

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

***Борисов В.В.**, д.т.н., профессор
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ» в г. Смоленске
e-mail: vbor67@mail.ru*

***Мисник А.Е.**, к.т.н.,
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
e-mail: anton@misnik.by*

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные образовательные учреждения можно рассматривать как сложные кибер-физические системы, особенностями которых являются:

- сложность структуры, многокомпонентность, наличие функциональных подсистем, решающих различные целевые задачи, большое количество параметров, характеризующих процессы системы;
- динамическое изменение структуры и параметров системы;
- неполная информация о функционировании и состоянии системы;
- разнообразие внешних и антропогенных воздействий на систему;
- наличие сложных нелинейных связей между параметрами;
- сложность принятия управленческих решений по повышению эффективности системы;
- ограниченные возможности для экспериментальных исследований системы и происходящих процессов;
- невозможность использования единого подхода к созданию моделей исполнительных и информационно-аналитических процессов, происходящих в таких системах.

С 2006 года в Белорусско-Российском университете идёт разработка и развитие систем автоматизации процессов внутри университета.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание № FSWF-2020-0019)

В этом году запускается в эксплуатацию система Электронный университет, построенная на принципах онтологического инжиниринга, которая позволит интегрировать в единую систему все службы университета и учебный процесс.

Онтологический подход обладает рядом ключевых преимуществ при автоматизации процессов в образовательных кибер-физических системах, ведь особенностью таких систем является высокий уровень интеграции процессов и совместное использование данных и знаний.

Проведенные исследования позволили обосновать применение метаграфов для соответствующего класса систем с учётом подобранного инструментария, соединяющего онтологическое и метаграфовое представления в рамках единого инструмента, что не достигается традиционным объединением онтологий.

2. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ

Организация процесса управления в современных образовательных сложных кибер-физических системах является актуальной задачей, решение которой существенно затрудняется увеличением информационных потоков в таких системах. Источниками данных могут быть как исполнительные подсистемы, так и операторы процессов в системе.

В образовательных кибер-физических системах практически каждый пользователь является одновременно как асинхронным источником данных, так и «потребителем» данных.

Для различных сложных образовательных киберфизических систем, работающих в условиях неопределенности, а также тесного взаимодействия основных информационно-аналитических процессов, процессов управления, процессов поддержки принятий решений, процессов документооборота, процессов обучения и усвоения материала и исполнительных процессов, остро стоит проблема повышения эффективности проектирования информационно-аналитических процессов, к которым относятся процессы сбора обработки, обобщения, оценки и прогнозирования состояния систем, выработка обоснованных управленческих решений и оценка их реализуемости.

Одной из наиболее актуальных проблем развития ИТ на данный момент является доведение до широкой эксплуатации таких технологий, которые позволяют строить действительно сложные модели, решать оптимизационные, аналитические и операционные задачи, для решения которых другие средства не подходят [8].

Однако проектирование и моделирование информационно-аналитических процессов невозможно без построения прикладной онтологии предметной области [3].

При разработке сложных кибер-физических систем существует тенденция интеграции разномодальных подсистем в единую систему. Очевидно, что интеграция мультимодальных систем должна осуществляться с использованием единого концептуального интерфейса между ними. В качестве такого интерфейса предлагается использовать онтологию.

В литературе используется достаточно большое количество определений термина онтология.

Онтология – это точная спецификация определенной области, включающая в себя словарь терминов предметной области и набор отношений, описывающих, как эти термины соотносятся друг с другом.

Онтологический инжиниринг — процесс проектирования и разработки онтологий, объединяющий две основные технологии проектирования сложных киберфизических систем — объектно-ориентированный и структурный анализ. Он включает в себя выделение основных классов сущностей при описании реальных взаимодействующих процессов, отношений между этими классами, а также набора свойств, определяющих их изменение и поведение при взаимодействии [9].

Целями онтологического инжиниринга являются повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений, повышение эффективности информационного поиска, предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний [10].

Онтология предметной области, особенно в образовательных кибер-физических системах, является весьма динамичной. Для построения такой онтологии необходим соответствующий инструментарий.

3. ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА

Сегодня графы широко используются для представления данных и знаний в различных областях, таких как: электротехника, строительство и логистика, компьютерные и социальные сети, лингвистика и многие другие.

Теоретико-графовые конструкции (сети Петри, синтаксические деревья, модели программ в виде управляющего графа и т.п.) важны в теории программирования и средств его автоматизации. Многие задачи анализа программ, возникающие при оптимизации, трансляции, валидации, тестировании, значительно упрощаются, если рассматривать их на теоретико-графовых моделях [4].

Хватает ли возможностей классических графов для онтологического инжиниринга? Увы, нет.

