

DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-10-33-42

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВ ЗНАНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ

М. А. Аникьева¹ ✉

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

✉ MAnikieva@sfu-kras.ru

Аннотация

В статье представлены некоторые методы создания графов знаний — иерархических структур, применяемых в образовательной среде для разработки учебных курсов. Установлено, что для образовательной среды требуются предметно-ориентированные графы знаний, для создания которых не подходят методы создания общих и открытых графов. Рассматриваются методы построения системы понятий учебной дисциплины на основе: анализа учебных текстов; деятельности человека в изучаемой предметной области; анализа структуры основных разделов знаний. Центральным аспектом исследования являлась возможность использовать полученное дерево понятий для формирования контента учебного курса и для построения индивидуальной образовательной траектории. Результаты работы демонстрируют возможность применения разработанных иерархических структур для персонализации обучения. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что предложенные решения ориентированы на компьютерную реализацию и актуальны для управления учебной деятельностью обучающегося в электронной среде. Предлагаемая методика предполагает участие в разработке графа знаний профессионального и научного сообществ, преподавателей и студентов. Это дает возможность разрабатывать впоследствии, на основе этих графов, программы обучения с учетом запросов рынка труда, возможностей обучающей организации, а также целей обучающихся. Одним из важных показателей качества графов знаний является соответствие динамически изменяющейся среде. Возможность дорабатывать графы знаний позволяет поддерживать актуальность создаваемых на их основе учебных курсов и индивидуальных образовательных траекторий.

Ключевые слова: электронное обучение, автоматизация, иерархические структуры, модель предметной области, система понятий, индивидуальная образовательная траектория, информатизация образования.

Для цитирования:

Аникьева М. А. Применение графов знаний в образовательной среде для персонализированного обучения. *Информатика и образование*. 2021;36(10):33–42. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-10-33-42

THE USE OF KNOWLEDGE GRAPHS IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR PERSONALIZED LEARNING

М. А. Anikieva¹ ✉

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

✉ MAnikieva@sfu-kras.ru

Abstract

The article presents some methods for creating knowledge graphs — hierarchical structures used in the educational environment for course development. It is found that the educational environment requires subject-oriented knowledge graphs, for the creation of which the methods of creating general and open graphs are not suitable. The methods of constructing the system of notions of educational discipline on the basis of: analysis of educational texts; human activity in the studied subject area; analysis of the structure of the main sections of knowledge are considered. The central aspect of the study was the possibility of using the resulting tree of concepts to form the content of the training course and to build an individual educational trajectory. The results of the work demonstrate the possibility of applying the developed hierarchical structures to personalize learning. The practical significance of the obtained results lies in the fact that the proposed solutions are focused on computer implementation and are relevant for the management of the learner's learning activities in the electronic environment. The proposed methodology involves the participation of professional and scientific communities, teachers and students in the development of the knowledge graph. This makes it possible to develop subsequently, on the basis of these graphs, training programs, taking into account the demands of the labor market, the capabilities of the training organization, as well as the goals of trainees. One important indicator of the quality of knowledge graphs is their relevance to a dynamically changing environment. The ability to build up knowledge graphs allows to maintain the relevance of training courses and individual educational trajectories created on their basis.

Keywords: e-learning, automation, hierarchical structures, subject area model, system of concepts, individual educational trajectory, informatization of education.

For citation:

Anikieva M. A. The use of knowledge graphs in the educational environment for personalized learning. *Informatics and Education*. 2021;36(10):33–42. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-10-33-42 (In Russian.)

1. Введение

Применение иерархических структур для представления знаний привело к значительным изменениям в понимании, оценке и интерпретации знаний человеком, в том числе при разработке алгоритмов машинной обработки данных. Графы знаний, представляющие логическую структуру понятий предметной области учебного курса, позволяют проанализировать последовательность представления учебного материала, полноту охвата включенных в граф понятий. В настоящее время представление знаний в виде графа является одной из ключевых тенденций в развитии информационных технологий и стало основой как в создании приложений глобального масштаба, так и в локальных специализированных разработках [1]. Постоянно растущий интерес к этой технологии обусловлен ее базовой абстрактной структурой, которая позволяет эффективно создавать концептуализацию предметной области и управлять данными. В частности, граф знаний отображает набор сущностей реального мира, которые связаны семантическими отношениями. То есть данным придается машиночитаемый формат и уменьшается неоднозначность информации, специфичная для предметной области. Таким образом, модели данных, представленные в виде онтологий, способны охватывать для анализа и обработки семантически взаимосвязанные крупномасштабные наборы данных.

