

Модель контекста в системах интеллектуальной поддержки принятия решений *

Т. В. Левашова¹

В работе описывается подход, использующий модель контекста для организации интеллектуальной поддержки принятия решений. Контекст представлен в виде онтологической модели. В качестве средства формализации используется формализм объектно-ориентированных сетей ограничений. Данный формализм обеспечивает совместимость онтологической модели представления знаний проблемной области, модели объектно-ориентированных сетей ограничений и модели задачи удовлетворения ограничений. Описываемый в работе подход заключается в генерации контекста задачи, основанного на онтологии проблемной области, такого, что задача, моделируемая в данном контексте, может быть решена как задача удовлетворения ограничений. Предлагаемый подход иллюстрируется на задачах гуманитарной логистики.

Введение

Системы поддержки принятия решений направлены на обеспечение лица, принимающего решения (ЛПР), данными и моделями, на основании которых могут приниматься решения. В период широкого использования информационных технологий ЛПР сталкивается с необходимостью осмысления, обработки и оценки значительных объемов информации и знаний, накопленных в информационных ресурсах. Возникает потребность в интеллектуальной обработке информации и знаний. Происходит переход к системам интеллектуальной поддержки принятия решений (СИППР), использующих методы и средства (системы) искусственного интеллекта, базирующиеся на технологиях аналитической обработки данных. СИППР позволяют ЛПР решать задачи, которые требуют смысловой обработки больших объемов информации и знаний.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (проект № 2.35) и ОИТВС РАН (проект № 1.9).

¹ 199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, СПИИРАН, oleg@mail.iias.spb.su

СИППР являются более эффективными, если они способны обрабатывать динамическую информацию. В данной работе задача с динамически меняющимися значениями параметров представляется как ситуация.

Одним из средств искусственного интеллекта, которое позволяет представить модель ситуации в виде, удобном для ее понимания и оценки пользователем СИППР, является модель контекста. Контекстом называется любая информация, которая может быть использована, чтобы охарактеризовать ситуацию, в которой находится некоторый объект [Dey et al., 2001]. Применительно к СИППР в роли объекта может выступать ЛПР, место или объект реального мира, которые считаются релевантными для взаимодействия между ЛПР и СИППР. Сами ЛПР и СИППР также являются объектами, создающими ситуацию.

Использование модели контекста в прикладных программах позволяет, не влияя непосредственно на логический вывод, ограничиться только значимыми для данного контекста правилами / процедурами. В системах, основанных на знаниях, контекст позволяет избежать избыточности и оптимизировать извлечение знаний. В СИППР формализованный контекст быть интерпретирован системой с целью предоставления ЛПР помощи в текущей ситуации, выдвижения гипотез о возможных решениях и действиях, объяснения и отображения происходящих событий и т. п. [Brézillon, Cavalcanti, 1997]. Таким образом, с точки зрения СИППР, контекст позволяет более эффективно использовать ее вычислительные ресурсы; с точки зрения ЛПР, контекст предоставляет ему релевантную для текущей ситуации или задачи информацию [Motschnig-Pitrik, 2000]; [Dey, 2001].

Использование сетей ограничений и программирование в ограничениях делает возможным моделировать и специфицировать задачи с нечеткой или неполной информацией, решать комбинаторные задачи. Такие типы задач часто встречаются в промышленности и коммерции. К ним относятся задачи составления расписания, планирования, транспортировки, распределения ресурсов, проектирования, размещения и анализа [Frühwirth, Abdennadher, 2006].

Сеть ограничений, представленная четверкой множеств: множеством переменных, множеством соответствующих областей переменных (доменов переменных), множеством ограничений на переменные и множеством отношений над областями, является моделью задачи удовлетворения ограничений (задачи поиска допустимого решения). Решением задачи удовлетворения ограничений является набор значений переменных, удовлетворяющих ограничениям на переменные, такой, что при этом области, которым принадлежат эти значения, удовлетворяют отношениям над областями [Осипов, 2007].

Описываемый в работе подход заключается в генерации контекста задачи, основанного на онтологии проблемной области, такого, что задача, моделируемая в данном контексте, может быть решена как задача удовлетворения ограничений.

