

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11569

研究課題名（和文）機械学習を学ぶための三者対話型チュータリングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of three party tutoring system for mastering machine learning

研究代表者

荒木 雅弘（Araki, Masahiro）

京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・准教授

研究者番号：50252490

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、覚醒度を保ちつつ心理的負担が少ないチュータリングシステムの開発に取り組んだ。まず、三者対話形式でのチュータリングシステムのプロトタイプを作成し、二者対話方式と比較したアンケート調査から三者対話形式の有効性を検証した。また、知識グラフを用いた質問応答については、教科書の記述から述語項構造を用いて知識グラフを構築する手法と、各種の類似度を併用した検索手法とを用いて質問応答部を構築し、基本的な質問事例に対して動作検証を行った。さらに、システムの質問に対するユーザの解答評価手法を開発し、この評価手法において、単語の依存関係と述語のリレーションで知識グラフを作成する方法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り組んだ覚醒度を保ちつつ心理的負担を軽減する新しい形のチュータリングシステムは、個々の学習者がより効率的で快適な学習を体験することを目指したものである。特に、リモート学習や自己学習の機会が増加している現代社会において、この種の技術は教育のアクセシビリティと効率性を向上させる可能性がある。さらに、知識グラフを用いた質問応答や解答評価は、システムが学習者の理解度を評価し、個々の学習ニーズに対応するための有効なツールとなっており、学習をより適切にガイドすることが可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a tutoring system that maintains learners' alertness while minimizing psychological stress. Initially, we created a triadic dialogue-based tutoring system prototype and validated its efficacy through a survey comparing it with a dyadic dialogue approach. Regarding question answering using knowledge graphs, we developed a method to construct knowledge graphs from textbook descriptions using predicate-argument structures and a search method incorporating various types of similarity. The question-response section was constructed using these methods, and functionality was confirmed through basic question scenarios. Furthermore, we developed a method for evaluating user responses to system questions. We confirmed the effectiveness of this evaluation method in creating knowledge graphs based on word dependency and predicate relations.

研究分野：対話処理

キーワード：チュータリングシステム 質問応答システム マルチモーダル対話

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、人工知能・機械学習分野における人材育成が喫緊の課題とされていた。一方、これらの分野のオンライン教材等が充実しつつあるにも関わらず、学習者のレベルに応じて適切にコンテンツを提供しながら、学習過程をサポートするチュータリングシステムはまだ実用化されていなかった。これは他の技術分野でも同様であった。

当時は、MOOC (Massive Open Online Courses: 大規模オープン・オンライン・コース) を中心としたオンライン教材が充実しつつあった。しかし、提供されているものの大半は講義の録画であり、学習者が覚醒度を保った状態で長時間集中して視聴するのは難しいという問題点があった。適宜、質問等を挟んで刺激を与えるという方式も考えられるが、この方式では質問に答えないと先に進めないなど、学習者の心理的負担が大きくなってしまいう懸念があり、これらを克服する新しい学び方を体現するチュータリングシステムが必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究では、学習者が自学自習する際に用いるチュータリングシステムにおいて、学習者の覚醒度を保ちつつ、心理的な負担が小さい方式の実現を目指した。手法として、学習者への刺激を高めるものとしてバーチャルエージェントによる音声対話を用い、一対一対話よりも心理的負担の小さい三者対話の場を設定することで、飽きず、かつ疲れすぎずに学習が進められる環境を実現することを目標とした。また、質問応答の機能を充実させ、対話的に学習を進めることができるチュータリングシステムの実現を目指した。

3. 研究の方法

まず、学習者の需要が高い機械学習を対象科目として三者対話形式のチュータリングシステムのプロトタイプを作成した。三者対話の有効性を検証しつつ、学習者からの質問への回答生成に取り組んだ。次に、手法の一般性を検証するために対象科目を高等学校の情報科目として、システムからの質問に対する学習者の解答評価手法の開発を行った。

