

УДК 004.82

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ИНТЕГРАЦИИ НЕЧЁТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И НЕЧЁТКИХ ОНТОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Г. Ярушкина¹, В.С. Мошкин², Г.Р. Ишмуратова³, И.А. Андреев⁴, И.А. Мошкина⁵

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

¹jng@ulstu.ru, ²v.moshkin@ulstu.ru, ³geliya94@mail.ru, ⁴ares-ilya@yandex.ru, ⁵i.timina@ulstu.ru

Аннотация

В работе исследована методика построения нечётких онтологий, а также разработана онтологическая модель оценки состояния вертолётных агрегатов. В статье приведено формальное описание нечётких онтологий и особенностей представления элементов нечётких аксиом в нотации FuzzyOWL. Согласно предложенному подходу, резюмирование состояния сложной технической системы осуществляется посредством логического вывода на базе нечёткой онтологии, объекты, свойства и аксиомы которой определяют параметры функций принадлежности и лингвистические переменные объектов анализа, представленных в виде временных рядов. Разработан программный продукт, обеспечивающий реализацию предложенного подхода. Проведены эксперименты по поиску аномальных ситуаций и поиску возможных неисправных вертолётных агрегатов с использованием разработанного подхода к интеграции нечётких временных рядов и нечёткой онтологии. Впервые получены результаты логического вывода знаний на основе интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий в задачах анализа диагностики сложных технических систем. Предложенный подход интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий позволил достоверно распознать аномальные ситуации и найти возможные неисправные агрегаты, соответствующие каждой аномальной ситуации.

Ключевые слова: нечёткие временные ряды, нечёткая онтология, Fuzzy OWL, резюмирование

Цитирование: Ярушкина, Н.Г. Применение способа интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий в задачах диагностики технических систем / Н.Г. Ярушкина, В.С. Мошкин, Г.Р. Ишмуратова, И.А. Андреев, И.А. Мошкина // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.594-604. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-594-604.

Введение

Неопределённость и неполнота информации – неотъемлемая часть сложных организационно-технических систем, в которых качество функционирования процессов зависит от человека. При анализе, моделировании и проектировании таких систем большое распространение получили экспертные системы, которые используют оценки, основанные на опыте и знаниях эксперта.

Экспертные оценки – это лингвистическая форма какого-либо качественного аспекта оцениваемого элемента системы или самой системы.

Методология логического вывода экспертных оценок на базе предметных онтологий, играющих роль базы знаний в системах поддержки принятия решений (СППР), применяется в различных предметных областях (ПрО), в том числе в области ситуационного управления в энергетике [1], при проектировании сложных диагностических систем [2] и др. Также онтологии нашли применение в качестве базы знаний интеллектуальных систем предупреждения рискованных ситуаций в условиях разнородной информации для этапа проектирования сложных технических систем критической инфраструктуры [3].

Несмотря на широту применения, классические языки онтологии и семантических сетей, которые обычно используются для резюмирования и характеристики особенностей ПрО, не могут быть использованы при раскрытии неопределённости и неточности в знаниях, присущих большинству приложений реального мира в рассматриваемой области.

Нечёткая теория множеств, также как и нечёткая логика – формализмы, подходящие для обработки неполных знаний. Одно из самых эффективных решений представления базы знаний в контексте учёта нечёткости и неопределённости в человеческих рассуждениях и оценках в СППР – представление в виде нечётких онтологий. Так, нечёткие онтологии применяются в таких системах, как: системы диагностики заболеваний [4], нечёткие поисковые системы [5], системы знаний, основанные на групповом принятии решений о важности данных [6] и др. В большинстве случаев такие системы оперируют фактами, объектами или терминами, которые описаны естественным языком и содержат особенности рассматриваемой ПрО.

Нечёткие временные ряды (НВР) – это способ получения экспертных оценок, удовлетворяющих условиям полноты, непротиворечивости и адекватности [7]. Одной из основных областей приложений НВР является диагностика процессов. Диагностикой называется процесс, при котором происходит поиск проблем в системе: дефектов, аномалий, неисправностей. При решении задач диагностики сложных технических систем, состояние которых определяется набором данных в виде НВР, целесообразно применять методы сравнения динамики процессов с ожидаемой или требуемой динамикой.

В связи с этим, актуальной задачей, требующей системного решения, является интерпретация полученных результатов анализа в виде экспертных оценок. Для резюмирования результатов, полученных при анализе НВР обычно применяется система правил, которые хранятся в базе знаний экспертной системы. Базой знаний при решении данной задачи выступают онтологии и подобные им графовые формы представления и хранения знаний, которые позволяют учитывать семантические особенности объекта указанной ПрО, а не только их логический вывод [8, 9].

Интерпретирование извлеченных сопоставлений в виде экспертных оценок, значения которых представлены в виде смысловых единиц, которые соответствуют некоторым классам нечёткой онтологии, учитывающих отклонения между текущим и требуемым НВР, могут быть получены при решении задачи интеграции НВР и нечёткой онтологии. Целью данной работы является разработка алгоритмов и моделей интеграции нечётких онтологий и НВР в задачах диагностики сложных технических систем.