Крупномасштабные и открытые графы знаний используются такими проектами, как Google, Freebase, YAGO, Wikipedia и др. Эти графы часто строятся из полуструктурированных знаний или собираются из интернета с помощью статистических и лингвистических методов и при оценке качества графа представляют собой компромисс между полнотой и правильностью [2]. В большинстве же задач меньших масштабов требуются предметно-ориентированные графы знаний. Из-за отсутствия универсальной схемы или онтологии, которая может быть применена для решения конкретных задач, усилия по созданию, исправлению и расширению предметно-ориентированных графов знаний продолжают предприниматься во многих областях знаний [3]. Так же, как и для общих, открытых графов знаний, вопросы о качестве и надежности специализированных графов стоят очень остро [2]. Кроме того, различные факты, описывающие сущности, могут меняться с течением времени. Пренебрежение динамическим характером знаний снижает качество и правильность фактов, представленных в графе.

Представленное в данной статье исследование направлено на частичное преодоление затруднений, связанных с недостаточной полнотой, правильностью графов знаний, используемых в образовательной сфере. Важность решения этой задачи обусловлена тем, что иерархические структуры используются в качестве основы для конструирования учебного курса. Кроме того, структура понятий, введенная в электронную среду, служит основой для разработ-

ки индивидуальных образовательных траекторий. Необходимость массового внедрения персонализированного обучения, учитывающего индивидуальные особенности обучающихся, условия обучения, диктуется современными тенденциями на рынке труда, что ведет к глубоким изменениям в современном образовании [4].

2. Построение графов знаний

Общие графы знаний строились еще задолго до введения этого понятия, с момента изобретения семантической паутины. Для обработки компьютерами текста, выраженного на естественном языке, необходимо преобразование этого текста в графы знаний [5]. В последнее время наблюдается расширение использования графов, переход от традиционных баз данных к базам знаний.

Граф знаний обычно описывается как направленный граф $G = (V, E)$. Эта нотация отображает отношения между **вершинами** (V) графа и **ребрами** (E) между этими вершинами. Вершины представляют собой набор **сущностей реального мира**, а ребра представляют **отношения между этими сущностями** [6]. Вершины (сущности) взаимосвязаны с помощью отношений, которые являются ребрами графа, а две сущности, связанные отношением, образуют **факт** в графе знаний.

Таким образом, **граф знаний предметной области** представляет собой явную концептуализацию предметной области, представленной в виде семантически взаимосвязанных сущностей и отношений [3].

Значит, **построение графа знаний** состоит из обнаружения в тексте сущностей и отношений между ними. На практике используются две основные группы методов преобразования текстов на естественном языке в графы знаний:

- с применением искусственного интеллекта и методов машинного обучения;
- с привлечением экспертов.

Первая группа методов применима для общих, крупномасштабных графов, которые требуют специальных методов оценки качества графа — насколько точно факты, концептуализированные в графе, передают предполагаемые концепции реального мира и их отношения.

Вторая группа методов в большей степени применима для узкоспециализированных областей знаний [2, 7].

Далее более подробно будут рассмотрены особенности создания и обработки графов знаний в образовательной среде. Общие графы знаний, как правило, не предназначены для специфичных предметных областей, поскольку последние требуют точной информации и знаний в предметной области. Образование является одной из таких областей, и в нем можно выделить **три области использования графов**.

Организация образовательной деятельности. Учебное заведение, как организация, имеет свою

специфику организации взаимодействия между потребителями (обучающимися, рынком труда) и носителями знаний. Каждая из сторон этого взаимодействия имеет многоаспектные характеристики [8]. Поэтому для управления требуются специальные системы сопровождения учебного процесса — специфические системы документооборота, контроля и учета всех необходимых параметров. Системность, структурированность процессов позволяют управлять потоками информации, обеспечивать безопасность данных, избегать дублирования. В статье [9] описано применение графа знаний для составления расписания занятий. В работе [10] обсуждаются возможности организации контроля деятельности в образовательных учреждениях с использованием графов знаний. В работе [11] представлена разработка модели управления научными публикациями для интеграции научных метаданных на основе графа знаний.

Структурирование понятий предметной области. Иерархические системы — графы знаний хорошо зарекомендовали себя в качестве носителей системы знаний [12–14]. Они применяются в платформах массовых открытых онлайн-курсов (МООК), часто используются в преподавании и в обучении в школе, где их также называют концептуальными картами. Такие графы знаний обычно строятся опытными преподавателями или экспертами в предметной области вручную. Однако процесс ручного построения занимает много времени и не масштабируется до большого количества концепций и отношений. Более того, количество учебных курсов и предметов быстро растет, поэтому сложно или даже невозможно вручную построить графы знаний для каждого нового курса. Кроме того, ручное построение нередко сопровождается ошибками, потому что мнение эксперта всегда носит субъективный характер. Наука не стоит на месте, и сегодня предлагаются различные методики разработки для автоматического построения графов образовательных знаний (см., например, работы [13, 15, 16]).

