に基づく言語生成モデルが台頭し、多くのタスクにおいて、従来より大幅に正確で流暢な文の生成に成功していた。NN 言語生成では、まず NN で入力を実数ベクトルに変換してから、この実数ベクトルを基にリカレントニューラルネットワーク(RNN)等を用いて出力文を生成していく。機械翻訳、対話システム、自動要約においても NN 言語生成モデルが提案され、従来法を上回る流暢性と正確性を実現していた。

しかし、NN 言語生成モデルは平均的に滑らかな文の生成を実現する一方、予期せぬ深刻な誤りを起こすこともあった。例えば、我々が開発した科学論文用 NN 翻訳システムに「我々は直径を計った」と入力した際、学習データに十分カバーされていない「直径」を正解の「diameter」ではなく、「半径」を意味する「radius」に翻訳してしまい、重大な誤解を招く誤りとなってしまった。しかし、NN 言語生成モデルは入力を人間の解釈が困難な実数ベクトルとして表すため、透明性と制御性に問題も抱えており、予期せぬ誤りを起こした際に修正する手法が確立されていなかった。一方、このような人手制御は信頼性のあるシステムを構築する上で非常に重要であり、産業界において利用可能な言語生成を実現する上で必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、制御可能な NN 言語生成という新たな言語生成の枠組みの実現に向けて、制御可能性に着目したアルゴリズムの開発に取り組んだ。これらの確立により、予期せぬ誤りを起こさず、ユーザが安心して利用できるニューラル言語生成システムの開発を目指した。

3. 研究の方法

様々な着目点から研究を進んだ。

- a. **計算基盤の開発**：まず、本研究に必要な計算基盤として、ニューラルネットワークの柔軟な計算を可能とするニューラルネットワークツールキット DyNet の大幅な拡張と効率化を行った(Neubig et al. 2017)。他の既存のツールキットと比較し、計算効率や実装のしやすさに関して、その優位性を示した。また、本研究で実現された改良にもとづき、ユーザベースが大幅に増えて、現在様々な研究機関で利用されている。
- b. **ニューラルネットワークに外部から情報を与える様々な手法の開発**：例えば、ニューラルネットワークを用いた言語モデルに頻度に基づく言語モデルの情報を取り入れて、低頻度語に対する頑健性の向上を図った(Neubig and Dyer 2016)。また、ニューラルネットワークに基づく翻訳では、外部辞書の情報を活用して、学習データに十分な学習事例が存在しない単語に対する翻訳性能の向上も図った(Arthur et al. 2016)。
- c. **ニューラル言語生成モデルに基づく効率的な実験を行うための工夫**：具体的には、どの単語を出力するかを確定する場合、語彙中のすべての単語を考慮せずに、単語をバイナリのビット列として扱い、それぞれのビットを推定することで計算・メモリともに大幅な削減を行うことができる(Oda et al. 2017)。さらに、複数のデータ点を同時に処理するミニバッチ学習が必要になるが、そのミニバッチ化が最終的なモデル性能に与える影響を綿密に調べる研究はなかった。我々は様々なミニバッチ化手法を比較し、より安定したモデル学習を実現した(Morishita et al. 2017)。
- d. **複数の入力により制御を行う手法の開発**：複数の入力に基づいた「マルチソース」ニューラル言語生成システムを開発した。具体的には、ニューラルネットワークに基づいて複数の入力を連続値のベクトルに変換し、その複数の連続値ベクトルに基づき出力を生成する「マルチエンコーダー系列変換モデル」形式である(Nishimura et al. 2018)。また、ピボット言語を用いた言語生成モデル(具体的には翻訳)に対して、木構造を用いたモデルを提案した。ピボット翻訳では、対訳コーパスが存在しない言語対(例えば日本語・タイ語)を、対訳データが存在するピボット言語(例えば日本語・英語と英語・タイ語)のコーパスで補う(Miura et al. 2017)。

4. 研究成果

上記の手法では様々な研究成果が得られた。それぞれの研究成果は上記の通り、言語生成の性

能向上、効率向上、制御性向上などを実現している。下記には、特に実用性が広く認識されたものについて特筆する。

- a. Neubig et al. (2017)で開発した DyNet ツールキットは、言語処理を中心とする多くの研究者により利用されている。現在 DyNet に関する技術資料は 166 回引用され、オープンソースサイト GitHub で 2,748 個の「お気に入り」になっている。
- b. Arthur et al. (2016)の翻訳に辞書を取り入れて、出力を制御する手法は様々な翻訳タスクで実力を発揮することが示された。多くの研究機関や企業により取り入れられており、関連する論文が 64 回引用されている以外にも、Amazon の実用システムに導入されたりしている。
- c. 9 本の論文が発表され、その多くは言語処理で最も権威のある雑誌 (ACL, EMNLP, WMT 等) で採択されている。また、「自然言語処理」の論文賞や、音声翻訳に関する国際ワークショップの「IWSLT」の学生最優秀論文賞として選ばれている。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

