

УДК 004.514

Визуализация метаграфов с использованием средств виртуальной реальности

Саргсян Ованнес Гагикович

ovannes_24@mail.ru

Прошин Александр Михайлович

leekmarlock.dev@gmail.com

Кекин Илья Алексеевич

iliakekin52@gmail.com

Молчанов Алексей Викторович

molchanov@student.bmstu.ru

Гапанюк Юрий Евгеньевич^(*)

gapyu@bmstu.ru

SPIN-код: 4758-2148

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные положения аннотируемой метаграфовой модели. Предложен вариант структурного и цветового отображения элементов аннотируемой метаграфовой модели в трехмерном представлении. Рассмотрены основные преимущества Godot Engine для визуализации метаграфовой модели. Рассмотрены возможности Godot Engine, используемые для представления метаграфа в трехмерном пространстве.

Ключевые слова: трехмерная визуализация, граф, метаграф, метавершина, ребро

Metagraph visualization using virtual reality tools

Sargsian Ovannes Gagikovich

ovannes_24@mail.ru

Proshin Alexander Mikhailovich

leekmarlock.dev@gmail.com

Kekin Ilya Alekseevich

iliakekin52@gmail.com

Molchanov Alexey Viktorovich

molchanov@student.bmstu.ru

Gapanyuk Yuriy Evgenievich^(*)

gapyu@bmstu.ru

SPIN-code: 4758-2148

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The main provisions of the annotated metagraph model are considered. A variant of the structural and color representation of the elements of the annotated metagraph model in a 3D representation is proposed. The main advantages of the Godot Engine for visualization of the metagraph model are considered. The possibilities of the Godot Engine used to represent a metagraph in three-dimensional space are considered.

Keywords: 3D visualization, graph, metagraph, metavertex, edge

Введение. В области искусственного интеллекта графовые модели знаний традиционно занимают важное место. В последнее время особый интерес вызывают модели, которые основаны на «сложных сетях» или «сложных графах», что является разными переводами английского «complex network» и часто используются как синонимы. В работе [1] указывается, что «сложная

сеть» обычно относится к реальной исследуемой системе, тогда как «сложный граф» чаще обозначает математическую модель этой системы.

Как правило, термин «сложный» трактуется в двух вариантах. Вариант I — плоские графы (сети) очень большой размерности. Вариант II — сложные графы, в которых используется сложное (комплексное) описание вершин, ребер и/или их расположения. В настоящее время на кафедре ИУ-5 МГТУ им. Н.Э. Баумана развивается «аннотируемая метаграфовая модель» [2, 3], которая является разновидностью сложной графовой модели варианта II.

Традиционно важной задачей является наглядная визуализация моделей знаний, особенно в случае их представления в форме сложных графов. Трехмерное представление естественным образом устраняет проблему визуальных пересечений и наложений, неизбежных при работе с моделями графов высокой сложности. Данная статья посвящена возможности визуализации метаграфов с применением виртуальной и дополненной реальности.

Материалы и методы. Рассмотрим основные положения аннотируемой метаграфовой модели в соответствии с работами [2, 3]. Определим **метаграф** следующим образом: $MG = \langle V, MV, E, ME \rangle$, где MG — метаграф; V — множество вершин метаграфа; MV — множество метавершин метаграфа; E — множество ребер метаграфа; ME — множество метаребер метаграфа.

Вершина метаграфа характеризуется **множеством атрибутов**: $v_i = \{atr_k\}$, $v_i \in V$, где v_i — вершина метаграфа; atr_k — атрибут.

Ребро метаграфа характеризуется множеством атрибутов, исходной и конечной вершиной и признаком направленности: $e_i = \langle v_s, v_e, eo, \{atr_k\} \rangle$, $e_i \in E$, $eo = true|false$, где e_i — ребро метаграфа; v_s — исходная вершина (метавершина) ребра; v_e — конечная вершина (метавершина) ребра; eo — признак направленности ребра ($eo=true$ — направленное ребро, $eo=false$ — ненаправленное ребро); atr_k — атрибут.

Фрагмент метаграфа в общем виде может содержать произвольные вершины (метавершины) и ребра (метаребра): $MG_i = \{ev_j\}$, $ev_j \in (V \cup E \cup MV \cup ME)$, где MG_i — фрагмент метаграфа; ev_j — элемент, принадлежащий объединению множеств вершин (метавершин) и ребер (метаребер) метаграфа.

Метавершина метаграфа в дополнение к свойствам вершины включает вложенный фрагмент метаграфа: $mv_i = \langle \{atr_k\}, \{ev_j\} \rangle$, $mv_i \in MV$, $ev_j \in (V \cup E \cup MV \cup ME)$, где mv_i — вершина метаграфа; atr_k — атрибут; ev_j — элемент, принадлежащий объединению множеств вершин (метавершин) и ребер (метаребер) метаграфа.