1 Нечёткие временные ряды и модель нечёткой онтологии

Модели, а также алгоритмы анализа и прогнозирования НВР подробно описаны в работах [10, 11]. Базовой нотацией представления нечёткой онтологии является стандарт FuzzyOWL [12-14]. В общем виде любая FuzzyOWL-онтология может быть представлена следующим образом:

$$(1) \quad I = (I_f, C_f, P_f, A_f, D_f, Q_f, L_f, Mod_f),$$

где

- I_f – множество объектов классов онтологии;
- C_f – множество нечётких классов онтологии:

$$(2) \quad C_f = \{C_f^A, C_f^C\},$$

где C_f^A – множество абстрактных классов, C_f^C – множество конкретных классов онтологии.

- P_f – множество свойств объектов:

$$(3) \quad P_f = \{P_f^A, P_f^C\},$$

где P_f^A множество конкретных свойств, т.е. свойств объектов (ObjectProperty), P_f^C - множество абстрактных свойств, т.е. свойств типа данных (DatatypeProperty).

▪ D_f — множество аксиом онтологии:

$$(4) \quad D_f = \{A_f^{ABox}, A_f^{TBox}, A_f^{RBox}\},$$

где A_f^{ABox} — множество утверждений об индивидах, A_f^{TBox} — множество терминологических аксиом, A_f^{RBox} - множество аксиом отношений (иерархия отношений). Часть аксиом может быть подклассом множества нечётких аксиом, которые предполагают истинность утверждения с определённой степенью.

▪ O_f — множество значений степеней, которые могут быть добавлены к объекту нечёткой аксиомы:

$$(5) \quad O_f = \{LD_f, MD_f, ND_f, Var_f\},$$

где LD_f — множество лингвистических переменных, MD_f — множество степеней модификации, ND_f — множество численных значений степеней, Var_f — множество переменных.

▪ L_f — множество операторов нечётких логик соответствующих типов:

$$(6) \quad L_f = \{L_f^{Luk}, L_f^{Zad}, L_f^{Goed}, L_f^{Prod}\},$$

где L_f^{Luk} - множество операторов логики Лукасевича, L_f^{Zad} - множество операторов логики Заде, L_f^{Goed} - множество операторов логики Геделя, L_f^{Prod} — множество операторов продукционной логики. Определяются с помощью встроенного отношения *hasSemantics*.

▪ Mod_f — множество «нечётких модификаторов», т.е. функций модификации функций принадлежности, нечётких классов и нечётких отношений. Функции могут быть линейными или треугольными [15]. В таблице 1 приведены элементы нечётких аксиом FuzzyOWL, а также их возможное представление.

Таблица 1 - Элементы нечётких аксиом в FuzzyOWL

№	Элемент	Возможные значения	Представление в FuzzyOWL
1	LD_f — множество лингвистических значений степеней	«рост», «спад», «высокий», «низкий»	<AnnotationAssertion> <AnnotationProperty IRI="#fuzzyLabel"/> <IRI#ВысокаяНагрузка</IRI> <Literal datatypeIRI="&rdof;PlainLiteral">fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"; Datatype type="rightshoulder"; a="15.0"; b="30.0"/>/fuzzyOwl2</Literal> </AnnotationAssertion>
2	MD_f — множество степеней модификации	«очень», «быстрый», «медленный»	type="modified" modifier="очень"
3	ND_f — множество численных значений степеней	$0 \leq ND \leq 1$	Degree Value=0,6
4	Var_f — множество переменных	a, b, c, k1, k2	b="30.0";
5	L_f — множество операторов нечётких логик соответствующих типов	Zadeh, Lukasiewicz Goedel and Product	hasSemantics="Zadeh"
6	Mod_f — множество нечётких модификаторов	Linear, Triangular	<Datatype type="triangular" a="32.0" b="41.0" c="50.0" />

2 Предметная область

Рассмотрим применение подхода интеграции НВР и нечётких онтологий при решении задачи диагностики состояния вертолёта. Диагностика вертолёта заключается в проверке его агрегатов с целью установления их исправности и возможности эксплуатации вертолёта в целом. Результатом проведения диагностики будет оценка значений ключевых показателей физических величин. Основная цель – оценить опасность значений. Для решения этой задачи необходимо построить модели поведения выбранных узлов и с помощью моделей делать заключения об исправности узлов. Модели построены в виде экспертной базы суждений о поведении того или иного компонента. Для построения НВР были определены параметры функций принадлежности (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Параметры функции принадлежности

