

УДК 004.8

МЕТА-АССОЦИАТИВНЫЕ ГРАФЫ КАК ИНСТРУМЕНТ
ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Е. МИСНИК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Кибер-физические системы (КФС) представляют собой слияние физических процессов, вычислений и сетевых технологий. Такие системы характеризуются сложными структурами, динамичным изменением параметров и обширным взаимодействием компонентов, что требует эффективной стратегии управления для обеспечения их надежности и производительности. КФС характеризуются разнородной и интегрированной структурой, где физические и программные компоненты находятся в тесном взаимодействии. Управление такими системами сталкивается с многомерной сложностью, включающей анализ структурной динамики, многофункциональности и необходимости реагирования в реальном масштабе времени. Одна из ключевых задач – эффективная интеграция разнообразных подсистем и моделей данных, требующая унифицированного концептуального интерфейса, способного адаптироваться к эволюционирующим требованиям системы и условиям окружающей среды [1].

Онтология играет центральную роль в КФС, предоставляя структурированную базу для представления знаний. Она определяет сущности, их атрибуты и отношения между ними, предлагая семантическую основу для интеграции систем, взаимодействия данных и поддержки принятия решений. Однако статичный характер традиционных онтологий ограничивает их способность адаптироваться к динамике, присущей КФС. Этот недостаток требует подхода, который не только приспособляется, но и предвосхищает изменения, позволяя быстро переконфигурировать онтологию.

Мета-ассоциативные графы расширяют возможности традиционных графовых онтологий, вводя дополнительный уровень абстракции и гибкости. Эта структура позволяет динамически ассоциировать и рекомбинировать компоненты онтологии, делая их особенно подходящими для адаптивных требований КФС. С использованием мета-ассоциативных графов онтологии могут быть быстро реструктурированы для отражения изменений в системе или её операционной среде, облегчая более отзывчивое и эффективное управление системой [1].

Мета-ассоциативные графы обобщают понятия вершины и метавершины до понятия узла метаграфа N , а также дополняют определение узла именем, множествами ассоциативных атрибутов и наборами событий и методов, принадлежащих узлу:

$$N = \{I, AS, EV, M\},$$

где I – имя узла; EV – множество событий, связанных с узлом метаграфа; M – множество методов, связанных с узлом метаграфа; AS – множество ассоциативных атрибутов, которые являются либо обычными атрибутами, либо ссылками на узлы метаграфа:

$$AS = \{A, N^*\}.$$

Данная разновидность метаграфа (рис. 1) позволяет повысить гибкость онтологического инжиниринга, в частности инжиниринга онтологий процессов сложной системы, поскольку ссылки на узлы метаграфа, по сути, мало чем отличаются от ребер метаграфа и позволяют обеспечить ассоциативные связи. Любая вершина потенциально становится метавершиной, т. к. ссылка на другой узел метаграфа предоставляет все возможности для взаимодействия с ним. С другой стороны, если нет необходимости в конкретный момент использовать ассоциативную связь, то ссылку можно воспринимать в виде обычного атрибута со значением, равным имени узла.