Управление процессом обучения. В процессе освоения учебного материала обучающиеся работают каждый в своем темпе. Это связано с тем, что каждый учащийся обладает индивидуальными психофизиологическими характеристиками, у разных людей — разная мотивация к обучению, различная степень подготовленности в изучаемой предметной области. Следовательно, в процессе обучения требуется корректировать траекторию обучения каждого учащегося исходя из поставленных целей, возможностей и его текущих достижений [17]. В работе [18] предложен алгоритм автоматической генерации траекторий обучения для адаптивных систем обучения на основе концептуальных карт. В статье [19] предлагается такой подход к построению графа знаний, при котором соединяются достоинства онтологий (отображение взаимосвязей понятий и их иерархии) и сетей Петри (возможность контролировать процесс освоения учебных материалов). Иерархические структуры,

включающие информацию о том, в какой последовательности следует осваивать учебный материал, являются основой для персонализированного обучения.

Следует отметить, что нет необходимости для управления процессом обучения разрабатывать отдельный граф. Структура понятий предметной области уже содержит информацию о последовательности их изучения — иерархия понятий отражает эту последовательность.

Резюмируя все вышесказанное, можно выделить следующие **особенности существующих подходов к разработке графов знаний для применения в образовательной среде:**

- 1) для разработки учебных курсов слабо подходят автоматизированные подходы построения. Хотя такие способы предлагаются, их основной слабостью является необходимость оценки качества графа, и есть риск, что при обучении по такому графу обучающиеся будут введены в заблуждение;
- 2) неавтоматизированные способы тоже имеют недостатки, главные из которых — трудоемкость разработки, влияние человеческого фактора, ограниченная масштабируемость на другие учебные курсы. Сильная сторона таких способов в том, что построенные графы знаний более точны;
- 3) граф знаний представляет собой иерархическую структуру, т. е. граф в виде дерева.

Целью рассматриваемого в статье исследования было предложить способы создания графа знаний (дерева понятий) узкоспециализированной предметной области с минимизацией выявленных недостатков.

3. Способы создания структур понятий предметной области

Задача построения дерева, адекватно отражающего соответствующую семантическую структуру, может решаться различными способами. В работах [14, 20] систематизированы исследования способов создания графов знаний и выделены следующие группы:

- графы знаний, построенные на основе статистической обработки данных (подходят для крупномасштабных графов);
- графы, основанные на лингвистике (подходят и для крупномасштабных графов, и для узкоспециализированных);
- графы, основанные на логике (в большей степени подходят для узкоспециализированных графов);
- графы знаний, построенные с использованием методов инженерии знаний (подходят для узкоспециализированных графов, используется работа экспертов).

Далее рассмотрены три варианта создания дерева понятий, которые были применены для различных предметных областей.

4. Создание структуры понятий на основе анализа текстов

К лингвистической группе способов создания графов знаний относят: тегирование части речи, разбор предложений, анализ синтаксической структуры, анализ зависимостей, семантический лексикон, лексико-синтаксические шаблоны, семантические шаблоны и др. [5, 14]. Лингвистические способы основаны на структуре текста. Статистические способы также используются для анализа текстов на естественном языке, они основаны на частоте употребления слов в тексте. Как уже упоминалось выше, для создания дерева понятий для специальных областей знаний больше подходят полуавтоматические способы и способы с участием экспертов.

Для примера рассмотрим работу [21], где описана методика составления структуры понятий на основе учебных текстов с использованием **лингвистического анализа**. В указанной работе предлагается автоматизация поиска введенных в текст понятий и терминов и определение иерархических связей между понятиями. Результатом применения этой методики является дерево понятий исследуемого текста. Недостатком описанного подхода для получения графа знаний специализированной предметной области является зависимость полученной структуры понятий от способности авторов анализируемых текстов грамотно и полно составить эти тексты. Для оценки качества графа — полноты, правильности структуры — необходима работа экспертов. Следует также отметить общий недостаток способов построения графов знаний с автоматизированной обработкой текстов — сложность выявления неявно заложенной информации.