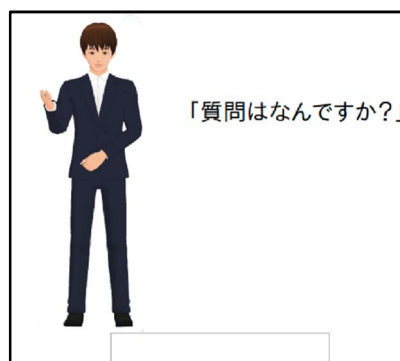
4. 研究成果

(1) 知識グラフに基づく質問応答機能を備えた三者対話チュータリングシステムの開発

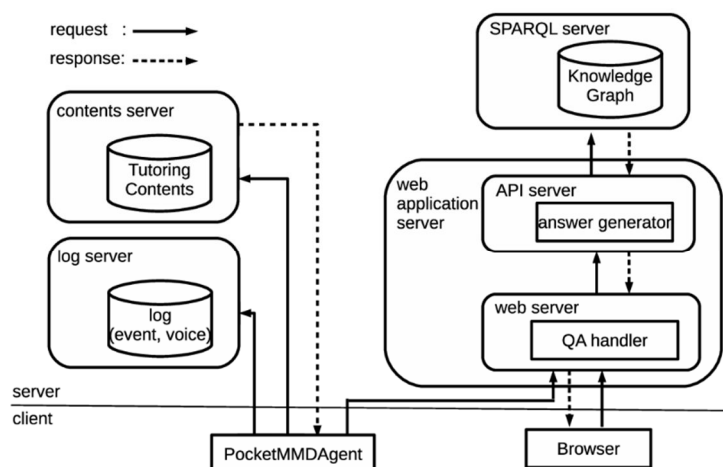
本研究では、チュータリングシステムにおいて実現すべきこととして、(1) スマートフォン・タブレット・PC で動作するマルチデバイス化、(2) 低い開発コスト、(3) 多様な知識レベルのユーザへの対応を設定する。そして、学習者の興味を惹きつけたうえで心理的負担を減らすために三者対話方式を採用する。しかし、三者対話形式はシナリオ記述が煩雑になり、事前知識の異なる様々なレベルの学習者に向けて複数のシナリオを実装することは難しい。そこでシナリオそのものは単純化し、質問応答機能を付加することで、多様な学習者へ対応することとした。

三者対話によるチュータリングシステム

本チュータリングシステムでは、名古屋工業大学で開発された PocketMMDAgent (<https://mmdagent.lee-lab.org/>) 上で教師エージェント・生徒エージェント・学習者の三者による音声対話形式でスライド資料を用いたチュータリングを行い、学習者からの質問受付時に web ブラウザ上で質問に対して音声による回答提示を行う。チュータリング画面の例と質問応答ページを以下に示す。



本チュータリングシステムは以下のように構成し、サーバ側とクライアント側に大別できる。



サーバ側はコンテンツサーバ、webサーバ、APIサーバ、SPARQLサーバ、ログサーバを、クライアント側ではPocketMMDAgent、webブラウザを構成要素とする。システムで利用するデータや質問応答機能をサーバに持たせることで学習者はPocketMMDAgentとwebブラウザを用意するだけで、システムを利用することが可能になる。シナリオの更新やログ収集などはサーバ側で行う。

PocketMMDAgentは、コンテンツサーバからチュータリング用コンテンツのダウンロード並びにシナリオ再生、質問応答ページオープンのためのリクエスト、ログサーバへのログ送信を行う。PocketMMDAgentではシステムの発話内容及びユーザの発話パターンはシナリオに記述されている必要があるが、学習者からの質問は不定であるため、予めその発話パターンを記述しておくことは不可能である。そのため、学習者からの質問に答える機能はPocketMMDAgent上では実現が難しい。そこで、本研究では別途webブラウザを用いることで質問応答機能の実装を行う。webブラウザはPocketMMDAgentからのリクエストによるレスポンスとして質問応答ページを表示し、学習者からの質問を受け取りサーバ側で生成された回答を再生することで質問応答対話を行う。