Онтология проблемной области

Онтологии получили широкое распространение как способ представления знаний при помощи логических высказываний об отношениях и связях, существующих между объектами реального мира. Они помещают знания на уровень, на котором эти знания становятся понятными всем объектам, участвующими во взаимодействии, и, соответственно, на котором возможен обмен знаниями между этими объектами. Онтологии создают концептуальную основу для компьютерной интеграции знаний [Виттих, 1999].

В рамках исследований, предлагаемых в данной работе, для представления знаний используется формализм объектно-ориентированных сетей ограничений (ООСО) [Смирнов и др., 2003. Выбор этого формализма обусловлен следующими причинами: формализм поддерживает объектно-ориентированную парадигму; формализм предоставляет возможности для моделирования знаний сложных проблемных областей; формализм является языком логики первого порядка с отношением равенства; формализм имеет декларативную семантику; задача, специфицированная средствами ООСО, может быть решена как задача удовлетворения ограничений.

В соответствии с формализмом ООСО онтология описывается множеством *классов*, множеством *атрибутов* данных классов, множеством *доменов* атрибутов и множеством *ограничений*. Множество ограничений включает в себя: 1) отношение (класс, атрибут, домен); 2) таксономические (быть экземпляром) и иерархические (быть частью) отношения между классами; 3) отношения совместимости классов; 4) ассоциативные отношения между классами; 5) ограничения на число классов в подмножестве классов; 6) функциональные ограничения, представленные функциями в нормальной форме.

Используемый формализм обеспечивает совместимость онтологической модели представления знаний проблемной области, модели ООСО и модели задачи удовлетворения ограничений (табл. 1).

Таблица 1

Совместимость моделей

Онтология	ООСО	Задача удовлетворения ограничений
Класс	Объект	Переменная
Атрибут	Переменная	
Домен атрибута (область допустимых значений атрибута)	Домен	Домен
Аксиомы и отношения	Ограничения	Ограничения

В данной работе знания проблемной области специфицируются при помощи прикладной онтологии. Данная онтология интегрирует в себе две составляющих знаний: знания предметной области и знания о задачах, существующих в данной области, и методах их решения. В прикладной онтологии установлены ссылки на источники информации, от которых поступают значения атрибутам классов. Для обеспечения совместимости между представлениями знаний и информации источники информации представлены онтологической моделью.

Контекст

В работе используются два типа контекста: абстрактный и оперативный. Абстрактный контекст представляет собой онтологическую модель задачи пользователя. Оперативный контекст является конкретизацией абстрактного контекста для реальных условий.

Абстрактный контекст

Основным предназначением абстрактного контекста является формализация задач, которые должны быть решены в конкретной ситуации. Абстрактный контекст получается в результате извлечения из прикладной онтологии знаний, релевантных конкретной ситуации, и их последующей интеграции.

Отправной точкой формирования абстрактного контекста является запрос пользователя к СИППР. По результатам грамматического разбора данного запроса составляется словарь запроса. Между совпадающими или близкими по смыслу словами из словаря запроса и словаря прикладной онтологии устанавливаются соответствия. Слова прикладной онтологии, для которых были найдены соответствия, образуют множество ключевых слов. Данное множество является входной переменной метода формирования срезов прикладной онтологии.

Метод формирования срезов направлен на извлечение из прикладной онтологии знаний, релевантных запросу. В качестве релевантных выбираются (1) знания, указанные в запросе (ключевые слова); (2) знания, формализующие задачи, явно указанные в ключевых словах, или, если в запросе явного указания на задачи нет, то задачи, логически связанные с ключевыми словами; (3) используемые при решении ранее перечисленных задач знания об объектах реального мира. Результатом работы метода является множество срезов прикладной онтологии.

