

Проектирование виртуальной образовательной среды на основе онтологического описания предметной области

М. А. Кирпичёв, студент, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия

А. О. Батанов, старший преподаватель, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, Россия

О. М. Перминова, кандидат экономических наук, доцент, МИРЭА –
Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия

В статье предложен подход к проектированию виртуальной образовательной среды на основе онтологического описания предметной области. Цель исследования заключается в разработке архитектурной схемы, обеспечивающей разделение семантического слоя знаний и слоя визуализации при формировании учебного контента в среде Unity. В качестве формального ядра используется онтология, создаваемая в Protégé на языке WebOntologyLanguage и экспортируемая в формате ResourceDescriptionFramework. Методическая новизна работы состоит в том, что онтология рассматривается не как справочное приложение к готовой среде, а как основной источник данных для динамического построения объектов сцены. Для интерпретации графа знаний используется компонент SceneManager, в котором выполняется чтение онтологического файла, преобразование структуры данных в JavaScriptObjectNotation и сопоставление семантических сущностей с ассетами проекта, интерфейсными элементами и текстовыми описаниями. Показано, что такая организация позволяет централизованно управлять составом виртуальных объектов, их атрибутами и связями без прямой модификации программного кода визуального слоя. Полученная схема повышает воспроизводимость наполнения образовательной среды, упрощает обновление предметного содержания и создает условия для участия предметных экспертов в сопровождении базы знаний. Практическая значимость работы состоит в возможности масштабирования виртуальной среды за счет расширения онтологии и повторного использования единого набора правил генерации сцены. Дополнительным преимуществом является снижение семантических расхождений между учебными объектами в разных сценах, а также возможность автоматической валидации полноты описаний. В отличие от традиционных подходов, где контент жестко привязан к коду движка, предлагаемая архитектура обеспечивает независимость содержания от визуальной реализации, что особенно важно для долгоживущих образовательных проектов с регулярно обновляемыми учебными материалами. Апробация подхода проведена на примере среды для изучения подводного мира; результаты подтверждают эффективность онтологически управляемой генерации сцен

Ключевые слова: онтология, семантика, моделирование, визуализация, образование, Protégé, Unity.

Введение

Расширение практик иммерсивного обучения и виртуальных сред в образовании привело к росту требований к качеству, обновляемости и воспроизводимости цифрового контента [1–5]. Однако во многих учебных проектах свойства объектов, связи между ними и логика их отображения по-прежнему фиксируются непосредственно в коде игрового движка или в настройках сцены. В результате предметное знание оказывается встроенным в визуальную реализацию, что затрудняет развитие среды и делает каждое обновление контента трудоемким.

Для виртуальной образовательной среды такая зависимость особенно критична, поскольку учебные объекты должны изменяться вместе с содержанием дисциплины и при этом сохранять единообразие описания в разных сценах и сценариях обучения. При отсутствии формальной модели одна и та же сущность может интерпретироваться по-разному, а эксперты предметной области не получают инструмента для корректировки базы знаний без участия разработчика. Это ограничивает масштабирование среды и усложняет верификацию образовательного контента [5–9].

Перспективным способом устранения указанных ограничений является онтологический подход, в котором знания предметной области описываются в виде формализованной системы классов, свойств и отношений [6–13]. Цель работы состоит в разработке архитектурного подхода к проектированию виртуальной образовательной среды, где онтология в формате OWL/RDF служит семантическим ядром для динамического формирования объектов сцены и их информационного наполнения. На примере среды для изучения подводного мира показано, как интеграция

Protégé, библиотеки dotNetRDF и компонента SceneManager позволяет разделить слой знаний и слой визуализации.

Используемые подходы

Ключевым условием проектирования виртуальной образовательной среды является переход от описания отдельных объектов к формализации предметной области как целостной системы знаний. В онтологическом подходе каждая сущность задается не только именем, но и местом в иерархии классов, набором атрибутов и отношениями с другими сущностями. Это обеспечивает семантическую согласованность учебного контента и делает возможной его машинную обработку [6–10, 13].