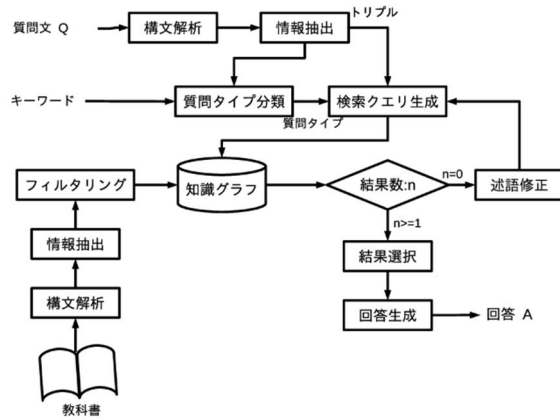
webサーバとAPIサーバからなるwebアプリケーションサーバは質問応答を行うためのサーバである。webサーバでは質問音声を認識及びテキスト化し、APIサーバでは回答文とその音声ファイルを生成する。回答生成を行う際、SPARQLサーバへのクエリ送信により知識グラフへの問い合わせを行い知識グラフ上のデータを取得する。webブラウザの音声認識インターフェースにはwebkitSpeechRecognitionを、音声ファイル再生にはwebkitAudioContextを用いた。

また、PocketMMDAgentでは対話時のユーザ音声をファイル化したものと動作ログテキストをログサーバに送信することができる。この機能を利用して、本チュータリングシステムでは学習者の学習履歴を収集することが可能となる。PocketMMDAgentでは対話コンテンツの動的更新も可能であり、コンテンツサーバ上でシナリオなどを更新した際、PocketMMDAgentの再起動とともに更新を随時反映することができる。

質問応答機能

本研究では、学習者の興味を惹きつけたうえで心理的負担を減らすために三者対話方式を採用した。このメリットと引き換えに、三者対話システムはシナリオ記述が煩雑であるというデメリットがあり、事前知識の異なる様々なレベルの学習者に向けて複数のシナリオを実装することは難しい。そこで、システムに質問応答機能を付加することで、多様な学習者へ対応することとした。一般にチュータリングタスクでは回答生成のための大規模な質問応答対の入手並びに作成が困難である。そこで本研究では、回答生成のための構築コストの低い知識要素として、教科書の本文から知識グラフを生成し、それへの問い合わせを用いた回答の生成を行う。知識グラフを用いた質問応答により、質問応答ペアのデータセットを用意しづらい科目でも学習者の質問への回答が可能になると考えられる。

知識グラフは、知識に関する事象及び関係性などを表す概念であり、関係情報同士をあらかじめリンクで結び高速にアクセスすることができ、エンティティ間の構造化された関係情報を提供するため、質問応答に役立つことが知られている [Bordes 14]。知識グラフの表現手段であるRDFは主語、述語、目的語の3要素をトリプルと見なして関係情報を有向ラベル付きグラフとして表現し、SPARQLなどのクエリ言語により関係情報を問い合わせることができる。



(2) 教科書の知識グラフと事前学習モデルを用いた教育的発問に対する解答の自動評価

本研究では、教科書中の文から知識を体系的に表現できる知識グラフを構築し、それに基づいた学習者の解答の詳細な評価手法を検討する。また既存のデータセットには正解か不正解かの評価ラベルだけが付与されているものが多く、本研究の目的に適合しない。さらに日本語で公開されているデータセットは多く存在しない。そこで高等学校の授業科目である情報 I に関する発問を作成し、それに対する解答へ詳細な評価ラベルを付与したデータセットの構築を行う。

