

Применение расширенных интерпретаций структур концептуальных графов в задачах семантического поиска

С. В. Власенко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
s_v_vlasenko@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению способов формирования и применения расширенных интерпретаций структур концептуальных графов при решении типовых задач семантического поиска на моделях знаний соответствующего вида. При этом также анализируется ряд формальных ограничений аппарата концептуальных графов, непосредственно влияющих на сложность и корректность реализации поисковых процедур.

Ключевые слова: интеллектуальные системы; модели знаний; концептуальные графы; семантический поиск

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии распределенной обработки знаний в открытых глобальных и корпоративных сетях различного масштаба и назначения являются в настоящее время одной из наиболее активно развивающихся областей исследований в сфере искусственного интеллекта. На качественном уровне текущий этап развития технологий данного класса в первую очередь характеризуется такими задачами, как обеспечение высокой интероперабельности приложений, повышение степени универсальности средств представления и обработки знаний и глубокая интеграция этих средств в веб-технологии массового применения. Особое место в спектре научных и прикладных разработок по рассматриваемой тематике занимают модели, методы и лингвистическое обеспечение представления знаний на базе формальных логических систем и концептуальных структур. Именно эти предметы исследования в последнее время в решающей степени определяют тот теоретический базис, который в дальнейшем находит свое отражение в практике реализации соответствующих информационных технологий, получающих широкое распространение и поддержку на международном уровне. При этом реальным воплощением того или иного теоретического аппарата в практическом плане становится, как правило, некоторый формальный язык представления знаний, отображающий основное содержание предлагаемой теоретической модели и обеспечивающий разработки последующих программно-технологических решений.

Среди наиболее широко известных, используемых и обсуждаемых в научном сообществе языков представления знаний рассматриваемого класса на сегодняшний день,

вероятно, особо следует выделить RDF и OWL (в рамках программы Semantic Web консорциума W3C), а также линию языков декларативной семантики, согласующихся с инициативами ISO по стандартизации информационных технологий в части интероперабельности IT-продуктов и систем, – KIF (Knowledge Interchange Format), CLIF (Common Logic Interchange Format), CGIF (Conceptual Graph Interchange Format) и IKL (IKRIS Knowledge Language, где IKRIS – аббревиатура от Interoperable Knowledge Representation for Intelligence Support). С точки зрения сопоставления семантической мощности данные языки могут быть условно выстроены (в порядке роста выразительных возможностей) в последовательность:

$RDF < OWL < KIF < CLIF < CGIF < IKL$.

При этом представляется важным отметить, что среди всех перечисленных языков только CLIF и CGIF являются стандартизированными нотациями (языки RDF и OWL регламентируются только рекомендациями W3C, а прочие поддерживаются только рабочими спецификациями различных организаций и разработчиков), описанными в стандарте ISO/IEC 24707 «Information technology — Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages» ([1,2]). Показательно также то, что указанные два языка не только соответствуют одному стандарту (стандарту по так называемой «Общей логике» – CL), но и согласуются (частично) на уровне синтаксических моделей, а именно: базовая нотация CGIF (Core CGIF) имеет формальный механизм трансляции в абстрактный синтаксис CL и в CLIF (конкретную «реализацию» CL). Расширенная версия CGIF (Extended CGIF) не обладает подобными свойствами (хотя и инкапсулирует в себе Core CGIF), но значительно превосходит возможности аппарата CL в многообразии выразительных средств. Это во многом объясняется тем обстоятельством, что нотации CGIF базируются не только на аппарате формальной логики, но и на элементах теории концептуального моделирования, а именно – на классе моделей «концептуальные графы» (КГ). В частности, во всех ранних диалектах CGIF (публиковавшихся в рабочих документах ANSI и комитета ISO/IEC JTC1 в рамках проекта создания стандарта на модели и нотации КГ), декларировалось соответствие языка стандарту ISO/IEC 14481:1998, «Information Technology (IT) – Conceptual Schema Modeling Facilities (CSMF)» (представительные

библиографии классических трудов по тематике КГ и смежным предметным областям содержатся, в том числе, в [3–5]).

Учитывая сказанное, а также тот факт, что последняя редакция стандарта CL опубликована в 2018 г., можно заключить, что и язык CGIF, и аппарат КГ в целом по-прежнему представляют явный интерес применительно к тематике интероперабельных интеллектуальных систем и технологий представления и распределенной обработки знаний. Именно КГ и их отображение в нотациях CGIF и являются основным предметом анализа в данной статье, а в качестве исследуемой сферы приложения указанных средств рассматриваются частные задачи семантического поиска на моделях знаний соответствующего вида.