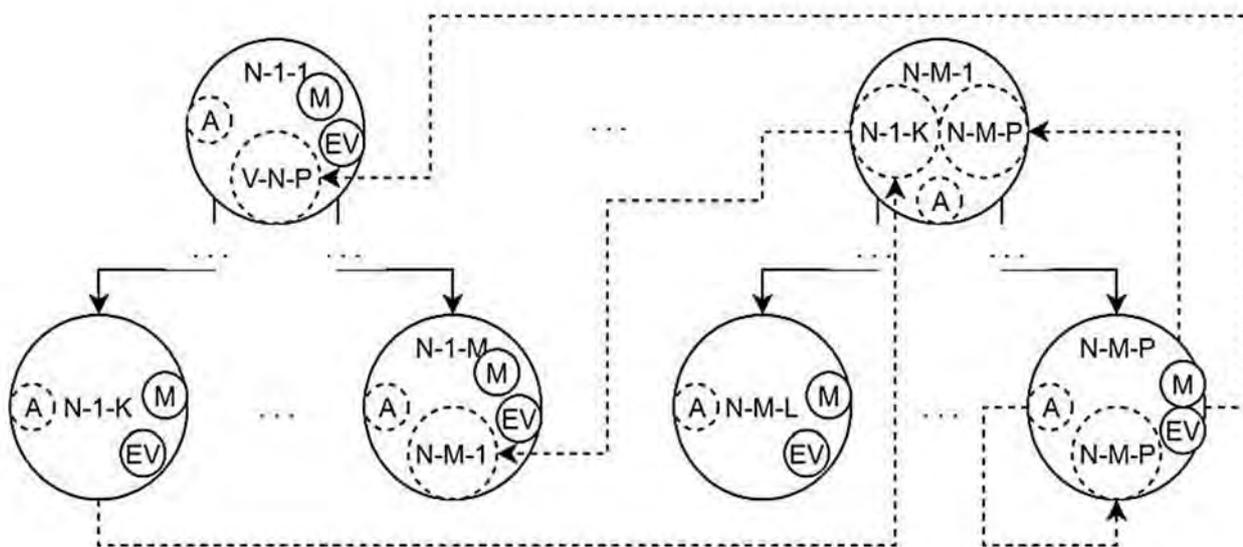


Рис. 1. Мета-ассоциативный граф

Мета-ассоциативные графы обеспечивают интеграцию процессного компонента в фундаментальную онтологическую модель системы. Данный подход предоставляет возможность гибкого и ресурсоэффективного проектирования процессных моделей на базе сегментированной структуры, т. е. подграфов, которые составляют единую онтологическую модель. Это предоставляет методологический инструментарий для адаптации и оптимизации системных процессов в соответствии с переменными требованиями и условиями эксплуатации кибер-физических систем [2].

В рамках онтологического инжиниринга комплексных кибер-физических систем объектно-ориентированный методологический подход организуется в трехуровневую архитектуру, включающую в себя:

– структурирование данных и знаний. Разработка онтологической структуры системы в виде иерархии классов. Здесь классы выступают как фундаментальные строительные блоки, определяющие структуру данных в контексте объектно-ориентированного подхода и служащие базисом для абстракции и категоризации компонентов системы;

– онтологическая организация данных. Концептуализация данных системы в соответствии с разработанной онтологической структурой. Этот процесс включает в себя присвоение конкретных данных и атрибутов экземплярам классов, тем самым реализуя объектно-ориентированную модель в контексте онтологии системы;

– формирование пользовательских интерфейсов. Разработка интерфейсов, способных отображать и манипулировать данными для поддержки и управления бизнес-процессами внутри сложных кибер-физических систем, а также предоставлять интерактивную среду для пользователей в контексте принятия управленческих решений.

Применение онтологического инжиниринга в разработке программно-инструментальных комплексов позволяет переосмыслить традиционную роль разработчиков программного обеспечения, трансформируя их деятельность в создание среды, основанной на онтологическом подходе (рис. 2). В этом контексте инструментарий такой среды обеспечивает прямой доступ к онтологическим сущностям, отражающим специфику предметной области, что позволяет экспертам, владеющим предметной экспертизой, осуществлять проектирование информационно-аналитических процессов независимо [3].



Рис. 2. Иллюстрация подхода к практической реализации программных средств в виде программно-инструментальной среды

Таким образом, специалисты обладают полномочиями для автономного конструирования и оптимизации процессов, что способствует ускорению разработки и повышению гибкости системных решений.

Данный подход сокращает разрыв между теоретическими онтологическими структурами и их практическим применением в КФС, обеспечивая более интуитивное и гибкое управление онтологиями. Преимущества этого метода включают улучшенную интеграцию системы, повышенную эффективность поиска информации и возможность коллаборативной обработки знаний. Кроме того, такой подход существенно снижает семантический разрыв между проектировщиком и участником процесса [4, 5].

Сотрудниками лаборатории кибер-физических систем Белорусско-Российского университета была разработана программно-инструментальная среда, функционирующая на вышеописанных принципах. В качестве свежего примера, реализованного с помощью программно-инструментальной среды, можно привести систему закрепления земельных участков г. Могилева, реализованную для Могилевского городского исполнительного комитета и Управления коммунальных предприятий г. Могилева.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Misnik, A. E.** Ontological Engineering on Metagraphs Basis / A. E. Misnik // VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). – Moscow, 2022. – P. 1–6.
2. **Borisov, V. V.** Combined neural network modeling method for the operational management of complex systems / V. V. Borisov, A. E. Misnik // Information technologies. – 2012. – № 7. – С. 69–72.
3. Моделирование образовательных процессов на основе нейронечетких темпоральных сетей Петри / В. В. Борисов [и др.] // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16, № 4 (94). – С. 35–47.
4. Моделирование и проектирование информационно-аналитических производственных процессов на основе нейронечетких темпоральных сетей Петри / А. В. Бобряков [и др.] // Прикладная информатика. – 2022. – Т. 17, № 2 (98). – С. 65–78.
5. **Борисов, В. В.** Способ оперативного управления на основе комбинированного моделирования / В. В. Борисов, А. Е. Мисник // Научное обозрение. – 2014. – № 1. – С. 117–122.