



УДК 005

ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Н.Ф. Гусарова^а, В.В. Сысоева^а^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: natfed@list.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 07.06.17, принята к печати 19.06.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-711-718

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Гусарова Н.Ф., Сысоева В.В. Онтологическое моделирование слабоструктурированной предметной области с применением нечеткой логики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 4. С. 711–718. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-711-718

Аннотация

Рассмотрены проблемы построения и анализа слабоструктурированной предметной области с применением онтологической модели, а также исследуются проблемы нечеткого моделирования в рассматриваемой области. Сформированы основные классы и структурные связи предметной области, реализована онтология в редакторе Protégé путем иерархического построения сущностей. Приведены примеры описания онтологической модели с помощью языка OWL, описана технология обращения к элементам онтологии через язык запросов SPARQL. Проанализированы основные аспекты нечеткой логики, перечислены преимущества ее использования при построении онтологии, в том числе проведено построение функции принадлежности с помощью инструмента нечеткого моделирования – Fuzzy Logic Toolbox относительно рассматриваемого процесса. Сформирована система нечеткого вывода, которая позволила оценить степень принадлежности входных и выходных переменных рассматриваемому процессу. В качестве примера представлена онтология планирования работ по ремонту судна, а конкретно – подпроцесс согласования документов. Рассмотренная технология дает возможность проектировать и анализировать модели с разной степенью точности в условиях неопределенности.

Ключевые слова

онтология, онтологическая модель, функция принадлежности, OWL, SPARQL, нечеткая логика, нечеткий вывод, судоходство

ONTOLOGICAL MODELING OF SEMI-STRUCTURED SUBJECT DOMAIN WITH FUZZY LOGIC APPLICATION

N.F. Gusarova^а, V.V. Sysoeva^а^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: natfed@list.ru

Article info

Received 07.06.17, accepted 19.06.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-711-718

Article in Russian

For citation: Gusarova N.F., Sysoeva V.V. Ontological modeling of semi-structured subject domain with fuzzy logic application. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 711–718 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-711-718

Abstract

The paper deals with formation and analysis of the semi-structured subject domain with the use of ontological model and the study of fuzzy logic problems in this subject domain. The main classes and structural links of subject domain are formed, and ontology is realized in Protégé editor by hierarchical construction of entities. We give the examples of ontological model description by means of the OWL language and describe the access technology to ontology elements through the SPARQL queries language. Basic aspects of fuzzy logic are analyzed. Advantages of fuzzy logic application in ontology creation are listed including the membership function construction with the use of fuzzy modeling tool such as Fuzzy Logic Toolbox with respect to the process under consideration. We form fuzzy inference system that gives the possibility to estimate a degree of membership for input and output variables to the process under consideration. Ontology for planning a ship repairing process is presented as an example, particularly, sub-process of document coordination. Proposed technology makes it possible to develop and analyze models with varying degree of accuracy in conditions of uncertainty.

Keywords

ontology, ontological model, membership function, OWL, SPARQL, fuzzy logic, fuzzy inference, shipping

Введение

Существует достаточно много слабо структурированных предметных областей, которые, однако, имеют большой потенциал для формирования базы знаний, с помощью которой можно организовать эффективное управление ими. Для этого требуется не только интеграция знаний, но и правильная формализация, удовлетворяющая методам информационного поиска. Кроме того, для современных бизнес-процессов характерно быстрое изменение с учетом разнообразных факторов влияния – скорости выполнения, времени ожидания того или иного процесса, степени важности, изменений внешней среды и т.д. Это характерно для задач обработки и анализа информации, особенно той, которая воспринимается в нескольких контекстах одновременно, а также для условий жесткой конкуренции, где эффективное управление знаниями является надежным инструментом для качественного выявления, создания и распространения знаний с минимальными издержками и временем реакции на изменяющиеся условия бизнеса.

Признанным подходом для формализации знаний с целью их дальнейшей компьютерной обработки в рассмотренных условиях является построение онтологии. Онтология представляет собой базу знаний, которую можно самостоятельно использовать при рассмотрении определенной предметной области.