II. АППАРАТ КГ В ЗАДАЧАХ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА

Поддержка задач развитого семантического поиска в гетерогенных информационных средах исходно являлась одним из основных направлений применения теории КГ (классическим примером подобных приложений можно считать известную систему WebKB). Ориентация аппарата КГ на системно целостное отображение лингвистических, логических и структурных аспектов организации знаний в совокупности с наличием стандартизированных нотаций создает все необходимые предпосылки для эффективного использования КГ в исследуемом классе задач.

Поскольку в практических приложениях теоретический базис КГ может рассматриваться только во взаимосвязи с конкретными средствами представления КГ-моделей в целевых информационно-программных средах, примем в качестве универсального инструмента описания КГ язык CGIF, о котором говорилось ранее. При этом в настоящей статье далее будет использоваться (как наиболее полно отражающая потенциальные возможности семантики КГ и широко распространенная в прикладных разработках) спецификация CGIF, содержащаяся в рабочих документах технического комитета ISO/JTC1/SC 32/WG2 ([6]).

Среди наиболее важных свойств и особенностей КГ в контексте рассматриваемых далее задач семантического поиска можно особо отметить следующие:

- развитый механизм определения типов элементов КГ (концептов и концептуальных отношений), в том числе позволяющий описывать полиморфные, вариативные, процедурные и иные сложные типы, а также отображать различные виды группировки, селекции, параметризации объектов и типов и т.п.;
- наличие механизма контекстов (вложенных КГ) и контекстно-зависимых описаний произвольного содержания;
- наличие аппарата кореферентных ссылок, который позволяет отображать в КГ логические тождества объектов и структурных компонентов КГ-модели, ассоциации и аналогии, лексические отношения (синонимии, антонимии, омонимии и т.п.), вводить внутренние системы обозначений и многое другое;

- поддержка элементов лямбда-счислений на базе так называемых лямбда-выражений, позволяющих описывать различные виды параметризации (для функциональных отношений, типов объектов и т.д.), задавать способы типобразования, связи формальных и фактических параметров различных по содержанию деклараций и т.п.;
- поддержка механизма обобщенной структуризации моделей знаний (на базе понятий «модуля» или «базы знаний») с выделением в КГ структурно обособленных предопределенных контекстов – «CatalogOfIndividuals» («каталог индивидуумов»), «TypeHierarchy» («иерархия типов концептов»), «RelationHierarchy» («иерархия типов отношений») и «Assertion» (компонент «утверждений») с заданной семантикой, что определяет возможность структурного разделения спецификаций типов и экземпляров, детализации описаний объектов в независимых внешних контекстах, установления сложных связей между типами и т.д.;
- поддержка развитых инструментов формирования типовых структур объектов и типов (множества, последовательности, перечисления и т.п.);
- поддержка применения процедурных компонентов КГ-моделей (на базе механизмов акторов, лямбда-выражений, специальных контекстов «If», «Then», «Either», «Or» и т.п., и других инструментов) как на уровне деклараций процедурных знаний, так и на уровне «исполнения» элементов КГ.

Представленные выше свойства КГ позволяют сделать выводы не только о потенциальных возможностях данного аппарата применительно к решению самых разнообразных и нетривиальных задач семантического поиска, но и о том, что реализация многих элементарных поисковых операций может быть сопряжена с появлением специфических (для выбранного класса моделей) сложностей, непосредственно связанных с необходимостью учета перечисленных особых свойств организации и спецификации (в принятой нотации CGIF) КГ-моделей знаний.

Разумеется, развернутое рассмотрение даже хоть сколь-нибудь представительного подмножества типовых задач поиска на моделях КГ общего вида в рамках настоящей статьи представляется технически невозможным. В связи с этим далее внимание будет уделено лишь исследованию весьма ограниченного набора «показательных» постановок задач «атомарного» уровня, позволяющих в упрощенном виде проиллюстрировать некоторые частные ситуации при решении поисковых задач, связанных с интерпретацией структурных конфигураций в КГ-моделях. При этом будет рассматриваться достаточно традиционная для класса КГ исходная обобщенная постановка задачи поиска, при которой и пространство, и предмет поиска описываются в виде независимых КГ в единой принятой нотации (в данном случае – нотации CGIF). Соответственно, общий подход к решению задачи заключается в поиске требуемых видов соответствий (разнообразных типов изоморфных вложений, пересечений, подобий и прочее) между КГ,

задающим искомый образец («КГ-запрос»), и КГ модели знаний о некоторой предметной области (КГ МЗПО).