Для метода формирования срезов прикладной онтологии определена следующая последовательность правил обработки данной онтологии:

- для классов прикладной онтологии, имена которых совпадают с ключевыми словами, определяются классы, находящиеся на верхнем уров-

не *таксономии*. В срез включаются (1) найденные классы (здесь и далее в срез включаются классы вместе с принадлежащими им атрибутами и доменами этих атрибутов), (2) классы, задающие наследуемые атрибуты для найденных классов, (3) классы нижнего уровня таксономии, наследующие данные атрибуты. Классы, принадлежащие различным таксономическим ветвям и не связанные никакими другими отношениями, кроме таксономических, включаются в разные срезы;

- для включенных в срезы классов, для которых в онтологии специфицированы *ограничения на число классов* в подмножестве классов, эти ограничения добавляются в таком виде, как они заданы в онтологии;
- к классам, включенным в срезы на основании таксономических отношений, добавляются *иерархические* отношения (быть частью) в таком виде, как они присутствуют в прикладной онтологии. Если в срезах присутствует только один из двух классов, связанных в прикладной онтологии иерархическим отношением, то недостающий класс также добавляется в срез. При добавлении иерархических отношений учитываются отношения совместимости классов и ограничения на число классов в подмножестве классов. В срезы добавляются только совместимые классы. Ограничения на число классов обрабатываются так же, как это описано в предыдущем пункте;
- правила обработки *ассоциативных* отношений повторяют правила обработки иерархических отношений, но при этом не учитываются отношения совместимости классов;
- в полученные срезы добавляются 1) *функциональные* отношения, в таком виде, как они специфицированы в прикладной онтологии, и 2) классы из прикладной онтологии, связанные с включенными в срез классами функциональными отношениями.

Знания, включенные в срезы прикладной онтологии, интегрируются в соответствии со следующими правилами:

- если в нескольких срезах есть одинаковые классы, то эти срезы интегрируются в один срез, при этом одинаковые классы объединяются в один класс;
- если у объединяемых классов различный или частично пересекающийся набор атрибутов, то эти наборы атрибутов объединяются;
- классы верхнего уровня срезов, как получившихся в результате интеграции, так и оставшихся не объединенными ни с одним из срезов, связываются таксономическим отношением с корневым классом «Thing»;
- ограничения, специфицированные в срезах, включаются в результирующий срез в таком виде, как они представлены в этих срезах.

Результатом интеграции срезов является абстрактный контекст.

Оперативный контекст

Оперативный контекст — это абстрактный контекст с конкретными значениями атрибутов. Эти значения присваиваются доменам атрибутов. Для конкретизации доменов атрибутов используются:

- значения, поступающие от источников информации. Если атрибут получает значения от нескольких источников информации, то эта информация интегрируется. Правила интеграции информации задаются при помощи функциональных отношений на этапе создания прикладной онтологии в момент установки ссылок на источники информации;
- результаты вычисления функциональных отношений, включенных в абстрактный контекст.

Предполагается, что часть задач, включенных в оперативный контекст, могут быть решены системой до того, как текущая ситуация передается ЛПР для принятия решения. Это задачи, не требующие участия ЛПР и не связанные с выбором (подтверждением) промежуточных решений. Примерами таких задач являются задача определения координат объекта на карте, задача установления является ли погода летной на основании характеристик погоды, получаемых от сенсоров, и т. п.

Для того чтобы было возможно решение таких задач, вначале собирается информация, получаемая от источников информации. Получаемые значения используются для конкретизации доменов атрибутов. Эти значения являются значениями параметров задачи. По мере конкретизации доменов решаются задачи, которые могут быть решены на основании полученной информации (задачи, у которых есть значения для всех входных переменных).

Так как знания проблемной области описаны средствами формализма ООСО, оперативный контекст в то же самое время представляет собой сеть ограничений со значениями переменных. Эта сеть интерпретируется СИППР как задача удовлетворения ограничений. Результатом ее решения является множество допустимых решений задачи, представленной в оперативном контексте. Визуальный вариант оперативного контекста вместе с множеством допустимых решений передаются на рассмотрение ЛПР. Окончательным решением считается решение, выбранное ЛПР из предложенного ему множества.

Пример: гуманитарная логистика

В качестве проблемной области, позволяющей продемонстрировать использование модели контекста в СИППР, выбрана «гуманитарная логистика». Задачи, решаемые в данной области, связаны с организацией и планированием процессов и систем, вовлекаемых в мобилизацию материаль-

ных ресурсов, а также людей с их навыками, умениями и знаниями с целью оказания помощи пострадавшим при природных катастрофах и техногенных авариях.