В представляемом исследовании предлагается методика структурирования понятий предметной области на основе **денотатного анализа** текстов определений понятий [22]. Методика основана на том, что в тексте определения понятия эксплицитно и имплицитно введены подпонятия, через которые

раскрывается понятие, а также явно или неявно обозначены связи между понятием и подпонятиями. На содержательном уровне степень целостности понятия выражается в количестве отношений между предметами, которые описывают различные аспекты значения понятия. Целостность образа может быть достигнута, если составляющие, отражающие его структуру, отображены таким образом, что позволяют точно синтезировать смысл текста, через который этот образ передается. Основной структурной единицей содержания текста является образ некоторого фрагмента действительности, который называется денотатом и отражается в интеллекте человека в виде представлений и понятий, составляющих систему знаний человека. Под **денотатом** понимается любой предмет, процесс, явление действительности, составляющие содержание. Это может быть слово, словосочетание [23]. В работе [23] предлагается представление структуры содержания текста в виде графа, где вершинами выступают имена денотатов, полученные в результате содержательного анализа текста, а ребрами — предметные отношения между этими денотатами.

Методика составления денотатного графа, предлагаемая А. И. Новиковым [23], направлена на тексты технического характера, изложенные в свободной форме. Для целей создания структуры понятий предметной области, для анализа используются тексты определений понятий. Для обеспечения целостности содержания исследуемого понятия используются глаголы и глагольные формы шести логических категорий (рис. 1):

- цель;
- результат;
- принципы и предпосылки достижения результата;
- средства достижения результата;
- ресурсы;
- состав.

Последовательность составления денотатного графа для понятия:



Рис. 1. Схема денотатного графа для понятия
 Fig. 1. Scheme of a denotational graph for a concept

- в исследуемом тексте определения понятия найти предмет или предметную ситуацию, которая соответствует логической категории;
- в случае, если в тексте явно не присутствует слово или словосочетание, отражающее эту логическую категорию, используя знания о предметной области, найти это скрытое знание и выразить его формально;
- для проведения работы по формализации явно и неявно выраженных отношений между денотатами использовать глаголы и глагольные формы, соответствующие логической категории.

Результатом применения этой методики является одноуровневый граф для исследуемого понятия.

Пример такого графа для понятия «Информатика» приведен на рисунке 2. Было использовано определение понятия «информатика» из Википедии [24]. *Цель, средства, состав* присутствовали в определении в явном виде. *Результаты, предпосылки, ресурсы* были внесены в граф автором настоящей статьи на основе знаний предметной области.

Созданный денотатный граф позволяет создать целостный образ понятия и, например, использовать эту структуру для подготовки занятия. При дальнейшем раскрытии понятий, которые вошли в денотатный граф, формируется структура пред-

метной области. Глубина раскрытия диктуется необходимостью и здравым смыслом.

Недостатками подхода, основанного на денотатном анализе текста, являются:

- большое количество ручного труда, хотя возможна частичная автоматизация при применении лингвистического анализа текста;
- в некоторых случаях сложно формализовать неявные знания;
- существует риск искажений из-за субъективности конкретного разработчика, однако этот риск может быть уменьшен практически до нуля тем, что для разработки структур специализированных предметных областей должны привлекаться научное и профессиональное сообщества, преподаватели и даже обучающиеся [25]. Примерами такого сотрудничества служат проекты Tuning [26], SWEBOK [27].

К достоинствам следует отнести:

- полноту и правильность описания понятия;
- возможность явно выразить знание, заложенное неявно;
- многократное использование графа для создания программ учебных курсов;
- возможность поддерживать актуальность информации при изменениях в предметной области за счет участия научного и профессионального сообществ.



Рис. 2. Денотатный граф для понятия «Информатика»

Fig. 2. Denotational graph for the concept of "Informatics"

5. Создание структуры понятий на основе декомпозиции профессиональной деятельности

Для создания структуры понятий учебной дисциплины также широко используется **деятельностный подход** к обучению — на основе декомпозиции профессиональной деятельности человека в изучаемой предметной области [28–30]. Деятельностный подход обеспечивает основу для анализа потребностей, задач и результатов при проектировании учебного курса. Он фокусируется на взаимосвязи человеческих деятельности и сознания, так как сознательное обучение возникает из деятельности, а не предшествует ей. Обучение происходит только в контексте осмысленной деятельности. Деятельность всегда тесно связана с контекстом, с тем, где она происходит, кто участники этой деятельности, каковы их цели, что является результатом деятельности, каковы условия осуществления деятельности и каково влияние деятельности на окружающую среду [31]. Следовательно, задачи и примеры, используемые в курсах обучения, построенных на основе деятельностного подхода, должны соответствовать аутентичным задачам, используемым в бизнесе, промышленности и других секторах, связанных с областью обучения [32].