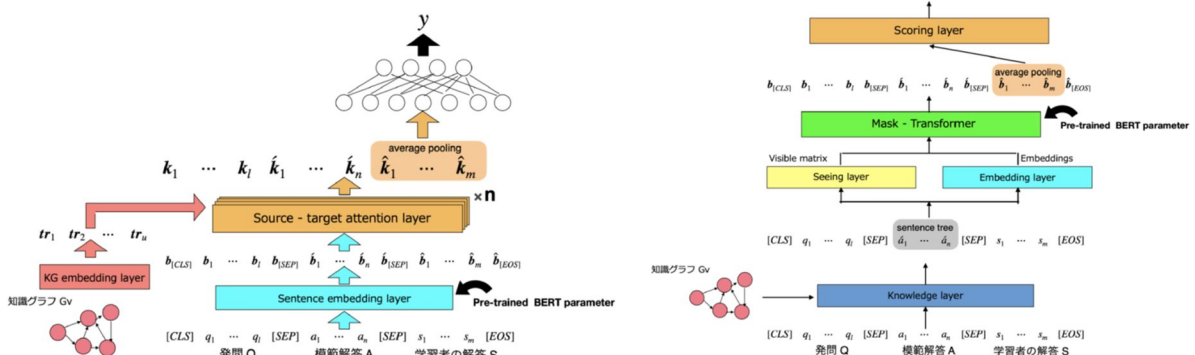
教科書からの知識グラフ構築

教科書の知識グラフに基づいて解答を評価するために、知識グラフは教科書に存在する文や各単語が持つ意味を表現する必要がある。小坂ら[小坂 21] や Zhang ら[Zhang 20] のように単語の依存関係をリレーションとして知識グラフを構築すれば、ある単語に関連のある単語集合が明確に表現でき、単語間の関係性から文の意味を推論することができる。この方法で構築した知識グラフは、機械読解タスクにおいて有効な情報を提供したと示されている。一方、文の主語や目的語をエンティティ、述語をリレーションとして知識グラフを構築すれば、文の構文情報が保持され、文の意味を明確に表現することができる。また単語の意味を文ごとの意味に基づいて表現することが可能である。この方法で構築した知識グラフは、質問応答タスクにおいて有効な情報を提供したと示されている。

どちらの方法も文から知識グラフを構築し、文に出現する単語の意味や文の意味を表現したものである。本研究における学習者の解答を評価するタスクにおいて、どのような方法で構築した知識グラフが有効な情報を提供するかを検証するために、単語の依存関係をリレーションとする知識グラフと、述語をリレーションとする知識グラフの2つの方法で知識グラフを構築する。またそれぞれの知識グラフに基づく評価手法を検討し、どちらの手法が解答の評価において有効な手法であるかを検証する。

知識グラフを用いた解答評価モデル

単語の依存関係をリレーションとする知識グラフに基づいて解答の詳細な評価を行う Knowledge-aware Answer Grading Model (KAGM) (図左)と、述語をリレーションとする知識グラフに基づいて解答の詳細な評価を行う Knowledge-aware Answer Grading Model from K-BERT (KAGM from K-BERT) (図右)の構成を以下に示す。



実験結果

実験では学習データに含まれない解答に対する評価を行う test of unseen-answers (TUA) と、学習データに含まれない発問に対する評価を行う test of unseen-questions (TUQ) の2つで検証を行う。

TUA において、データセットには1つの発問に対し、3つから5つの解答が存在しているため、それらのうち1つの解答をテストデータとし、残りを学習データとした。また fold = 5 として全ての解答がテストデータとなるようにクロスバリデーションを行った。なお解答が4つ以下の発問に対しては、それらのうちランダムに選択した解答をテストデータとした。

TUQ において、データセットの発問は1つの学習項目に対して5つの発問が存在しているため、それらのうち1つの発問に対する解答をテストデータ、残りを学習データとした。また TUA と同様に、fold = 5 のクロスバリデーションを行い、全ての発問がテストデータとなるようにした。

また評価ラベルについて、4-way の“正解”、“部分的に正解”、“不正解”はそれぞれ解答の内容が正しいかを表した評価ラベルである。一方で4-way の“ドメイン外”は内容が発問の内容に沿っていないことを表す評価ラベルであり、他の3つとは評価基準が異なるものである。実験では“ドメイン外”を含めた4つの評価ラベルにおける評価精度を比較するため、名義尺度として扱う。また7-way においては“異なる修飾”と“欠如”のどちらのラベルが“正解”に近いラベルであるかは定義することが困難である。同様に“矛盾”と“不十分”のどちらがより不正解に近いラベルであるかも定義することが困難である。また4-way の“ドメイン外”と同様に7-way の“無関係”と“ドメイン外”は他の5つの評価ラベルとは評価基準が異なるため、7-way においても名義尺度として扱う。