Стремление повысить адекватность модели приводит к необходимости использования не только бинарных отношений между компонентами системы (вершинами графа), но и отношений, объединяющих более двух вершин. В этом случае в качестве модели используется гиперграф. Ребро гиперграфа, соединяющее набор вершин, соответствует определенному отношению между данным набором вершин. Это, например, может быть совокупность компонентов (вершин) системы, участвующих в выполнении определенной функции, или совокупность данных, описывающих определенный объект, свойства, события, или совокупность элементов, объединенных в одно целое [11].

Гиперграфическое представление имеет аналогии с семантическими сетями и с фреймами, но фреймы трудно формализовать, а семантические сети до сих пор не имеют стандартного определения, хотя и возникли из формального понятия сети, которое по определению связано с гиперграфом.

Гиперграф же имеет четкое формальное определение и теоретически обоснованную процедуру сопоставления (поиска изоморфизма).

В настоящее время гиперграфы широко используются в тех областях, где требуется анализ сложных связей между вершинами графа, в частности, при проектировании аппаратных средств.

Однако в силу определения гиперграф не обладает достаточно удобными возможностями для моделирования иерархий. В отличие от гиперграфа метаграф представляет собой модель иерархического объекта с разными уровнями обобщения [2].

Метаграфы представляют собой обобщение представлений о структурах графов, используемых в разных областях. Метаграф содержит элементы как орграфов, так и гиперграфов. Сам метаграф строится на основе иерархического графа.

Метаграф — это набор направленных отображений множества в множество. Его приложениями являются моделирование отношений данных, каждое из которых рассматривается как отображение набора

ключевых элементов на набор элементов контента, и моделирование задач рабочего процесса, каждое из которых можно рассматривать как отображение набора элементов. входных документов в набор выходных документов [1].

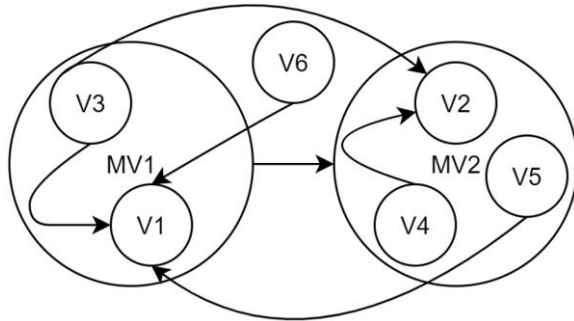


Рис.1. Метаграф

Метаграф - определяется тремя множествами:

$$S = \{V, MB, E\},$$

где V — множество вершин метаграфа, MV — множество метавершин, E — множество ребер. Метавершина метаграфа — это вершина, включающая множество вершин V .

Ребро метаграфа характеризуется исходной и целевой вершинами и направленностью и соединяет две вершины, в отличие от гиперребра гиперграфа, которое может охватывать несколько вершин. Ребро может соединять как вершины, так и метавершины метаграфа.

Таким образом, существуют принципиальные различия между метаграфом и гиперграфом. Гиперграф был изобретен как формализм, позволяющий моделировать сложный порядок обхода вершин графа. Такой подход, в частности, нашел применение при проектировании электронных микросхем. Основное назначение метаграфов — моделирование сложных иерархических объектов и систем.

Вершина метаграфа может быть атрибутивной, то есть с ней может быть связано произвольное количество атрибутов.

Нами предложено обобщить понятия вершины и метавершины до понятия узла метаграфа (N) и расширить определение узла наборами событий и методов, принадлежащих узлу:

$$N = \{N, A, EV, M\},$$

где A — множество атрибутов, связанных с вершиной, EV — набор событий, связанных с узлом метаграфа, M — набор методов, связанных с узлом метаграфа.

Метаграф позволяет определить онтологию системы. Для описания данных системы используются метавершины, позволяющие определять ненаправленные семантические связи между элементами данных. Наличие вложенности, которую обеспечивают метавершины, позволяет моделировать сложные иерархические отношения между элементами данных.

Такой подход к построению метаграфа позволяет включать процессную составляющую в онтологическую модель системы как неотъемлемую ее часть, что позволяет гибко и экономично строить процессные модели на основе сегментов общей онтологической модели.

4. ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Предлагается использовать подход к проектированию информационно-аналитических процессов в условиях необходимости оперативного проектирования, модификации и управления информационно-аналитическими процессами является их создание без привлечения разработчиков [5].