Прикладная онтология рассматриваемой проблемной области частично строилась на основании готовых онтологий, частично создавалась экспертами.

Составляющая прикладной онтологии, описывающая знания предметной области, была построена на основании интеграции знаний, найденных в библиотеках и на серверах онтологий, расположенных в сети Интернет. В качестве средства поиска онтологий использовалась поисковая машина Swoogle Semantic Web Search. Поиск онтологий осуществлялся по набору ключевых слов, сформированному экспертами. Найденные онтологии были импортированы в формализм OOSO и проинтегрированы в одну (макро-) онтологию предметной области.

Составляющая прикладной онтологии, посвященная формализации задач и методов их решения, создавалась экспертами. В рамках данной работы показан сформированный экспертами список задач, которые могут потребовать решения при ликвидации последствий катастрофы или аварии, вызвавшей пожар:

- определить количество медицинских и пожарных бригад в зависимости от типа катастрофы или аварии и числа пострадавших;
- определить возможность использования различных путей сообщения в зависимости от конкретных погодных условий;
- выбрать медицинские бригады для транспортировки пострадавших в больницы и средства транспортировки в зависимости от места текущего нахождения данных бригад и их готовности, от места нахождения и готовности больниц, от возможности использования путей сообщения;
- выбрать пожарные бригады для тушения пожара и средства их транспортировки в зависимости от места нахождения и готовности данных бригад и от возможности использования путей сообщения;
- сформировать план действий для выбранных медицинских и пожарных бригад.

Для задач, включенных в список, был построен пример иерархии задач для проблемной области «гуманитарная логистика». Иерархия строилась на основании анализа, какие выходные параметры каких задач являются входными параметрами для других, т. е. какие задачи можно рассматривать как подзадачи других задач.

Источники информации, на которые были установлены ссылки в прикладной онтологии: а) пользователь СИППР (диспетчер) для ввода данных о месте возникновения пожара и количестве пострадавших; б) сенсоры и Web-страницы для получения информации о текущих погодных условиях; в) геоинформационная система для получения местоположения пожара, бри-

гад, дорог в формате географических координат; г) база данных для получения информации о больницах, их специализации и адресах; д) база данных для получения информации о затопляемости дорог в регионе; е) административные системы больниц для получения информации о количестве свободных мест и готовности принять больных.



Рис. 1. Абстрактный контекст: таксономия

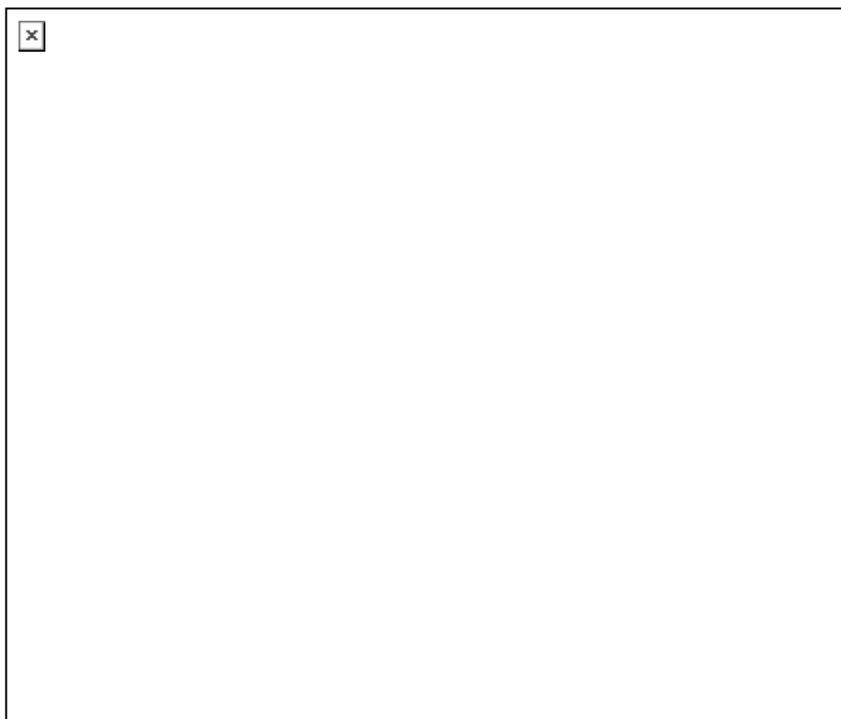


Рис. 2. Оперативный контекст: план действий медицинских и пожарных бригад

Классы прикладной онтологии, включенные в абстрактный контекст, который был получен для ключевого слова *пожар*, показаны на рис. 1.