При построении различных моделей знаний, в том числе онтологических моделей, достаточно часто возникают проблемы с неточно заданными объектами. Традиционно для решения проблем с неопределенностью, касающейся принадлежности и непринадлежности объекта к тому или иному классу, используется нечеткая логика. При этом степень принадлежности объекта к определенному множеству (классу) оценивается с помощью специальной функции принадлежности, значения которой варьируются в интервале от 0 до 1 включительно. В естественных науках термин «неопределенность» означает «неизвестное значение истинности высказывания» [1]. Таким образом, нечеткая логика формализует неточности в моделях и позволяет количественно оценить степень их истинности.

Примером бизнес-процесса, где необходимо быстро обрабатывать большой объем данных, является процесс планирования работ по ремонту судна. Подготовка судов к ремонту – трудоемкая и нетривиальная задача для всех участников процесса. Правильная организация этого процесса способствует оптимизации затрат на судоремонт, повышению безопасности при техническом наблюдении за ремонтом судна, правильному планированию работ, своевременному обеспечению рабочего персонала ресурсами, а также качественному выполнению работ.

Как показывают смежные исследования, онтологии широко используются в разных сферах деятельности, в том числе и в судостроении [2, 3], но проблема управления неопределенностями знаний в них не рассматривается. В работе [2] авторы формируют когнитивную модель судостроения корпоративного типа в редакторе онтологий Protégé, а в статье [3] используется язык SPARQL для пополнения содержимого онтологий, результаты запросов которого представляются в виде RDF-графа. С другой стороны, опыт авторов по построению онтологий различных предметных областей [4, 5] показывает важность учета неопределенностей при проектировании моделей и их формализованном представлении. Например, в работе [4] рассматривается проблема онтологического подхода для хранения образовательного контента, который покрывает потребности преподавателей в университетах; в работе [5] представлена методика формирования онтологии инновационной предметной области «Мобильные облачные вычисления» для использования в системе управления обучением, основной каркас которой был построен по типовой модели онтолого-ориентированной интеграции знаний – полной интеграции.

Таким образом, в рамках статьи в качестве примера слабоструктурированной предметной области рассматривается процесс планирования работ по ремонту судна для построения онтологической модели с применением нечеткой логики.

Метод построения онтологии

Онтология как средство хранения информации обладает следующими преимуществами:

1. предоставляет пользователю обобщенное описание предметной области.
2. упрощает восприятие знаний о предметной области.
3. является расширяемой, что позволяет ее периодически дополнять при необходимости.

Для формирования онтологии исследуемого процесса в работе используется инструмент онтологического анализа Protégé [6].

При построении онтологической модели мы предполагали, что все элементы будущей онтологии в той или иной степени подвергаются концептуальной кластеризации, которая представляет собой технологию формального представления знаний, с помощью которой формируются кластеры объектов, выполняющих дальнейшую классификацию сущностей.

С другой стороны, подход нечеткой логики подразумевает, что объект может принадлежать к нескольким категориям иерархии одновременно с разной степенью точности. Аналитически данную технологию удобно представить в виде специальной функции принадлежности, которая определяет соответствие каждому элементу заданного множества действительное число из интервала [0, 1] [7].

Основные типы функции принадлежности:

1. Кусочно-линейные функции принадлежности (1), предназначенные для характеристики свойств «приблизительно равно», «среднее значение», «подобен объекту» и т.д.

$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (1)$$

где a, b, c – числовые параметры, упорядоченные отношением $a < b < c$.

2. Z-образные и S-образные функции принадлежности, график которых представлен в виде кривых и характеризующих свойства «малое количество», «небольшое значение», «незначительная величина» и т.д.

В инженерии знаний все неточности к настоящему времени классифицируются по следующим признакам [8]: неопределенность информации, недетерминированность процедур вывода решений, многозначность интерпретации, ненадежность данных, неполнота информации.

В работе [9] предлагается использовать метод нечеткого структурного анализа онтологий, основанный на процедуре получения нечеткой матрицы полудостижимости для дальнейшего внедрения онтологической системы.