Для реализации этого подхода необходимо участие представителей отраслей, наиболее тесно связанных с программой обучения. Фокус-группа может предоставить первоначальное представление о типах рабочих мест и функциях, доступных обучающимся после получения образования соответствующего уровня, и предоставить обратную связь по образовательной программе. Для увеличения широты и глубины вклада и обратной связи фокус-группа должна состоять из представителей работодателей и отраслевых ассоциаций. С участием этой фокус-

группы и при дополнительном анализе отрасли разработчики программ смогут:

- определить роли и должностные функции, доступные для выпускников в отраслевых организациях;
- определить знания, навыки, способности, виды коммуникаций, критически важные для успеха в этих ролях;
- иметь представление о стандартных отраслевых компетенциях и уровне их владения.

Более глубокого уровня анализа также можно достичь путем опроса сотрудников и их руководителей. Этот процесс включает в себя функциональный анализ выполняемой работы, типов возникающих проблем и подходов к их решению. На основе этого исследования могут быть определены компетенции на уровне учебной программы. Определения компетенций обычно включают описание компетенции, шкалу квалификации и указание показателей, по которым можно определять степень достижения квалификации. Показателями являются осуществление умений, навыков, целевой деятельности как результата обучения. Следовательно, при таком подходе к обучению — на основе учебных программ, ориентированных на будущую профессиональную деятельность [25]:

- учащиеся будут заниматься выполнением реальных задач или решением реальных проблем;
- существующие знания используются как основа для новых знаний;
- обучающимся преподаются актуальные знания;
- актуальные знания интегрируются в мировоззрение обучающегося.

Для выполнения работы по эффективной интеграции теории и практики с аутентичными кон-



Рис. 3. Схема дерева понятий предметной области учебной дисциплины на основе деятельностного подхода к обучению
Fig. 3. The scheme of the concept tree of the subject area of the academic discipline based on the activity based approach to learning



Рис. 4. Структура деятельности (обобщенная трудовая функция) «Допечатная подготовка»

Fig. 4. The structure of the activity (generalized labor function) "Pre-press"

текстами и задачами, ключом к успеху является глубокий анализ предметной области и эффективная формализация полученной информации. С этой целью необходимо сделать следующие шаги:

- 1) произвести декомпозицию планируемой профессиональной деятельности обучающегося;
- 2) выявить необходимые знания для формирования способности осуществлять каждый вид деятельности;
- 3) информацию представить в виде дерева понятий предметной области.

Декомпозиция профессиональной деятельности может производиться на основе профессиональных стандартов (при их наличии) и/или с участием специалистов на предприятии. Знания, умения и навыки определяются через построение денотатных графов (рис. 3).

Для примера на рисунке 4 приведен первый уровень дерева понятий предметной области «Допечатная подготовка», на рисунке 5 — фрагмент второго уровня дерева для одного из процессов. Исследования проводились в типографии с участием студентов, преподавателей Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета и специалистов типографии.

Недостаток подхода описания предметной области на основе декомпозиции профессиональной деятельности видится (как и с использованием денотатного анализа текста) в большом количестве ручного труда.

Среди достоинств подхода выделим:

- возможность многократно использовать полученный граф для различных условий обучения;
- полнота и правильность информации;
- возможность дополнять граф по мере появления новых знаний и технологий.

Дерево понятий, полученное на основе декомпозиции трудовой деятельности, обладает некоторой стабильностью, так как в профессиональной среде также присутствует стабильность в течение периода времени, сравнимого с периодом обучения. Необходимость вносить изменения возникает не каждый день даже в высокодинамичных предметных областях.

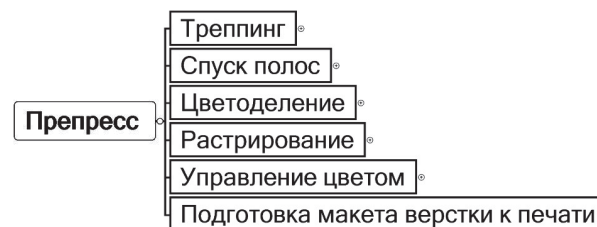


Рис. 5. Структура трудовой функции «Препресс»

Fig. 5. The structure of the labor function "Pre-press"

6. Создание структуры понятий на основе анализа основных разделов знаний

Для построения дерева понятий предметной области, не являющейся областью профессиональной деятельности, можно использовать **логико-гносеологический анализ** [33].

Чтобы сформировать описание изучаемой предметной области:

- 1) выделяются основные разделы знаний;
- 2) производится декомпозиция каждого раздела.

Декомпозиция разделов представляется в виде иерархической структуры, в которой отношения между понятиями определяются как «родовидовые» или как «часть — целое». При этом в дерево понятий могут входить как дифференциально общие понятия, при наличии заданных существенных признаков, так и интегрально общие понятия, отражающие частные случаи заданного признака [34]. Результатом является дерево понятий предметной области.