Следует отметить, что в более общем случае КГ-запрос может представлять собой не только описание искомого предмета поиска, но и характеристику цели (или формы) поиска, т.е. сам КГ запроса может содержать подграфы «Искомый объект» и «Способ поиска». Однако, ввиду ограничения предметов исследования в настоящей статье, данная трактовка задачи поиска далее не рассматривается.

При таком условии можно полагать, что основными этапами решения для принятой выше постановки задачи в общем случае будут являться:

- 1) предварительный анализ фактуры КГ МЗПО;
- 2) формирование графа запроса;
- 3) генерация производных КГ-запросов;
- 4) обслуживание полного пространства КГ-запросов;
- 5) обработка частных результатов поиска;
- 6) формирование КГ-результата.

Далее основное внимание будет уделено 3-му и 4-му этапам.

III. ФОРМИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЕННЫХ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ СТРУКТУР КГ

Исходно следует отметить, что наличие в моделях КГ механизма вложения подграфов существенно упрощает реализацию общего процесса решения поисковых задач, т.к. локализации пространства поиска и конкретизации предметов поиска могут рассматриваться на структурном уровне как рекурсивные поисковые процедуры обработки КГ общего вида. Однако имеются и обратные стороны этого достоинства:

а) КГ могут содержать контексты с предопределенной семантикой, которые принципиально различны в плане построения процедур обработки. Кроме того, данные контексты в общем случае должны обслуживаться именно в их взаимосвязи, т.е. «синхронно» и/или «параллельно», что, в целом, противоречит рекурсивной природе поиска и требует вложенных запусков альтернативных рекурсивных процессов;

б) в стандартном представлении КГ остается открытым ряд вопросов, связанных с формальными ограничениями на порядок использования кореферентных ссылок. Исходя из принятого в стандартах определения, такие ссылки могут устанавливаться только в пределах одного контекста употребления. При этом, тем не менее, имеются средства преодоления данного ограничения различными способами (введение фиктивных вмещающих контекстов, применение тех или иных видов группировки концептов, манипуляции с каталогом индивидуумов и другие). Кроме того следует отметить, что рассматриваемое ограничение в практике реализации КГ-ориентированных систем представляется весьма обременительным, заметно снижает возможности описания сложных структур знаний и, пожалуй, не может считаться строго необходимым с точки зрения логических

интерпретаций, трансляции синтаксических конструкций прикладных нотаций в абстрактный синтаксис КГ и т.д. Однако в любой трактовке обслуживание кореферентных связей способно нарушить общий порядок навигации по КГ, реализуемый в поисковой процедуре.

Фокусируясь на описанных выше сложностях, а также на ранее принятой обобщенной постановке задачи поиска, рассмотрим ряд примеров расширенных интерпретаций примитивов КГ-нотаций для КГ-запросов и КГ МЗПО.

А. Поиск по сигнатурам «тип – экземпляр»

Данная постановка задачи поиска в простейшем случае сводится к поиску полностью определенного КГ-запроса, где для любого концепта известен его тип, а референт задан идентификатором. При этом базовая интерпретация структуры запроса при использовании CGIF предполагает выполнение следующих действий:

- распространение поиска на контексты, содержащие отрицание референтов, представленных в КГ-запросе;
- распространение поиска на случай упорядоченного перечисления дуг концептуальных отношений в графе запроса (например, при использовании акторов);
- распространение поиска на случаи использования в КГ МЗПО квантификаторов (например, @every) и типовых структур (множеств и последовательностей), содержащих квантификаторы вида «*» («все») и подобные (с анализом совпадений перечисляемых в этих конструкциях типов с заданными в КГ-запросе);
- расширение зоны поиска на контексты, связанные с уже найденными в КГ МЗПО «подходящими» концептами кореферентными связями (включая транзитивные).