Использование Protégé и языков OWL/RDF позволяет вынести описание предметной области во внешний редактируемый слой, независимый от конкретной реализации сцены в Unity. Благодаря этому изменения в классификации объектов, текстовых описаниях и связях между сущностями могут выполняться без переработки визуального сценария. Такой подход согласуется с современными направлениями развития интеллектуальных образовательных систем, где онтологии применяются для персонализации, навигации по знаниям и повторного использования учебных ресурсов [8–13].

Для рассматриваемой среды предметная область организована вокруг двух групп сущностей: морских видов и зон их обитания. Семантические связи между этими группами определяют контекст визуализации объекта, его атрибутивное описание и правила включения в учебную сцену. Тем самым онтология выполняет не только описательную, но и конструктивную функцию, поскольку становится ис-

точником данных для автоматизированной генерации элементов виртуальной среды [14–17].

Материалы и методы

В качестве методологического базиса исследования используется онтолого-ориентированный подход к автоматизации формирования сцен виртуальной образовательной среды. В рамках данного подхода онтология рассматривается как формальная база знаний, пригодная для программной интерпретации и последующего связывания с графическими и интерфейсными компонентами Unity [14–17].

Проектируемый процесс функционирования системы включает следующие этапы.

Формализация и экспорт знаний. На первом этапе в среде Protégé формируется онтология предметной области, в которой задаются классы морских существ, их свойства и отношения. Итоговый RDF/OWL-файл содержит семантическую структуру объектов и используется как исходная база знаний для дальнейшей генерации контента. Пример онтологического древа предметной области приведен на рис. 1.

Программная трансформация и интерпретация. После формирования онтологии RDF/OWL-описание передается в компонент SceneManager, где с использованием библиотеки dotNetRDF выполняется чтение графа, преобразование его в JSON-представление и разбор структуры данных,

необходимой для построения объекта сцены. Последовательность этих этапов показана на рис. 2.

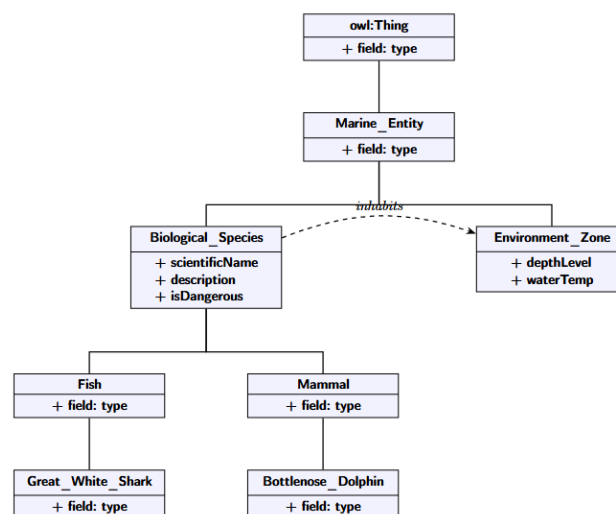


Рис. 1. Онтологическое древо предметной области в системе Protégé

Fig. 1. Ontological tree of the subject domain in Protégé



Рис. 2. Схема преобразования онтологического описания в объект сцены виртуальной среды

Fig. 2. Transformation of the ontology description into a virtual environment scene object

Динамическая сборка объекта. На основе сформированной структуры данных система выбирает соответствующий ассет проекта, создает объект сцены и дополняет его визуальными и информационными компонентами, включая 3D-модель, UI-Canvas и текстовое описание на базе TextMeshPro. Таким образом, онтологическое описание используется не как статический справочник, а как источник данных для автоматизированной генерации виртуального объекта.

Разработка среды начинается с построения иерархии классов и свойств в Protégé, где задаются таксономическая принадлежность объектов, атрибутивный состав и логические связи между сущностями. В предлагаемой архитектуре онтология выступает эталонным источником знаний для всех объектов виртуальной среды, а ее изменение приводит не к ручной правке сцены, а к обновлению формализованного описания, которое затем интерпретируется программным модулем [6–9, 12].

Архитектура онтологически управляемой виртуальной образовательной среды

Архитектура системы строится на принципе разделения семантического содержания и программной реализации. Предлагаемый подход включает три взаимосвязанных уровня: уровень онтологического моделирования в Protégé, уровень программной интерпретации данных в SceneManager и уровень визуализации в Unity. Такое разбиение позволяет локализовать изменения и исключить прямую зависимость учебного содержания от структуры сцены.