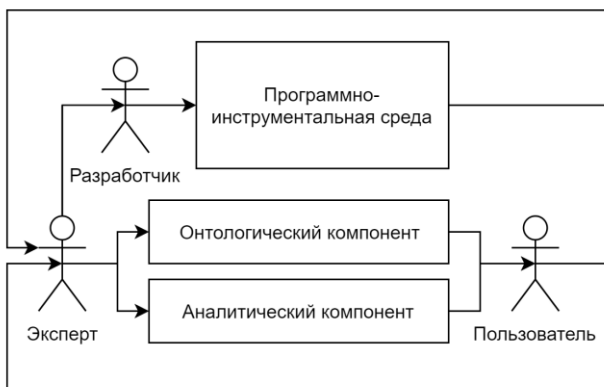


Рис.2. Иллюстрация предлагаемого подхода к проектированию онтологии и процессов в кибер-физической системе

Разработчики создают программно-инструментальную среду на основе онтологического подхода (средства такой среды могут непосредственно оперировать с информационными сущностями

предметной области), а специалисты, используя возможности среды, сами проектируют информационно-аналитические процессы [7].

Преимуществом такого подхода является преодоление «семантического разрыва» между экспертами, архитекторами и разработчиками информационно-аналитических процессов. При этом привлечение разработчиков необходимо только в ситуациях, когда требуется разработать новые или настроить существующие инструменты среды. Для реализации информационно-аналитических процессов специалисты в данной области должны иметь лишь базовые навыки автоматизированного проектирования процессов.

5. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Разработана специализированная программно-инструментальная среда, в рамках которой возможно моделирование исполнительных процессов и реализация информационно-аналитических процессов сложной киберфизической системы со следующими модулями:

- модуль онтологического инжиниринга, формирующий онтологическую модель сложной кибер-физической системы;
- модуль ввода и хранения пользовательских данных и данных, полученных из внешних источников;
- модуль супервизора нейронной сети для проверки внешних и аналитических данных;
- модуль построения модели информационно-аналитического процесса с использованием механизмов конструкторов на основе темпоральных нейро-нечетких сетей Петри;
- модуль гибкой настройки приоритетного управления информационно-аналитическими процессами, конкурирующими за ресурсы, на основе аппарата темпоральных нейро-нечетких сетей Петри.

Важным компонентом этой среды является модуль онтологического инжиниринга, реализующий принципы построения онтологической модели системы как метаграфа с атрибутивными узлами, включающими события и методы.

Этот модуль позволяет строить структуру метаграфа, задавать наборы атрибутов для его узлов, включать в узел множество узлов метаграфа, включая возможность рекурсивного использования узлов, создавать методы обработки данных и указывать необходимые события для их активации.

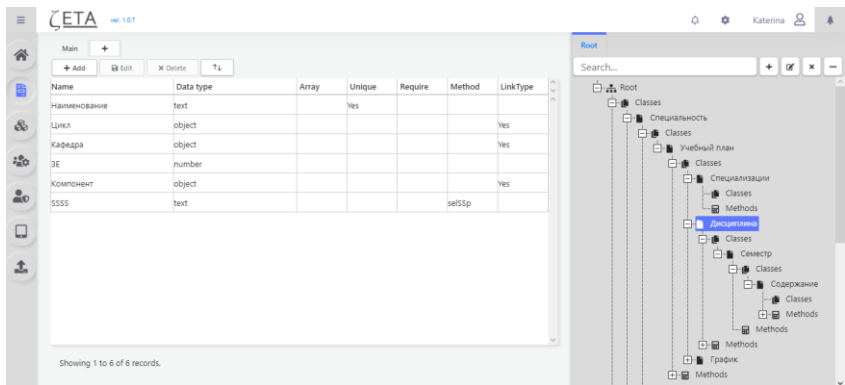


Рис.3. Пример экранной формы модуля онтологического инжиниринга

Разработав прикладную онтологию системы с помощью данного модуля, мы получаем готовый инструмент обработки данных и основу для быстрого формирования моделей системных процессов [6].

Динамичность онтологии системных процессов и траекторий обучения во много продиктована динамичностью системных процессов и индивидуальных траекторий обучения в современных образовательных кибер физических системах.

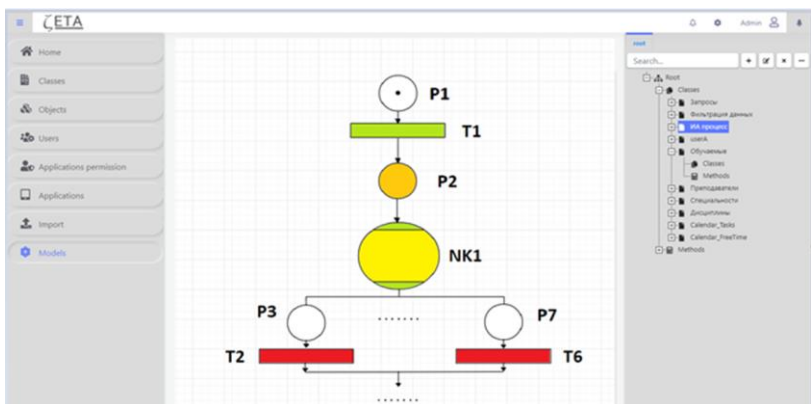


Рис.4. Пример экранной формы построения модели информационно-аналитического процесса с использованием механизмов конструкторов на основе темпоральных нейронечетких сетей Петри

Таким образом, разработанная прикладная онтология используется для построения темпоральных нейро-нечетких сетей Петри для моделирования и управления процессами в системе.