В статье особое внимание уделяется двум идеям: использованию однозначной цветовой кодировки для метаграфовой модели и интеграции технологий дополненной/виртуальной реальности при помощи игрового движка Godot. Эти решения позволяют создать более естественный и интуитивно понятный интерфейс взаимодействия с трехмерной визуализацией метаграфовой модели. В предлагаемом варианте визуализации, метавершину от вершины отличает наличие обводки (на рис. 1 слева показана вершина, а справа метавершина).



Рис. 1. Пример визуализации вершины и метавершины

При визуализации ребер, ребро окрашивается в градиент от цветов инцидентных вершин. При этом ребро, визуальное идущее в метавершину, может быть инцидентно содержимому метавершины, а может быть инцидентно самой метавершине, что показано на рис. 2.

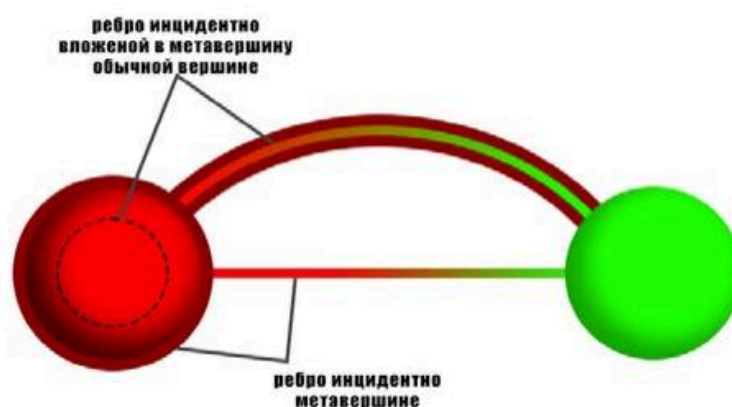


Рис. 2. Пример визуализации ребер

Когда метавершина находится в открытом состоянии, ее подграф виден пользователю целиком. При раскрытии метавершины, ребра, идущие из ее подграфа в остальной граф, перекрашиваются в градиент соответственно их инцидентным вершинам, а все вложенные объекты дополняются обводкой цвета обводки метавершины, что показано на рис. 3.

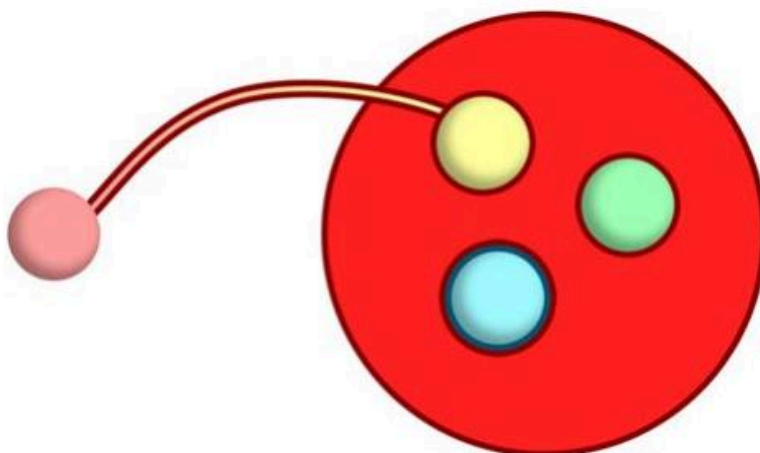


Рис. 3. Пример визуализации раскрытой метавершины

Для реализации предложенного подхода используется программная библиотека Godot Engine с открытым исходным кодом, поддерживающая разработку как 2D-, так и 3D-приложений.

К основным преимуществам Godot Engine для визуализации метаграфовой модели можно отнести:

- гибкость рендеринга — поддержка технологий OpenGL, Vulkan;
- наличие встроенных инструментов для работы с графами — возможность программной генерации и управления вершинами, метавершинами и ребрами через скрипты на языках программирования GDScript и C#;
- поддержка физических симуляций — реализация force-directed алгоритмов для автоматической компоновки узлов метаграфа.

Для представления метаграфа в трехмерном пространстве используются следующие возможности Godot Engine:

- Mesh3D — для отрисовки вершин и метавершин в виде примитивов (сфер, кубов);
- Line3D — для визуализации ребер между узлами;
- Shader-эффекты — для цветового кодирования элементов модели;
- XR-интерфейсы Godot — для рендеринга стереоизображения и трекинга;
- интерактивные элементы интерфейса — кнопки, полосы прокрутки и другие объекты, с которыми пользователь может осуществлять интерактивное взаимодействие;
- кроссплатформенная сборка — экспорт проектов в форматы .apk (Android), .exe (Windows) или WebGL.

Пример визуализации фрагмента метаграфа с использованием VR-гарнитуры представлен на рис. 4.