На уровне базы знаний задаются классы объектов, их атрибуты, допустимые отношения и ограничения, необходимые для последующей проверки полноты описания

сущностей. На уровне интерпретации выполняется чтение RDF-графа, преобразование его во внутреннюю структуру данных и сопоставление онтологических сущностей с шаблонами виртуальных объектов. На уровне визуализации формируются трехмерные модели, информационные панели и сопроводительные текстовые блоки, доступные пользователю в образовательной среде.

Автоматизация структурирования среды: благодаря механизмам наследования, каждый проектируемый виртуальный агент при инициализации должен получать параметры своего класса, что ускоряет процесс масштабирования виртуального мира.

Такое распределение функций обеспечивает независимость контентного наполнения от программной реализации: изменение описания объекта, его научного названия, характеристик или связей выполняется в онтологии и не требует переработки сцены вручную. Для образовательных проектов это особенно важно, поскольку предметные эксперты получают возможность актуализировать содержательную часть среды без непосредственного участия разработчика в каждой частной правке [5, 8, 9].

Масштабирование виртуальной среды достигается за счет расширения онтологии новыми классами и экземплярами без изменения общей логики интерпретации. При наличии единого словаря свойств и отношений новые объекты наследуют уже заданные правила описания и отображения, что снижает вероятность семантических расхождений между различными сценами и учебными модулями [9–13].

С инженерной точки зрения связка Protégé, RDF/OWL-описания и программного интерпретатора обеспечивает промежуточный слой между базой знаний и трехмерной

сценой. Именно этот слой позволяет преобразовывать формализованные сведения о сущности в набор визуальных компонентов и параметров отображения, а значит, переносить часть логики формирования среды из кода приложения в редактируемую модель предметной области [14–17].

Для образовательных сценариев такой подход создает дополнительный педагогический эффект: содержательная структура курса может обновляться синхронно с визуальным наполнением среды, а единый формальный словарь облегчает подготовку описаний объектов, их сопоставление с учебными задачами и последующую верификацию корректности контента [1–5, 9, 13].

Анализ результатов

Анализ предложенной архитектуры показывает, что ее основное преимущество состоит в отделении процесса моделирования знаний от процесса визуального конструирования сцены. В традиционной схеме обновление учебного контента требует изменения префабов, интерфейсных элементов и связанного кода; в онтологически управляемой схеме изменения локализируются в базе знаний и затем автоматически интерпретируются на уровне приложения. Это сокращает число ручных операций и делает структуру среды более воспроизводимой [6–9, 14–17].

Дополнительным результатом является повышение согласованности описаний объектов. Если свойства морского вида, его научное название, принадлежность к зоне обитания и текстовое пояснение задаются в единой онтологии, то эти данные могут быть использованы одновременно для визуализации, навигации по сцене и формирования обучающих подсказок. Тем самым снижается риск появления нескольких несовместимых версий одного и того же учебного объекта в разных частях проекта [9–13].

Вместе с тем эффективность подхода зависит от полноты онтологической модели и качества сопоставления семантических сущностей с библиотекой ассетов. Если для нового класса не задана корректная связь с графическим шаблоном или отсутствуют обязательные атрибуты, автоматическая генерация объекта будет неполной. Следовательно, дальнейшее развитие работы должно быть связано с формализацией правил валидации онтологии, расширением набора шаблонов сцены и апробацией подхода на большем числе предметных разделов [11–17].

Выводы

Предложен подход к проектированию виртуальной образовательной среды, в котором онтология предметной области используется в качестве центрального семантического ядра для формирования объектов сцены и их информационного наполнения. Показано, что объединение Protégé, форматов OWL/RDF и программного интерпретатора в Unity позволяет разделить слой знаний и слой визуализации, упростить обновление контента и повысить управляемость образовательной среды.

Практическая ценность подхода состоит в возможности масштабировать среду за счет расширения онтологической модели и повторного использования единых правил генерации. Перспективы дальнейшей работы связаны с разработкой процедур автоматической проверки полноты описания сущностей, расширением набора типовых сценариев визуализации и экспериментальной оценкой влияния онтологически управляемой среды на качество усвоения учебного материала.