Все перечисленные характеристики, которые позволяют описать неопределенность знаний, можно отнести к процессу планирования работ по ремонту судна, так как в данном процессе задействовано много объектов, которые достаточно тесно взаимосвязаны между собой, и потери логической непротиворечивости повлекут за собой неполноту и отсутствие формализации онтологической модели. При этом достаточно часто в основу алгоритмизации судовых процессов входят структурно-функциональные модели режимов объекта и логико-математические модели процессов управления, что при формировании онтологии влияет на динамическую базу знаний предметной области, которую необходимо постоянно совершенствовать и развивать.

Эксперимент

Как отмечалось в введении, проблема управления неопределенностью знаний остро стоит в различных сферах деятельности, в том числе в судостроении. В качестве конкретного предмета исследования был выбран процесс «Планирование работ по ремонту судна». Процесс разработки онтологии строился поэтапно в соответствии с рекомендациями [10]:

1. Определение области и масштаба онтологии:
 - 1.1 Область разрабатываемой онтологии – процесс планирования работ по ремонту судна.
 - 1.2 Область использования онтологии – приложения и справочники для наглядной формализации и сокращения времени выполнения бизнес-процесса.
 - 1.3 Масштаб онтологии: онтология включает информацию о лицах, ответственных за управление и контроль организации процесса, об их полномочиях (какие действия выполняются в данном процессе), а также соответствующую номенклатуру документов.
2. Перечисление важных терминов в онтологии – каркас онтологии состоит из 40 элементов.
3. Определение классов и их иерархии – формируем иерархию классов по принципу комбинированной разработки. Самыми обобщенными классами являются «Документ», «Сотрудник», «Подразделение» и «Организация».

На рис. 1 представлен фрагмент построенной онтологии класса «Организация», который включает в себя сущности «Судоходная компания» и «Судоремонтный завод», а основными свойствами являются связи «включает» и «руководит», которые формируют иерархическую структуру онтологии в виде направленного графа. Иерархия основных классов сформирована с помощью технологии OWLClasses в редакторе Protégé [11]. OWL (Web Ontology Language) является языком представления онтологий в Web [12], который представляет собой словарь, расширяющий набор терминов, определенных языком представления метаданных RDFS. Создание OWL-онтологий эффективно для составления базы знаний в Сети в едином формате, которая может содержать описания классов, свойств и их экземпляров [13].

Так как Protégé поддерживает использование языка OWL [14], это позволяет в дальнейшем генерировать HTML-документы, отображающие структуру онтологии в Сети. Наследование класса «Организация» описывается следующим способом:

```
<!-- Организация (обобщенный класс) -->
  <owl:Class rdf:ID="Organization"/>
  <!-- Судоходная компания (подкласс) -->
  <owl:Class rdf:ID="Shipping company">
```

```
<rdfs:subClassOf rdfs:Resource="#Shipping company"/>
</owl:Class rdf:ID="Shipping company"/>
```

В данном случае иерархия класса описывается через свойство RDFS «rdfs:subClassOf» (субъект является подклассом класса) и имя класса «rdfs:Resource» (класс-ресурс). Таким образом, в данном наследовании экстенционал одного класса полностью входит в экстенционал другого.