На рис. 1 иерархия задач скрыта в классе «*Управление чрезвычайными ситуациями*».

На рис. 2 приведен вариант оперативного контекста, который был порожден на основании абстрактного и представлен ЛПР. Пунктирными линиями на рисунке показаны маршруты, по которым должно осуществляться движение медицинских и пожарных бригад. Первоначально данные маршруты не были показаны в оперативном контексте, он представлял только информацию, характеризующую пожар, и текущую информацию о местонахождении больниц, медицинских и пожарных бригад. Бригады были выбраны и маршруты их движения были сгенерированы СИППР как множество решений задачи удовлетворения ограничений. На рис. 2 показаны вариант, выбранный ЛПР из предложенного множества.

Заключение

Статья посвящена вопросам использования модели контекста в СИППР. Для представления контекста и источников информации используется онтологическая модель, формализованная в виде сети ограничений. Использование модели контекста позволяет эффективно использовать вычислительные ресурсы СИППР и подавать в нее информацию, релевантную для решаемых системой в данное время задач. Использование сети ограничений в качестве формальной модели представления информации и знаний позволяет решать эти задачи как задачи удовлетворения ограничений.

Предлагаемый подход был апробирован в СИППР, ориентированной на проблемную область «гуманитарная логистика». Для этой области был сформирован список типовых задач, которые могут потребовать решения при ликвидации последствий катастроф или аварий. Данные задачи были формализованы в рамках прикладной онтологии. Применение модели контекста в СИППР проиллюстрировано на примере оказания помощи пострадавшим при пожаре.

Литература

1. [Виттих, 1999] *Vuttikh B. A.* Концепция управления открытыми организационными системами // Изв. Самарского научного центра РАН. 1999. № 1. С. 55–76.
2. [Осипов, 2007] *Osipov G. S.* Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее [Электронный ресурс] // Новости искусственного интеллекта. 2001. Т. 43. № 1. <http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html>
3. [Смирнов и др., 2003] *Смирнов А. В., Пашкин М. П., Шилов Н. Г., Левашова Т. В.* Управление онтологиями // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. № 5. С. 89–101.
4. [Brézillon, Cavalcanti, 1997] *Brézillon P., Cavalcanti M.* Modeling and Using Context: Report on the first International and Interdisciplinary Conference CONTEXT-97 // The Knowledge Engineer Review, 1997. Vol. 12. № 4. P. 1–10.
5. [Dey et al., 2001] *Dey A.K., Salber D., Abowd G. D.* A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications // Context-Aware Computing. A Special Triple Issue of Human-Computer Interaction. Lawrence-Erlbaum, 2001. Vol. 16. № 2–4. P. 97–166.
6. [Dey, 2001] *Dey A.K.* Understanding and Using Context // Personal and Ubiquitous Computing Journal. 2001. Vol. 5. № 1. P. 4–7.
7. [Frühwirth, Abdennadher, 2006] *Frühwirth T., Abdennadher S.* Principles of constraint systems and constraint solvers // Archives of Control Sciences: Special Issue on Constraint Programming, 2006. Vol. 16. № 2. P. 131–160.
8. [Motschnig-Pitrik, 2000] *Motschnig-Pitrik R.* Contexts as Means to Decompose Information Bases and Represent Relativized Information [Electronic resource] // Proceedings of the CHI2000 Workshop on «The What, Who, Where, When, Why, and How of Context Awareness». The Hague. 2000. 1–6 April. <ftp://ftp.cc.gatech.edu/pub/gvu/tr/2000/00-18n.pdf>