表5 TUA と TUQ における各モデルの評価精度

TUA									
	2-way			4-way			7-way		
	Acc	m-F1	w-F1	Acc	m-F1	w-F1	Acc	m-F1	w-F1
BERT	0.724	0.676	0.586	0.611	0.586	0.444	0.576	0.519	0.262
Add BERT	0.753	0.712	0.634	0.589	0.558	0.419	0.576	0.517	0.252
KAGM[MLP]	0.760	0.751	0.702	0.482	0.459	0.345	0.493	0.458	0.237
KAGM from K-BERT	0.787	0.764	0.708	0.616	0.590	0.446	0.569	0.512	0.262
TUQ									
	2-way			4-way			7-way		
	Acc	m-F1	w-F1	Acc	m-F1	w-F1	Acc	m-F1	w-F1
BERT	0.731	0.675	0.582	0.489	0.452	0.333	0.444	0.361	0.162
Add BERT	0.738	0.686	0.597	0.487	0.456	0.340	0.476	0.418	0.198
KAGM[MLP]	0.709	0.688	0.619	0.387	0.368	0.273	0.409	0.314	0.134
KAGM from K-BERT	0.756	0.730	0.665	0.531	0.497	0.370	0.489	0.455	0.213

この結果、教科書の単語の依存関係をリレーションとする知識グラフは、入力文の言語的な構造関係を変動させてしまい、解答の評価ができないとわかった。一方、述語をリレーションとする知識グラフは解答の評価に必要な文の意味を提供することができ、KAGM from K-BERT が有効な手法であるとわかった。また事前学習で教科書に基づいた単語の表現を獲得する手法より、知識グラフを用いて知識を明確に表現する手法の方が、解答を詳細に評価する上では有効であることがわかった。

< 引用文献 >

- [Bordes 14] Antoine Bordes, Sumit Chopra, and Jason Weston: Question Answering with Subgraph Embeddings, In Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pp. 615-620 (2014)
- [小坂 21] 小坂直輝, 小林哲則, 林良彦: グラフによるテキスト表現の機械読解における適用性評価, 人工知能学会全国大会論文集, pp. 3J1GS6a05-3J1GS6a05 (2021)
- [Zhang 20] Zhang, Z., Wu, Y., Junru, Z., Duan, S., Zhao, H., and Wang, R.: SG-Net: Syntax-Guided Machine Reading Comprehension, in Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol.34, pp. 9636-9643 (2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 寺西 帝乃, 荒木 雅弘	4. 巻 37
2. 論文標題 教科書の知識グラフと事前学習モデルを用いた教育的発問に対する解答の自動評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 B-LC2_1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.37-4_B-LC2	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 Ryuichiro Higashinaka, Masahiro Araki, Hiroshi Tsukahara, Masahiro Mizukami	4. 巻 SIGDIAL
2. 論文標題 Integrated taxonomy of errors in chat-oriented dialogue systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 22nd Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue	6. 最初と最後の頁 89-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 小嶋 拓海, 飯田 琢矢, 寺西 帝乃, 荒木 雅弘	4. 巻 35
2. 論文標題 知識グラフに基づく質問応答機能を備えた三者対話チュータリングシステムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 DSI-H_1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.DSI-H	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 3件）

1. 発表者名 寺西 帝乃, 荒木 雅弘
2. 発表標題 発問型チュータリングシステムにおける解答の自動評価
3. 学会等名 第93回 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daina Teranishi and Masahiro Araki
2. 発表標題 Improving user engagement with dialogue systems through meaningful response generation
3. 学会等名 The 1st RobotDial Workshop on Dialogue Models for Human-Robot Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺西帝乃, 荒木雅弘
2. 発表標題 深層強化学習を用いた雑談対話システム
3. 学会等名 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takumi Kojima, Takuya Iida, Daina Teranishi and Masahiro Araki
2. 発表標題 Three-Party Interactive Tutoring System for Mastering Machine Learning
3. 学会等名 Dialog for Good (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 紗規子, 荒木雅弘
2. 発表標題 雑談対話におけるマルチモーダル情報を統合した興味判定手法
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 駒谷 和範, 岡田 将吾, 西本 遥人, 荒木 雅弘, 中野 幹生
2. 発表標題 配布可能なマルチモーダル対話データの収集とアノテーション不一致傾向の分析
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Komatani, Shogo Okada, Haruto Nishimoto, Masahiro Araki and Mikio Nakano
2. 発表標題 Multimodal Dialogue Data Collection and Analysis of Annotation Disagreement
3. 学会等名 Tenth International Workshop on Spoken Dialogue Systems Technology (IWSDS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 荒木 雅弘	4. 発行年 2018年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 216
3. 書名 マンガでわかる機械学習	

〔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
---------	---------