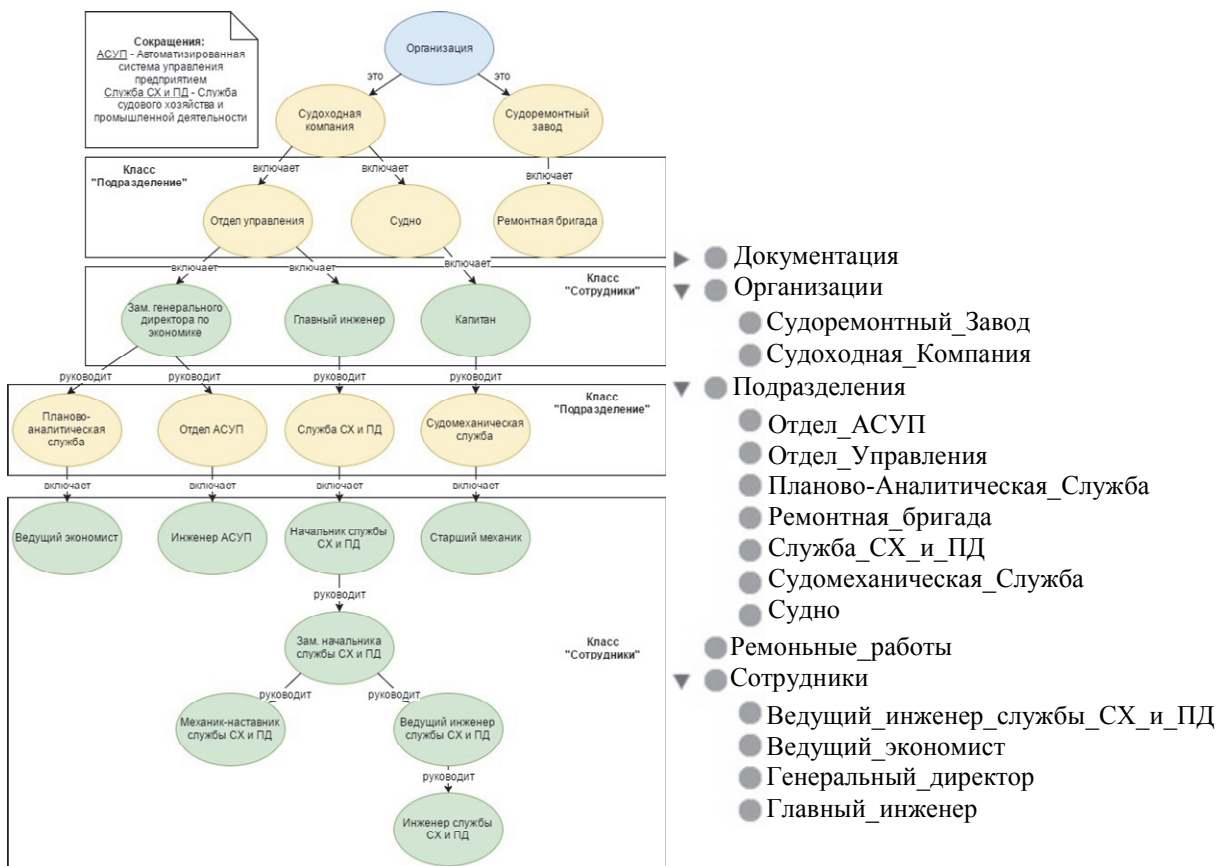


Рис. 1. Фрагмент онтологии класса «Организация»

Развитие онтологии

В процессе формирования онтологии предметной области «Планирование работ по ремонту судна» среди семантически близких по смыслу связей были выявлены «руководит», «контролирует» и «командирует», которые были объединены в обобщенное свойство «управляет». На рис. 2 представлена реализация одной из данных связей в онтологии.

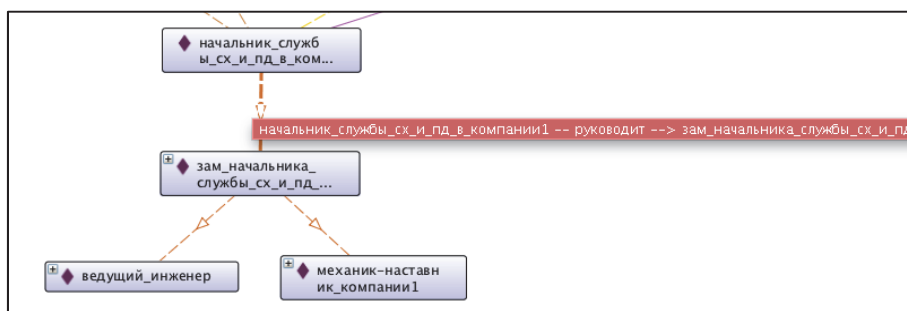


Рис. 2. Фрагмент схемы онтологии, иллюстрирующей реализацию свойства «руководит»

Связи «руководит» характеризует подчинение между сотрудниками, а «контролирует» и «командует» – это отношения между исходным экземпляром класса и текущим.