Для расширенной интерпретации структур КГ может быть предложен (с ориентацией на CGIF-представление) следующий набор дополнительных поисковых процедур:

- расширение пространства поиска с дополнением КГ-запроса дубликатами концептов, а также формирование альтернативных графов запроса в целом (для обработки альтернатив отношений) с учетом результатов анализа иерархий типов концептов и типов отношений (в том числе – с возможностью определения как подтипов, так и супертипов);
- аналогичное предыдущему пункту расширение для случая прямого определения новых типов концептов и отношений на базе встречающихся в КГ МЗПО лямбда-выражений с соответствующей типизацией параметров;
- расширение множества альтернативных концептов в запросе путем поиска и обслуживания деклараций для нестандартных именованных индексов вида «#id», где id – идентификатор;

- формирование типизированных контекстов запроса для подстановки соответствующих подграфов из каталога индивидуумов (при поддержке поиска концептов либо по референту, либо по свойствам неизвестного референта).

Рассмотренная постановка задачи поиска и ее решение могут быть отнесены к числу элементарных примитивов, использование которых потенциально способно упростить процессы декомпозиции более представительных задач выбранного класса.

В. Поиск с неполностью определенными сигнатурами типов

Представленная постановка предполагает наличие в исходном КГ-запросе следующих вариантов задания типов концептов и отношений, а также связей между ними:

- на базе использования в КГ-запросе концептов (и их композиций), имеющих неопределенный тип;
- на базе лямбда-выражений, описывающих новые (производные) типы для элементов КГ-запроса;
- на базе использования стандартных для КГ видов структуризации (множеств, последовательностей, перечислений), применяемых к объектам и типам в КГ-запросе;
- на базе использования в КГ-запросе подмножества типов, отсутствующих в КГ МЗПО (при условии наличия пересечений пространств типов в двух графах);
- на базе задания альтернативных (по отношению к КГ МЗПО) иерархий типов в КГ-запросе;
- на базе задания альтернативного (по отношению к КГ МЗПО) каталога индивидуумов.

Допустимы также композиции перечисленных выше вариантов.

В первом случае задача сводима к постановке из III.A с учетом расширения шаблонов поиска на спецификации с заданными референтами и произвольными типами.

В последних трех случаях задача не имеет корректных интерпретаций, но оставляет возможность задания правил устранения структурных конфликтов в иерархиях типов концептов и отношений, а также в каталоге индивидуумов. В частности, подобные правила могут задаваться и в подграфах КГ-запроса.

Второй и третий варианты исследуемой постановки задачи могут быть формально сведены к использованию сценария решения, аналогичному III.A, для каждого из элементов пространства поиска, формируемого с учетом следующих дополнений к расширенной интерпретации:

- генерация развернутых описаний производных типов с построением или коррекцией иерархий типов в исходном КГ-запросе;
- поиск вложений заданных в запросе иерархий типов в КГ МЗПО с последующим переходом к альтернативным вариантам постановок задач из списка III.B или с выбором соответствующих процедур расширенной интерпретации из сценария III.A.

По аналогии с рассмотренными примерами могут быть построены сценарии расширенных интерпретаций и для целого класса других базовых версий постановки задачи поиска (например, поиски с транзитивным сопоставлением сигнатур типов, поиски на подобие схем контекстов и т.д.).

IV. Выводы

Краткий анализ отдельных аспектов использования расширенных интерпретаций структур КГ в некоторых типовых примитивах постановок задач семантического поиска, изложенный в настоящей статье, разумеется, не может считаться исчерпывающим даже для приведенных в разделе III частных упрощенных примеров решений. По сути дела, детализированное исследование каждого из подобных случаев (как и многих других, не затронутых в предложенном выше материале) заслуживает, вероятно, отдельного рассмотрения. Тем не менее, представляется, что описанные в статье проблемы могут быть интересны в постановочном плане, наряду с определениями некоторых базовых инструментов формирования интерпретаций КГ, которые могут оказаться полезными при практической реализации интеллектуальных систем и информационных технологий соответствующего функционального профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ISO/IEC 24707:2007 Information technology – Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages.
- [2] ISO/IEC 24707:2018 Information technology – Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages. International Organisation for Standardisation (Second Edition).
- [3] John F. Sowa. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA USA, 2000. 594 p.
- [4] Michel Chein, Marie-Laure Mugnier: Graph-based Knowledge Representation – Computational Foundations of Conceptual Graphs. Advanced Information and Knowledge Processing, Springer 2009, ISBN 978-1-84800-285-2, pp. 1-427.
- [5] Handbook of Knowledge Representation. Ed. by Frank van Harmelen, Vladimir Lifschitz, Bruce Porter. Elsevier, 2008. 1034 p.
- [6] Использование аппарата концептуальных графов в задачах представления и обработки знаний: учеб. пособие / С.В. Власенко, Д.А. Варчев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2009. 64 с.