1. Yuta Nishimura, Katsuhito Sudoh, Graham Neubig, Satoshi Nakamura. Multi-Source Neural Machine Translation with Missing Data. Proceedings of the Second Workshop on Neural Machine Translation and Generation. pp. 92-99. 2018. 査読あり. DOI なし.
2. Yuta Nishimura, Katsuhito Sudoh, Graham Neubig, Satoshi Nakamura. Multi-Source Neural Machine Translation with Data Augmentation. Proceedings of the 15th International Workshop on Spoken Language Translation. pp. 48-53. 2018. 査読あり. DOI なし. (学生最優秀論文賞)
3. Makoto Morishita, Yusuke Oda, Graham Neubig, Koichiro Yoshino, Katsuhito Sudoh, Satoshi Nakamura. An Empirical Study of Mini-Batch Creation Strategies for Neural Machine Translation. Proceedings of the First Workshop on Neural Machine Translation. pp. 61-68. 2017. 査読あり. DOI なし.
4. 小田 悠介, Philip Arthur, Graham Neubig, 吉野 幸一郎, 中村 哲. 二値符号予測と誤り訂正を用いたニューラル翻訳モデル. 自然言語処理. 2 pp. 167-200. 2017. 査読あり. DOI <https://doi.org/10.5715/jnlp.25.167>. (論文賞)
5. Akiva Miura, Graham Neubig, Katsuhito Sudoh, Satoshi Nakamura. Tree as a Pivot: Syntactic Matching Methods in Pivot Translation. Proceedings of the 2nd Conference on Machine Translation. pp. 90-98. 2017. 査読あり. DOI なし.
6. Yusuke Oda, Philip Arthur, Graham Neubig, Koichiro Yoshino, Satoshi Nakamura. Neural Machine Translation via Binary Code Prediction. Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). pp. 850-860. 2017. 査読あり. DOI なし.
7. 三浦 明波, Graham Neubig, Sakriani Sakti, 戸田 智基, 中村 哲. 中間言語情報を記憶するピボット翻訳手法. 自然言語処理. 23-5 pp. 499-528. 2016. 査読あり. DOI <https://doi.org/10.5715/jnlp.23.499>.
8. Philip Arthur, Graham Neubig, Satoshi Nakamura. Incorporating Discrete Translation Lexicons into Neural Machine Translation. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. pp. 1557-1565. 2016. 査読あり. DOI なし.
9. Graham Neubig, Chris Dyer. Generalizing and Hybridizing Count-based and Neural Language Models. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. pp. 1163-1172. 2016. 査読あり. DOI なし.

[学会発表](計 11 件)

1. 西村 優汰, 須藤 克仁, Graham Neubig, 中村 哲. マルチソースニューラル機械翻訳における翻訳時の原言語欠落補完. 言語処理学会第 24 回年次大会(NLP2019). 2019 年.
2. Graham Neubig. What can Neural Networks Teach us about Language?. 理化学研究所革新知能プロジェクトセミナー(招待講演). 2018 年.
3. Graham Neubig. Softmax Approximations for Neural Machine Translation. 2017 Machine Translation Marathon in the Americas(招待講演)(国際学会). 2017 年.
4. 三浦 明波, Graham Neubig, 須藤 克仁, 中村 哲. 構文構造の部分一致を考慮したピボット翻訳手法. 情報処理学会 第 231 回自然言語処理研究会. 2017 年.

5. 小田 悠介, Philip Arthur, Graham Neubig, 吉野 幸一郎, 中村 哲. 二値符号予測と誤り訂正に基づくコンパクトなニューラルネットワーク翻訳モデル. 言語処理学会第23回年次大会. 2017年03月13日~2017年03月17日. 筑波大学(茨城県つくば市).
6. 森下 睦, 小田 悠介, Graham Neubig, 吉野 幸一郎, 須藤 克仁, 中 村哲. ニューラル機械翻訳におけるミニバッチ構成法の違いによる影響の調査. 言語処理学会第23回年次大会. 2017年03月13日~2017年03月17日. 筑波大学(茨城県つくば市).
7. 札幌 寛之, 小田 悠介, 吉野 幸一郎, Graham Neubig, 中村 哲. 目的言語側の構造を考慮した自然言語からの構文的に正しいソースコード生成. 言語処理学会第23回年次大会. 2017年03月13日~2017年03月17日. 筑波大学(茨城県つくば市).
8. Graham Neubig. Lexicons and Minimum Risk Training for Neural Machine Translation: NAIST-CMU at WAT2016. Workshop on Asian Translation(国際学会). 2016年12月12日. Osaka International Convention Center (大阪府大阪市).
9. Graham Neubig. Structured Neural Networks for NLP: From Idea to Code. Young Researcher's Symposium on Natural Language Processing(招待講演)(国際学会). 2016年12月10日. Osaka International Convention Center (大阪府大阪市).
10. 三浦 明波, Graham Neubig, 中村 哲. 木構造を中間表現とするピボット翻訳手法. 情報処理学会 第227回自然言語処理研究会. 2016年07月29日~2016年07月30日. 岡山県立大学(岡山県総社市).
11. 森下 睦, 小田 悠介, Graham Neubig, 吉野 幸一郎, 中村 哲. 様々な分野における対訳コーパスを用いた構文解析器の自己学習効果の検証. 情報処理学会 第226回自然言語処理研究会. 2016年05月15日~2016年05月16日. 東京工業大学(東京都大田区).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

DyNet: The Dynamic Neural Network Toolkit

<https://github.com/clab/dynet/>

本研究で大幅に拡張・効率化されたニューラルネットツールキット DyNet

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。