Так как не всегда возможно сгруппировать экземпляры класса по четким характеристикам, то для обобщения информации, а также решения проблем с ее неполнотой и неопределенностью в онтологиях целесообразно использовать нечеткие запросы. В работе нечеткие запросы формируются с помощью технологии SPARQL, которая поддерживается инструментом Protégé. SPARQL представляет собой язык за-

просов к данным онтологии RDF-хранилища и позволяет обрабатывать онтологии, наполнять их содержимым и выполнять к ним запросы.

Для проверки эффективности предлагаемого подхода используем известную методику онтологического инжиниринга, основанную на компетентностных вопросах¹. Как пример, используем следующие компетентностные вопросы для рассматриваемой предметной области – «Кто командует?», «Кто руководит?», «Кто контролирует?». С помощью запроса выведем все сущности свойства «управляет» (рис. 3).

Сотрудник	Управляемый_объект
:капитан_компании1	:крейсер_Аврора
:капитан_компании1	:судомеханическая_служба1
:зам_начальника_службы_сх_и_пд_компании1	:механик-наставник_компании1
:ген_директор_компании1	:судоходная_компания1
:начальник_службы_сх_и_пд_в_компании1	:зам_начальника_службы_сх_и_пд_компании1
:зам_ген_директора_по_экономике_в_компании1	:планово-аналитическая_служба_судоходной_компании1
:зам_начальника_службы_сх_и_пд_компании1	:ведущий_инженер
:ген_директор_завода1	:завод1
:ведущий_инженер	:инженер_службы_сх_и_пд_компании1
:начальник_службы_сх_и_пд_в_компании1	:ремонт_главного_двигателя
:начальник_службы_сх_и_пд_в_компании1	:замена_насоса

Рис. 3. Пример вывода данных в Protégé по запросу

Так как «управляет» является массивом из свойств «руководит», «командует» и «контролирует», то в запросе выводятся все сущности, связанные с одним из данных свойств:

SPARQL – запрос:

```
SELECT ?Сотрудник ?Управляемый_объект
```

```
WHERE {
```

```
    ?Сотрудник :командует | :руководит | :контролирует ?Управляемый_объект .
```

```
}
```

Таким образом, построенный SPARQL-запрос семантически аналогичен поставленному компетентностному вопросу и позволяет получить на него исчерпывающий ответ.

Построение системы нечеткого вывода

Применение нечеткой логики наиболее характерно для систем управления [15]. Управление процессом в неопределенных условиях осуществляется системой нечеткого вывода, которая предназначена для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукции. В связи с этим будем рассматривать каркас разработанной онтологии как объект управления, состояние которого будет анализироваться при заданных переменных и позволит достичь желаемого состояния объекта. Поставленная задача в работе решается с помощью пакета нечеткого моделирования Fuzzy Logic Toolbox инструмента анализа данных MATLAB.

Отличительными особенностями пакета Fuzzy Logic Toolbox являются возможность оперировать динамическими входными данными, значения которых невозможно задать однозначно, степенью достоверности значений входных и выходных данных и их распределениями, а также возможность нечеткой формализации критериев оценки. Как обосновано выше, все эти особенности актуальны для описания задач технического обслуживания и ремонта в судоходстве.

Система нечеткого вывода, схематически представленная на рис. 4, построена в соответствии с методикой [6] и состоит из следующих этапов:

1. Формирование базы правил – это правила нечеткого вывода.
2. Фаззификация входных переменных – это процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств на основе обычных исходных данных.
3. Агрегирование подусловий – это процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.
4. Активизация подзаклучений – это процедура нахождения степени истинности каждого из подзаклучений правил нечетких продукций.
5. Аккумуляирование заклочений – это процесс нахождения функции принадлежности для каждой из выходных переменных.

Сформируем систему нечеткого вывода согласования документов процесса планирования работ по ремонту судна [16]. В сформированной онтологии в обобщенный класс «Документ» входит сущность «Ремонтная ведомость».

Ремонтная ведомость – это документ, который включает в себя перечень необходимых работ по судоремонту, поэтому его правильное заполнение и согласование является очень важной для повышения качества работ, минимизации затрат на ремонт и повышения рентабельности судоходной компании.