Программно-инструментальная среда в целом и модуль онтологического инжиниринга используют систему управления базой данных PostgreSQL для реализации подсистемы хранения и обработки данных. PostgreSQL — это наиболее полнофункциональная бесплатная система управления базами данных с открытым исходным кодом. Эта система управления базами данных обладает всеми функциями, которые нужны большинству клиентов. PostgreSQL активно используется во всем мире для создания критически важных бизнес-систем под большой нагрузкой.

Использование реляционных СУБД для реализации онтологий, конечно, подвергается определенной критике из-за недостаточно высокой производительности при обходе иерархических моделей, однако в реальной жизни решение вопросов нахождения решений на онтологии занимают весьма небольшое время, в то время как обработка соответствующих массивов данных и их сортировка часто является куда более сложной и ресурсоёмкой задачей и здесь реляционные СУБД существенно выигрывают у альтернатив, рассчитанных только на поиск решений по иерархии отношений.

Фронтенд системы разработан на ReactJS, бэкенд — на PHP с использованием MVC Phalcon.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для эффективного решения задачи онтологического инжиниринга требуются универсальные средства представления иерархии, атрибутов, событий и методов внутри онтологии.

Рассмотрены графовые инструменты построения онтологий.

Предложены модификации метаграфов для построения прикладной онтологии сложной образовательной киберфизической системы.

Разработанное специализированное программное обеспечение для онтологического инжиниринга рассматривается на примере системы «Электронный университет» Белорусско-Российского университета.

Литература

1. Basu A., Blanning R. *Metagraphs and their applications*. Springer, 2007. 174 p.
2. Самохвалов Э. Н., Ревунков Г. И., Гапанюк Ю. Е. Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных

- систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2015. №1 (100). с. 83-99.
3. Gribova V., Shalfeeva E. Ontological infrastructures for intelligent problem solving // CEUR Workshop Proceedings: Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 10th International Conference on «Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence», IMSC 2021. — 2021. — Vol. 2965.
 4. Bobryakov, A.V. A Method for Managing Engineers Training Processes using Swarm Intelligence Algorithms / A.V. Bobryakov, S.P. Yanukovich, K.V. Zakharchenkov, V.V. Borisov // 2020 5th International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2020 – Moscow, Russia. 2020. DOI: 10.1109/Inforino48376. 2020.9111788.
 5. Bobryakov A., Misnik A. and Prakapenka S. Management of industrial and technological processes of complex systems based on modified neuro-fuzzy Petri nets // CEUR Workshop Proceedings: Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 10th International Conference on «Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence», IMSC 2021. — 2021. — Vol. 2965. — P. 276-283
 6. Борисов В.В., Мисник А.Е., Прокопенко С.А., Кугузов В.В., Захарченков К.В./ Моделирование образовательных процессов на основе нейронечетких темпоральных сетей Петри // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16. – № 4(94). – С. 35-47. – DOI 10.37791/2687-0649-2021-16-4-35-47.
 7. Bobryakov A. V., Krutalevich S. K., Misnik A. E. and Prokopenko S. A. Modeling of Industrial and Technological Processes in Complex Systems Based on NeuroFuzzy Petri Nets // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2096, International Conference on Automatics and Energy (ICAE 2021) 7-8 October 2021, Vladivostok, Russia
 8. Vajnilovich Yu., Zaharchenkov K. and Zakharova A. Integrated System Approach to Improving the Efficiency of IT Projects Management Based on Evolutionary Modeling // Computing in Physics and Technology. pp. 309-314
 9. Gomez-Perez A., Fernández-López M., Corcho O. (2004). Ontological Engineering: With Examples from the Areas of Knowledge Management, E-Commerce and the Semantic Web..
 10. Aguado De Cea, G., Gómez-Pérez, A., Montiel-Ponsoda, E., and Suárez-Figueroa, M.C. Natural Language-Based Approach for Helping in the Reuse of Ontology Design Patterns. In Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Engineering (EKAW),pp. 32-47. (2008).
 11. Soshnikov D. Software Toolkit for Building Embedded and Distributed Knowledge-Based Systems // In Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT' 2000. Ufa, 2000. P. 103-111.