Библиографические ссылки

1. Lampropoulos G., Kinshuk. Virtual reality and gamification in education: a systematic review // *Educational Technology Research and Development*. 2024. Vol. 72. P. 1691-1785. DOI: 10.1007/s11423-024-10351-3.

2. Sakr A., Abdullah T. Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review // *Education and Information Technologies*. 2024. Vol. 29. P. 19913-19962. DOI: 10.1007/s10639-024-12602-5.

3. Burke D., Crompton H., Nickel C. The Use of Extended Reality (XR) in Higher Education: A Systematic Review // *TechTrends*. 2025. Vol. 69. P. 998-1011. DOI: 10.1007/s11528-025-01092-y.

4. Rodríguez J.L. Virtual reality in the classroom: a difficult but exciting adventure for teachers and students // *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. Art. 1294715. DOI: 10.3389/educ.2024.1294715.

5. Корчемкина Ю. В. Виртуальная образовательная среда как средство формирования информационно-аналитических умений обучающихся // *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. 2020. № 2 (180). С. 160–164. DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2020.2.p160-164.

6. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications // *Knowledge Acquisition*. 1993. Vol. 5, no. 2. P. 199-220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.

7. Tudorache T., Nyulas C., Noy N.F., Musen M.A. Web-Protégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web // *Semantic Web*. 2013. Vol. 4, no. 1. P. 89-99. DOI: 10.3233/SW-2012-0057.

8. Rahayu N.W., Ferdiana R., Kusumawardani S.S. A systematic review of ontology use in E-Learning recommender system // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 3. Art. 100047. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100047.

9. Cenka B.A.N., Santoso H.B., Junus K. Personal learning environment toward lifelong learning: an ontology-driven conceptual model // *Interactive Learning Environments*. 2023. Vol. 31, no. 10. P. 6445-6461. DOI: 10.1080/10494820.2022.2039947.

10. Solovov A.V., Menshikova A.A. Cognitive modeling of adaptive learning processes // *Ontology of Designing*. 2024. Vol. 14, no. 2. P. 181-195. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-181-195.

11. Shishenkov M.A. Approaches to automating processes of working with ontological resources // *Ontology of Designing*. 2024. Vol. 14, no. 2. P. 256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269.

12. Ivanova T., Terzieva V. Ontology Learning in Educational Systems // *Information*. 2026. Vol. 17, no. 2. Art. 147. DOI: 10.3390/info17020147.

13. Kim S., Jeon T.H., Rhiu I., Ahn J., Im D.-H. Semantic Scene Graph Generation Using RDF Model and Deep Learning // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 2. Art. 826. DOI: 10.3390/app11020826.

14. Caneparo L. Semantic knowledge in generation of 3D layouts for decision-making // *Automation in Construction*. 2022. Vol. 134. Art. 104012. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104012.

15. Chokwithaya C., Zhu Y., Lu W. Ontology for experimentation of human-building interactions using virtual reality // *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Vol. 55. Art. 101903. DOI: 10.1016/j.aei.2023.101903.

16. Zhao Y., Sarkar A., Elmhadi L., Karray M.H., Fillatreau P., Archimède B. An ontology of 3D environment where a simulated manipulation task takes place (ENVON) // *Semantic Web*. 2024. Vol. 15, no. 2. P. 613-640. DOI: 10.3233/SW-233460.

References

1. Lampropoulos G., Kinshuk. Virtual reality and gamification in education: a systematic review // *Educational Technology Research and Development*. 2024. Vol. 72. P. 1691-1785. DOI: 10.1007/s11423-024-10351-3.