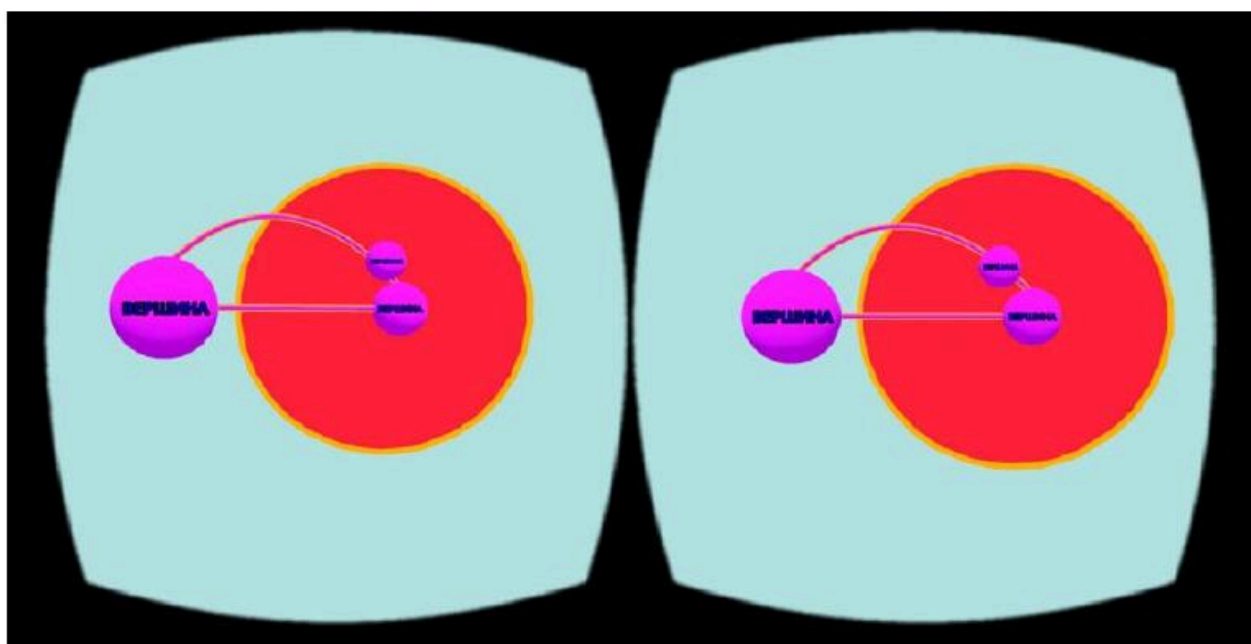


Рис. 4. Пример визуализации фрагмента метаграфа с использованием VR-гарнитуры

Результаты. На текущий момент получены следующие основные результаты: разработана формализованная аннотируемая метаграфовая модель; предложен вариант структурного и цветового отображения элементов аннотируемой метаграфовой модели в трехмерном представлении; реализован прототип трехмерной визуализации с использованием программной библиотеки Godot Engine, который может осуществлять отображение метаграфа как с использованием плоского экрана, так и с использованием средств виртуальной реальности.

Обсуждение полученных результатов. Разработка эффективных инструментов визуализации сложных графов сопряжена с рядом нетривиальных вызовов. Среди ключевых проблем можно выделить необходимость оптимизации вычислений, сохранение естественной наглядности, ограничения и непредсказуемость человеческого восприятия и отсутствие единых стандартов реализации. Вариантам трехмерного представления традиционных графов посвящены как относительно старые [4], так и относительно новые [5] работы, что свидетельствует об актуальности задачи. Попытки визуализации сложных графов предлагались только для гиперграфовой модели [5], которая намного проще метаграфовой модели. Часть задач автоматизации компоновки данных может быть решена с применением алгоритмов, основанных на логико-вероятностных моделях, таких как миварные технологии [6], но их использование требует дальнейших исследований.

Заключение. В работе представлены результаты первых экспериментов по визуализации метаграфовой модели с использованием средств виртуальной реальности. Дальнейшее развитие работы предполагает: улучшение способов цветового кодирования и алгоритмов визуализации метаграфовой модели, совершенствование методов отображения метаграфов в виртуальной реальности, применение методов дополненной реальности для визуализации метаграфов.

Список источников

- [1] Chapela V., Criado R., Moral S., Romance M. Intentional risk management through complex networks analysis. Springer, 2015.
- [2] Черненький В.М., Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И., Терехов В.И., Каганов Ю.Т. Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем. *Прикладная информатика*, 2017, т. 12, № 3 (69), с. 57–79.
- [3] Гапанюк Ю.Е. Этапы развития метаграфовой модели данных и знаний. *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2021)*. X Междунар. науч.-техн. конф: сб. тр. Смоленск, Универсум, 2021, т. 2, с. 190–200.
- [4] Ware C., Mitchell P. Visualizing graphs in three dimensions. *ACM Trans. Appl. Percept.*, 2008, vol. 5, no. 1. <https://doi.org/10.1145/1279640.1279642>
- [5] Evans W., Rzażewski P., Saeedi N., Shin C.S., Wolff A. Representing Graphs and Hypergraphs by Touching Polygons in 3D. *Graph Drawing and Network Visualization*, Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35802-0_2
- [6] Kotsenko A., Varlamov O., Denisov A., Matsnev A., Goryachkin B. Mivar-based route planning simulation model for obstacle-aware autonomous agricultural machinery. *BIO Web Conf.*, 2024, vol. 130. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413008031>