На рисунке 6 представлен фрагмент дерева понятий предметной области «Теория вероятностей и математическая статистика».

Автоматизация создания структуры понятий на основе анализа структуры знаний подхода тоже затруднительна. Но его можно применять для базовых учебных дисциплин, так как структура понятий в большинстве разделов знаний отличается стабильностью.

7. Персонализированное обучение на основе иерархических структур систем понятий

Персонализированное обучение предполагает учет особенностей обучающегося в планировании и осуществлении учебного процесса, подготовке учебных материалов, оценке достижений. Под **особенностями обучающегося** понимаются его психофизиологические характеристики, подготовленность в изучаемой предметной области, способность организовывать свою работу. Справиться с задачей учета множества факторов, влияющих на процесс обучения, которые к тому же могут менять свои значения в процессе обучения, способны только электронные обучающие системы. Одной из задач таких систем является формирование обучающего контента. Сле-



Рис. 6. Фрагмент дерева понятий предметной области «Теория вероятностей и математическая статистика»
 Fig. 6. The fragment of the tree of concepts of the subject area "Probability theory and mathematical statistics"

довательно, одной из самых важных составляющих для функционирования систем обучения является информация о системе знаний. Поэтому такое большое значение в современных исследованиях придается именно описанию предметной области, которое можно представить в машинно-читаемом виде.

Технологии обработки информации, заложенной в графе знаний, позволяют создавать индивидуальную траекторию обучения с персонализированным контентом.

Описанные выше методики были применены в образовательном процессе. По разработанным графам знаний, фрагменты которых приведены на рисунках 4–6, после обхода дерева были получены программы обучения в виде последовательности понятий. Расчет трудоемкости этих понятий позволяет создавать графики обучения и индивидуальные траектории обучения. Подробно механизм расчета нормативного графика и индивидуальных траекторий изложен в статье [35].

8. Заключение

Для автоматизации создания учебных курсов, особенно в условиях широкого (а в недалеком будущем даже массового) применения персонализированного обучения, необходимым условием является создание полных и логически верных структур понятий изучаемых предметных областей. Известные на данный момент способы создания таких структур имеют недостатки, в основном приводящие к ручной работе экспертов, но эти недостатки можно успешно компенсировать, комбинируя разные технологии — автоматизированное создание графов и приемы на основе инженерии знаний с участием экспертов.

Одно из самых значительных достоинств способов, описанных в статье (построение графов знаний на основе: анализа текстов определений понятий с построением денотатных графов, анализа про-

фессиональной деятельности, анализа структуры разделов знаний), состоит в том, что эти способы можно в комплексе использовать для построения дерева понятий изучаемой предметной области. Кроме того, денотатные графы позволяют формализовать не только явно выраженные в тексте знания, но и неявные. Это дает возможность обеспечивать полноту формализации смысла понятия, а кроме того, создавать определения понятий.

В сфере создания структур предметных областей, так же как и в других областях, не существует единственно правильного решения. Перспективными видятся решения, в которых графы знаний созданы и экспертно, и с помощью алгоритмов автоматической обработки. Уже сейчас существующие репозитории знаний накопили массу обучающего контента и являются очень ценными источниками данных, которые можно использовать в процессе обучения. Но зачастую широкое их использование затруднено, не хватает метаданных, чтобы устанавливать связи с соответствующими концепциями обучения. Объединив возможности обработки структур понятий предметной области и аннотированных данных, извлекаемых из описания обучающего материала в репозиториях или в интернете, можно достичь заметно лучших результатов в формировании персонализированного обучающего контента.

Благодарность

Автор выражает благодарность Р. В. Есину, канд. пед. наук, доценту кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета за работу над графом предметной области «Теория вероятностей и математическая статистика».

Acknowledgments

The author is grateful to R. V. Esin, Cand. of Sci. (Edu.), Associate Professor at the Department of Applied Mathematics and Computer Safety, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, for work on the graph of the subject area "Probability theory and mathematical statistics".