2. Sakr A., Abdullah T. Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review // *Education and Information Technologies*. 2024. Vol. 29. P. 19913-19962. DOI: 10.1007/s10639-024-12602-5.
3. Burke D., Crompton H., Nickel C. The Use of Extended Reality (XR) in Higher Education: A Systematic Review // *TechTrends*. 2025. Vol. 69. P. 998-1011. DOI: 10.1007/s11528-025-01092-y.
4. Rodríguez J.L. Virtual reality in the classroom: a difficult but exciting adventure for teachers and students // *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. Art. 1294715. DOI: 10.3389/educ.2024.1294715.
5. Korchemkina Yu.V. [Virtual educational environment as a means of developing information and analytical skills of students]. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2020. No. 2 (180). Pp. 160-164. DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2020.2.p160-164 (in Russ.).
6. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications // *Knowledge Acquisition*. 1993. Vol. 5, no. 2. P. 199-220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.
7. Tudorache T., Nyulas C., Noy N.F., Musen M.A. Web-Protégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web // *Semantic Web*. 2013. Vol. 4, no. 1. P. 89-99. DOI: 10.3233/SW-2012-0057.
8. Rahayu N.W., Ferdiana R., Kusumawardani S.S. A systematic review of ontology use in E-Learning recommender system // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 3. Art. 100047. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100047.
9. Cenk B.A.N., Santoso H.B., Junus K. Personal learning environment toward lifelong learning: an ontology-driven conceptual model // *Interactive Learning Environments*. 2023. Vol. 31, no. 10. P. 6445-6461. DOI: 10.1080/10494820.2022.20399470040.
10. Solovov A.V., Menshikova A.A. Cognitive modeling of adaptive learning processes // *Ontology of Designing*. 2024. Vol. 14, no. 2. P. 181-195. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-181-195.
11. Shishenkov M.A. Approaches to automating processes of working with ontological resources // *Ontology of Designing*. 2024. Vol. 14, no. 2. P. 256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-26.
12. Ivanova T., Terzieva V. Ontology Learning in Educational Systems // *Information*. 2026. Vol. 17, no. 2. Art. 147. DOI: 10.3390/info17020147.
13. Kim S., Jeon T.H., Rhiu I., Ahn J., Im D.-H. Semantic Scene Graph Generation Using RDF Model and Deep Learning // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 2. Art. 826. DOI: 10.3390/app11020826.
14. Caneparo L. Semantic knowledge in generation of 3D layouts for decision-making // *Automation in Construction*. 2022. Vol. 134. Art. 104012. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104012.
15. Chokwitthaya C., Zhu Y., Lu W. Ontology for experimentation of human-building interactions using virtual reality // *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Vol. 55. Art. 101903. DOI: 10.1016/j.aei.2023.101903.
16. Zhao Y., Sarkar A., Elmhadi L., Karray M.H., Fillatreau P., Archimède B. An ontology of 3D environment where a simulated manipulation task takes place (ENVON) // *Semantic Web*. 2024. Vol. 15, no. 2. P. 613-640. DOI: 10.3233/SW-233460.

* * *

Designing a Virtual Learning Environment Based on an Ontological Description of the Subject Domain

M. A. Kirpichev, Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

A. O. Batanov, Senior Lecturer, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

O. M. Perminova, PhD in Economics, Associate Professor, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

The paper proposes an approach to designing a virtual learning environment based on an ontological description of the subject domain. The aim of the study is to develop an architectural scheme that separates the semantic knowledge layer from the visualization layer when educational content is generated in Unity. The formal core of the environment is an ontology created in Protégé with the Web Ontology Language and exported in the Resource Description Framework format. The methodological novelty of the work lies in treating the ontology not as a passive appendix to a ready-made scene but as the primary source of data for dynamic scene construction. The knowledge graph is interpreted by the SceneManager component, which reads the ontology file, converts the data structure into JavaScript Object Notation, and maps semantic entities to project assets, interface elements, and text descriptions. This organization makes it possible to manage the composition of virtual objects, their attributes, and their relations in a centralized way without directly modifying the code of the visual layer. The proposed scheme improves the reproducibility of environment population, simplifies content updates, and creates conditions for involving subject-matter experts in maintaining the knowledge base. The practical value of the approach lies in the possibility of scaling the virtual environment by extending the ontology and reusing a unified set of scene generation rules.

Keywords: ontology, semantics, modeling, visualization, education, Protégé, Unity.

Получено: 13.04.26

Образец цитирования

Кирпичёв М. А., Батанов А. О., Перминова О. М. Проектирование виртуальной образовательной среды на основе онтологического описания предметной области // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2026. Т. 24, № 3. С. 50–53. DOI: 10.22213/2410-9304-2026-3-50-53.

For Citation

Kirpichev M.A., Batanov A.O., Perminova O.M. [Design of a virtual educational environment based on the ontological description of the subject area]. *Intellectualnye sistemy v proizvodstve*. 2026. Vol. 24, No. 3. Pp. 50-53 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2026-3-50-53.