¹ Nicola Guarino. Ontology quality, ontology design patterns, and competency questions // http://ontolog.cim3.net/file/work/OntologySummit2012/2012-02-23_Ontology-Quality-in-Big-Systems

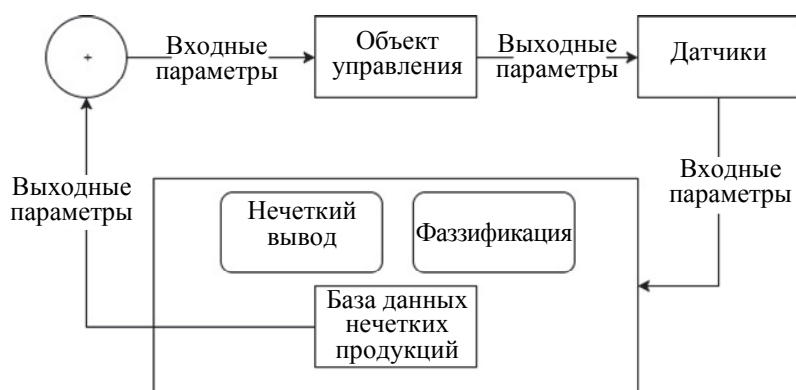


Рис. 4. Структурная схема процесса нечеткого вывода

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода определим две нечеткие переменные: «работы по судну» и «ремонтная ведомость», в качестве выходного параметра – «план работ сформирован», т.е. документ согласован и утвержден.

В MATLAB функция принадлежности задается с помощью специального редактора (рис. 5) в графическом режиме. Для процесса согласования документов сформируем кусочно-линейную функцию trimf (треугольная функция принадлежности). Для входных переменных будем использовать множество {«редактирование», «согласование», «утверждение»}, которое описывает статусы документа «Ремонтная ведомость» в процессе согласования. В качестве измерительных шкал используем процент заполнения документа: до 50% – на стадии «редактирование», до 90% – на стадии «согласование», до 100%: – на стадии «утверждение». Для выходной переменной используем множества {«старший механик», «механик-наставник», «главный инженер»}, которое включает сущности обобщенного класса «Сотрудники» сформированной онтологии.

Далее в редакторе правил задаем правила нечеткого вывода типа mamdani (с использованием операторов: ЕСЛИ → ТО) [17, 18], которые заключаются в следующем.

1. Старший механик формирует перечень работ по судну и заполняет ремонтную ведомость (процесс редактирования).
2. Механик-наставник дорабатывает документ (процесс согласования). Пример: если документ содержит меньше 50% запланируемых работ, то он возвращается на доработку старшему механику.
3. Главный инженер утверждает документ или также отправляет его на доработку.

Легко видеть, что в данном примере система отвечает на компетентный вопрос «К какой стадии согласования относится документ на текущий момент?».

Таким образом, система нечеткого вывода позволяет смоделировать экспертную модель, которая позволяет исследовать объект управления, в данном случае онтологию, в неопределенных состояниях при постоянно изменяющихся условиях.

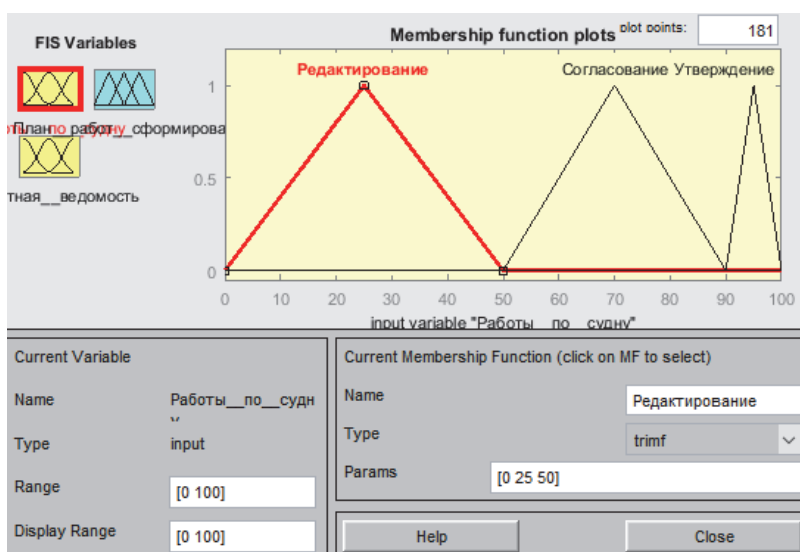


Рис. 5. Выходной интерфейс программы MATLAB с функцией принадлежности для входных переменных