Список источников / References

1. Bellomarini L., Sallinger E., Vahdati S. Chapter 2 Knowledge graphs: The layered perspective. *Knowledge graphs and big data processing*. Ed. V. Janev [and all]. Cham, Springer; 2020:20–34. DOI: 10.1007/978-3-030-53199-7_2
2. Paulheim H. Knowledge graph refinement: A survey of approaches and evaluation methods. *Semantic Web*. 2016;8(3):489–508. DOI: 10.3233/SW-160218
3. Abu-Salih B. Domain-specific knowledge graphs: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*. 2021;(185):103076. DOI: 10.1016/j.jnca.2021.103076
4. Grigoriev S. G., Mishota I. Yu. Digital University: An actual paradigm of the education informatization. *Modern management trends and the digital economy: From regional development to global economic growth. Proc. 1st Int. Scientific Conf.* Ekaterinburg, Atlantis Press; 2019:634–637. DOI: 10.2991/mtde-19.2019.128
5. Al-Moslmi T., Gallofre Ocana M., L. Opdahl A., Veres C. Named entity extraction for knowledge graphs: A literature overview. *IEEE Access*. 2020;8:32862–32881. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973928
6. Allemang D., Hendler J. Semantic Web for the working ontologist: Effective modeling for linked data, RDFS, and OWL. Morgan & Claypool; Elsevier; 2008. 322 p. Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123735560/semantic-web-for-the-working-ontologist#book-info>
7. Kejriwal M., Sequeda J., Lopez V. Knowledge graphs: Construction, management and querying. *Semantic Web*. 2019;10(6):961–962. DOI: 10.3233/SW-190370
8. Valaski J., Malucelli A., Reinehr S. Ontologies application in organizational learning: A literature review. *Expert Systems with Applications*. 2012;39(8):7555–7561. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.01.075
9. Aliyu I., Kana A. F. D., Aliyu S. Development of knowledge graph for university courses management. *International Journal of Education and Management Engineering*. 2020;10(2):1–10. DOI: 10.5815/ijeme.2020.02.01
10. Wang J. Knowledge graph analysis of internal control field in colleges. *Tehnicki vjesnik — Technical Gazette*. 2020;27(1):67–72. DOI: 10.17559/TV-20191004092659
11. Chi Y., Qin Y., Song R., Xu H. Knowledge graph in smart education: A case study of entrepreneurship scientific publication management. *Sustainability*. 2018;10(4):1–21. DOI: 10.3390/su10040995
12. Gayathri R., Uma V. Ontology based knowledge representation technique, domain modeling languages and planners for robotic path planning: A survey. *ICT Express*. 2018;4(2):69–74. DOI: 10.1016/j.ict.2018.04.008
13. Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., D'amato C., Melo G. de, Gutierrez C., Kirrane S., Gayo J. E. L., Navigli R., Neumaier S., Ngomo A.-C. N., Polleres A., Rashid S. M., Rula A., Schmelzeisen L., Sequeda J., Staab S., Zimmermann A. Knowledge graphs. *ACM Computing Surveys*. 2021;54(4):1–37. DOI: 10.1145/3447772
14. Konys A. Knowledge systematization for ontology learning methods. *Procedia Computer Science*. 2018;126:2194–2207. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.229
15. Penghe Chen, Yu Lu, Vincent W. Zheng, Xiyang Chen, Boda Yang. KnowEdu: A System to Construct Knowledge Graph for Education. *IEEE Access*. 2018;6:31553–31563. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2839607
16. Jinta Weng, Ying Gao, Jing Qiu, Guozhu Ding, Huanqin Zheng. Construction and application of teaching system based on crowdsourcing knowledge graph. *Knowledge graph and semantic computing*. Singapore, Springer; 2019:25–37. DOI: 10.1007/978-981-15-1956-7_3
17. Anikieva M. A. The choice of customisation strategies in training: An overview of parameters and their systematization. *Australasian Journal of Educational Technology*. 2021;37(3):170–186. DOI: 10.14742/ajet.6185
18. Li Yancong, Shao Zengzhen, Wang Xiao, Zhao Xuechen, Guo Yanhui. A concept map-based learning paths automatic generation algorithm for adaptive learning systems. *IEEE Access*. 2019;7:245–255. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2885339
19. Yu-Lin Jenga, Yong-Ming Huang. Dynamic learning paths framework based on collective intelligence from learners. *Computers in Human Behavior*. 2019;100:242–251. DOI: 10.1016/j.chb.2018.09.012
20. Jihong Yan, Chengyu Wang, Wenliang Cheng, Ming Gao. A retrospective of knowledge graphs. *Frontiers of Computer Science*. 2018;12(1):55–74. DOI: 10.1007/s11704-016-5228-9
21. Филипов А. В. Методика автоматического составления списка терминов на основе готовых конспектов уроков. *Информатика и образование*. 2021;36(5):46–51. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-46-51
22. Filippov A. V. Methods of automatic compilation of the list of terms on the basis of ready-made lesson outline. *Informatics and Education*. 2021;36(5):46–51. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-46-51
23. Аникеева М. А. Структурирование понятий предметной области по дисциплине «Допечатные процессы». *Информатизация образования и методика электронного обучения. Материалы I международной научной конференции в рамках IV международного научно-образовательного форума «Человек, семья и общество: история и перспективы развития»*. Красноярск, СФУ; 2016:162–166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26857921>
24. Anikieva M. A. Structuring the concepts of the subject area in the discipline “Prepress processes. *Proc. I Int. Scientific Conf. “Informatization of education and methods of e-learning”, within the framework of the IV Int. Scientific and Edu. Forum “Man, Family and Society: history and prospects of development”*. Krasnoyarsk, 2016:162–166. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26857921>
25. Новиков А. И. Семантика текста и ее формализация. М.: Наука, 1983. 216 с.
26. Novikov A. I. Semantics of the text and its formalization. Moscow, Nauka; 1983. 216 p.
27. Информатика. Wikipedia. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Информатика&oldid=117582771>
28. Informatics. Wikipedia. Available at: <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Informatika&oldid=117582771>
29. Ford R., Meyer R. Competency-based education 101. *Procedia Manufacturing*. 2015;3:1473–1480. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.325
30. Tuning of educational structures: Russia. Available at: <http://tuningrussia.org>
31. ISO/IEC TR 19759:2015: Software Engineering — Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK). ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/67604.html>
32. Prins G. T., Bulte A. M. W., Pilot A. An activity-based instructional framework for transforming authentic modeling practices into meaningful contexts for learning in science education. *Science Education*. 2016;100(6):1092–1123. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sc.21247>
33. Атанов Г. А. Деятельностный подход в обучении. Донецк: ЕАИ-пресс; 2001. 160 с.
34. Atanov G. A. Activity-based approach in learning. Donetsk, EAI-press; 2001. 160 p.
35. Шадриков В. Д. Формирование базовых компетенций на основе деятельностного подхода (на примере педагогической деятельности). *Мир психологии*. 2014;(3):105–119. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22023188>
36. Shadrikov V. D. Basic competencies formation on the basis of the activity approach (on the teaching activity example).