Заключение

Процессы технического обслуживания и ремонта, к которым относится и процесс планирования работ по ремонту судна, оперируют большим количеством разнообразной информации, которую ежечасно необходимо поддерживать и оптимизировать. В данной работе мы формализовали предметную область с помощью построения онтологической модели, что позволило выделить общую структуру заданного процесса, абстрактно описать и реализовать сформированную модель в системе интеллектуальной поддержки (Protégé). Также была разработана система нечеткого вывода для онтологии, что дает возможность формализовать модель в условиях неопределенности.

Таким образом, нечеткая логика позволяет системам работать в диапазоне различных степеней истинности. Так как реальную предметную область достаточно трудно формализовать с предельной точностью, нечеткая логика формирует приблизительные значения и упрощает сложность модели, что имеет огромное значение при построении систем, в том числе онтологических моделей.

Литература

1. Рыбин В.В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики. М.: МАИ, 2007. 96 с.
2. Park J.-H., Kim K.-H., Bae J.-H.J. Analysis of shipbuilding fabrication process with enterprise ontology // *Computers in Human Behavior*. 2011. V. 27. N 5. P. 1519–1526. doi: 10.1016/j.chb.2010.10.021
3. Козырев И.В. Применение онтологий в задачах эксплуатации кораблей // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 16–21.
4. Vatian A., Gusarova N., Artemova G., Dobrenko N. An ontology approach to storing educational information // *Proc. Int. FRUCT Conference on Intelligence, Social Media and Web (ISMW FRUCT)*. St. Petersburg, 2016. Art. 7584772. doi: 10.1109/FRUCT.2016.7584772
5. Береснев А.Д., Гусарова Н.Ф., Сысоева В.В. Формирование онтологии инновационной предметной области для использования в системе управления обучением // Дистанционное и виртуальное обучение. 2016. № 8(110). С. 89–102.
6. Сосинская С.С. Представление знаний в информационной системе. Методы искусственного интеллекта и представления знаний. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 215 с.
7. Курзаева Л.В. Нечеткая логика и нейронные сети в задачах управления социально-экономическими системами и процессами. Магнитогорск: МаГТУ им. Г.И. Носова, 2016. 113 с.
8. Громов Ю.Ю., Алексеев В.В., Иванова О.Г., Ивановский М.А., Мартемьянов Ю.Ф., Однолько В.Г. Неформальные модели представления знаний. Тамбов: Нобелистика, 2012. 93 с.
9. Морозова О.И., Соколов А.Ю., Хуссейн В.М. Метод нечеткого структурного анализа онтологий // *Системы обработки информации* 2010. № 5. С. 104–107.
10. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань, 2016. 324 с.
11. Giorgos Stoilos, Tassos Venetis, Giorgos Stamou, A fuzzy extension to the OWL 2 RL ontology language // *Computer Journal*. 2015. V. 58. N 11. P. 2956–2971. doi: 10.1093/comjnl/bxv028
12. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. М.: БИНОМ, 2009. 173 с.
13. Gegov A. Complexity management in fuzzy systems: a rule base compression approach // *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*. 2008. V. 5. N 1. P. 55. doi: 10.3233/his-2008-5105
14. Bobillo F., Straccia U. Representing fuzzy ontology in OWL 2 // *Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence*. Barcelona, Spain, 2010. doi: 10.1109/FUZZY.2010.5584661
15. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК Пресс, 2011. 312 с.
16. Кондратьев С.И. Методы автоматического управления судами. СПб.: СПбГПУ, 2002.
17. Nilavu D., Sivakumar R. Knowledge representation using type-2 fuzzy rough ontologies in ontology web language // *Fuzzy Information and Engineering*. 2015. V. 7. N 1. doi: 10.1016/j.fiae.2015.03.006
18. Straccia U. A fuzzy description logic for the semantic web / In: *Capturing Intelligence*. 2006. V. 1. P. 73–90. doi:

References

1. Rybin V.V. *Fundamentals of the Theory of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*. Moscow, MAI Publ., 2007, 96 p. (In Russian)
2. Park J.-H., Kim K.-H., Bae J.-H.J. Analysis of shipbuilding fabrication process with enterprise ontology. *Computers in Human Behavior*, 2011, vol. 27, no. 5, pp. 1519–1526. doi: 10.1016/j.chb.2010.10.021
3. Kozyrev I.V. Using ontologies in ships operation tasks. *Software & Systems*, 2013, no. 2, pp. 16–21. (In Russian)
4. Vatian A., Gusarova N., Artemova G., Dobrenko N. An ontology approach to storing educational information. *Proc. Int. FRUCT Conference on Intelligence, Social Media and Web, ISMW FRUCT*. St. Petersburg, 2016, art. 7584772. doi: 10.1109/FRUCT.2016.7584772
5. Beresnev A.D., Gusarova N.F., Sysoeva V.V. Formation of ontology of innovative subject domain for use in learning management systems. *Distance and Virtual Learning*, 2016, no. 8, pp. 89–102. (In Russian)
6. Sosinskaya S.S. *Representation of Knowledge in the Information System. Methods of Artificial Intelligence and Knowledge Representation*. Staryi Oskol, TNT Publ., 2011, 215 p. (In Russian)
7. Kurzaeva L.V. *Fuzzy Logic and Neural Networks in the Tasks of Managing Socio-Economic Systems and Processes*. Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2016, 113 p. (In Russian)
8. Gromov Yu.Yu., Alekseev V.V., Ivanova O.G., Ivanovskii M.A., Martem'yanov Yu.F., Odnol'ko V.G. *Informal Models of Knowledge Representation*. Tambov, Nobelistika Publ., 2012, 93 p. (In Russian)
9. Morozova O.I., Sokolov A.Yu., Khussein V.M. Method of fuzzy structural analysis of ontologies. *Sistemy Obrabotki Informatsii*, 2010, no. 5, pp. 104–107. (In Russian)
10. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. *Knowledge Engineering. Models and Methods*. St. Petersburg, Lan' Publ., 2016, 324 p. (In Russian)
11. Giorgos Stoilos, Tassos Venetis, Giorgos Stamou, A fuzzy extension to the OWL 2 RL ontology language. *Computer Journal*, 2015, vol. 58, no. 11, pp. 2956–2971. doi: 10.1093/comjnl/bxv028
12. Dobrov B.V., Ivanov V.V., Lukashevich N.V., Solov'ev V.D. *Ontologies and Thesauruses: Models, Tools, Applications*. Moscow, Binom Publ., 2009, 173 p. (In Russian)
13. Gegov A. Complexity management in fuzzy systems: a rule base compression approach. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 2008, vol. 5, no. 1, pp. 55. doi: 10.3233/his-2008-5105
14. Bobillo F., Straccia U. Representing fuzzy ontology in OWL 2. *Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence*. Barcelona, Spain, 2010. doi: 10.1109/FUZZY.2010.5584661
15. Jones T.M. *AI Application Programming*. Charles River Media, 2005, 473 p.
16. Kondrat'ev S.I. *Methods of Automatic Control of Ships*. St. Petersburg, SPbSPU Publ., 2002. (In Russian)
17. Nilavu D., Sivakumar R. Knowledge representation using type-2 fuzzy rough ontologies in ontology web language. *Fuzzy Information and Engineering*, 2015, vol. 7, no. 1. doi: 10.1016/j.fiae.2015.03.006
18. Straccia U. A fuzzy description logic for the semantic web. In:

10.1016/S1574-9576(06)80006-7

Capturing Intelligence, 2006, vol. 1, pp. 73–90. doi:
10.1016/S1574-9576(06)80006-7

Авторы

Гусарова Наталия Федоровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, natfed@list.ru

Сысова Валерия Валерьевна – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, keiraharvi@mail.ru

Authors

Natalia F. Gusarova – PhD, Senior scientific researcher, Associated Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, natfed@list.ru

Valeria V. Sysoeva – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, keiraharvi@mail.ru