World of Psychology. 2014;(3):105–119. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22023188>

31. Jonassen D. H., Rohrer-Murphy L. Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational Technology Research and Development*. 1999;47:61–79. DOI: 10.1007/BF02299477

32. Григорьев С. Г., Подболотова М. И., Федосеева З. Р. Модель углубленной профессионально-ориентированной практики магистрантов в условиях сетевого взаимодействия по направлению подготовки «Педагогическое образование» (Учитель среднего общего образования). *Психологическая наука и образование*. 2015;20(5):130–141. DOI: 10.17759/pse.2015200512

Grigoriev S. G., Podbolotova M. I., Fedoseeva Z. R. In-depth model of professionally oriented practice undergraduates in the conditions of network interaction in the direction of preparation “Pedagogical education” (Teacher secondary education). *Psychological Science and Education*. 2015;20(5):130–141. DOI: 10.17759/pse.2015200512

33. Войшвилло Е. К. Понятие как форма мышления: логико-гносеологический анализ. М.: Изд-во МГУ; 1989. 239 с.

Voyshvillo E. K. The concept as a form of thinking: A logico-gnoseological analysis. Moscow, Publishing house of Moscow State University; 1989. 239 p.

34. Цибульский Г. М., Вайнштейн Ю. В., Есин Р. В. Разработка адаптивных электронных обучающих курсов в среде LMS MOODLE: монография. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2018. 168 с. Режим доступа: <http://Lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/u004/i-222439.pdf>

Tsibulskiy G. M., Vaynshteyn Yu. V., Esin R. V. Designing Adaptive Electronic Teaching Courses in the LMS MOODLE Environment. Krasnoyarsk, Siberian Federal University; 2018. 168 p. Available at: <http://Lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/u004/i-222439.pdf>

35. Аникьева М. А. Разработка модуля расчета индивидуального графика освоения материалов учебной дисциплины. *Информатика и образование*. 2021;36(5):35–45. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-35-45

Anikieva M. A. Development of a module for calculating an individual schedule for mastering the materials of an academic discipline. *Informatics and Education*. 2021;36(5):35–45. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-35-45

Информация об авторе

Аникьева Марина Анатольевна, старший преподаватель кафедры систем искусственного интеллекта, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8155-5902>; e-mail: MANikieva@sfu-kras.ru

Information about the author

Marina A. Anikieva, Senior Lecturer at the Department of Artificial Intelligence Systems, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8155-5902>; e-mail: MANikieva@sfu-kras.ru

Поступила в редакцию / Received: 15.11.2021.

Поступила после рецензирования / Revised: 06.12.2021.

Принята к печати / Accepted: 07.12.2021.