Физический параметр	Границы диапазона	Опасно мало	Мало	Норма	Велико	Опасно велико
Температура выхлопных газов двигателя, °С	0-1000	a<100 b=200 c=200,5	a=100 b=275 c=350,5	a=350 b=560 c=600,5	a=600 b=700 c=720,5	a=720 b=800 c>1000
Температура масла в двигателе, °С	0-150	a<0 b=5 c=10,5	a=10 b=15 c=20,5	a=20 b=30 c=60,5	a=80 b=100 c=120,5	a=120 b=135 c>150
Давление масла в двигателе, кгс/см ²	0-20	a<0 b=1 c=2,05	a=2,0 b=3,5 c=5,05	a=5,00 b=8 c=10,5	a=10 b=12 c=15,5	a=15,2 b=17,5 c>20
Температура масла главного редуктора, °С	0-100	a<0 b=5 c=10,5	a=10 b=15 c=20,5	a=20 b=35 c=50,5	a=50 b=70 c=80,5	a=80 b=90 c>100
Давление масла главного редуктора, кгс/см ²	0-8	a<0 b=1 c=2,05	a=2,0 b=2,5 c=3,5	a=3,45 b=4 c=4,55	a=4,50 b=5 c=7,55	a=7,5 b=7,8 c>8

Таким образом, для каждой физической величины определено по 5 нечётких меток. Задача анализа технических рядов сводится к задаче поиска аномальных ситуаций в ВР показателей физических величин главного редуктора (ГР) и силовой установки (СУ) двигателя. Анализ представляет собой последовательность следующих шагов:

- 1) формирование НВР на основе полученной информации о значениях ключевых физических величин после полёта вертолёта;
- 2) поиск известных аномальных ситуаций в полученных НВР;
- 3) определение корректности работы узлов. Работа будет считаться некорректной в случае обнаружения хотя бы одной аномальной ситуации.

Для проведения экспериментов была разработана нечёткая онтология. Разработанная FuzzyOWL-онтология имеет иерархическую структуру и включает в себя 55 классов, 8 объектных свойств, 40 типов данных. В ходе выполнения работы были выделены следующие свойства объектов, представленные в таблице 3 (ДМ-давление масла, ГР - главный редуктор, ТВГ – температура выхлопных газов, ТМ-температура масла).

Пример объявления свойства «имеетДМГР»

```
<SubObjectPropertyOf>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <ObjectProperty IRI="owl:topObjectProperty"/>
</SubObjectPropertyOf>
<ObjectPropertyDomain>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <Class IRI="#ГлавныйРедуктор"/>
```

```

</ObjectPropertyDomain>
<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <Class IRI="#ДавлениеМаслаГР"/>
</ObjectPropertyRange>

```

Таблица 3 - Свойства объектов

Свойство	Домен	Диапазон
имеет ДМ ГР	ГР	ДМ ГР
имеет ДМ левого двигателя	СУ двигателя	ДМ СУ двигателя
имеет ДМ правого двигателя	СУ двигателя	ДМ СУ двигателя
имеет ТВГ левого двигателя	СУ двигателя	ТВГ СУ двигателя
имеет ТВГ правого двигателя	СУ двигателя	ТВГ СУ двигателя
имеет ТМ ГР	ГР	ТМ ГР
имеет ТМ левого двигателя	СУ двигателя	ТМ СУ двигателя
имеет ТМ правого двигателя	СУ двигателя	ТМ СУ двигателя

Помимо этого, было выделено 40 типов данных: по 5 нечётких меток, на 8 вариантов отношений. Параметры типов данных соответствуют параметрам функции принадлежности. Тип функции принадлежности во всех типах данных был выбран треугольный.

Пример объявления типа данных в нотации FuzzyOWL:

```

<AnnotationAssertion>
<AnnotationProperty IRI="#fuzzyLabel"/>
<IRI#ВеликоДМГР</IRI>
  <Literal datatypeIRI="&rdf;PlainLiteral">
    <fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype">
      <Datatype type="triangular" a="4.50" b="5" c="7.5" />
    </fuzzyOwl2>
  </Literal>
</AnnotationAssertion>

```

В качестве объекта экспериментов были исследованы временные ряды для диагностики вертолётных агрегатов и нечёткая онтология конструкции вертолётных агрегатов. В процессе проведения данных экспериментов были использованы алгоритмы интеграции НВР и нечётких онтологий.

3 Эксперименты

Для проверки адекватности алгоритма интеграции НВР и нечёткой онтологии на основе FuzzyOWL, а также корректности работы программного продукта, реализующего данный алгоритм, был проведён ряд экспериментов, в рамках которых были возможные проблемные ситуации. В рамках эксперимента были проведены следующие действия:

Экспертом была разработана нечёткая онтология по стандарту FuzzyOWL. Для построения нечёткой онтологии был использован редактор Protégé [16] с подключённым плагином FuzzyOWL Plugin [17]. Фрагмент онтологии представлен на рисунке 1.

Типы данных в нечёткой онтологии FuzzyOWL содержат параметры функций принадлежности, а также привязку к конкретному классу онтологии (Таблица 4).

Задача проведённых экспериментов - это поиск возможных неисправных агрегатов вертолёта. Анализ представляет последовательность следующих шагов:

- 1) формирование НВР на основе полученной информации о значениях ключевых физических величин после прогона машины;
- 2) поиск неисправных агрегатов вертолёта в полученных ВР;
- 3) определение неисправных вертолётных агрегатов.

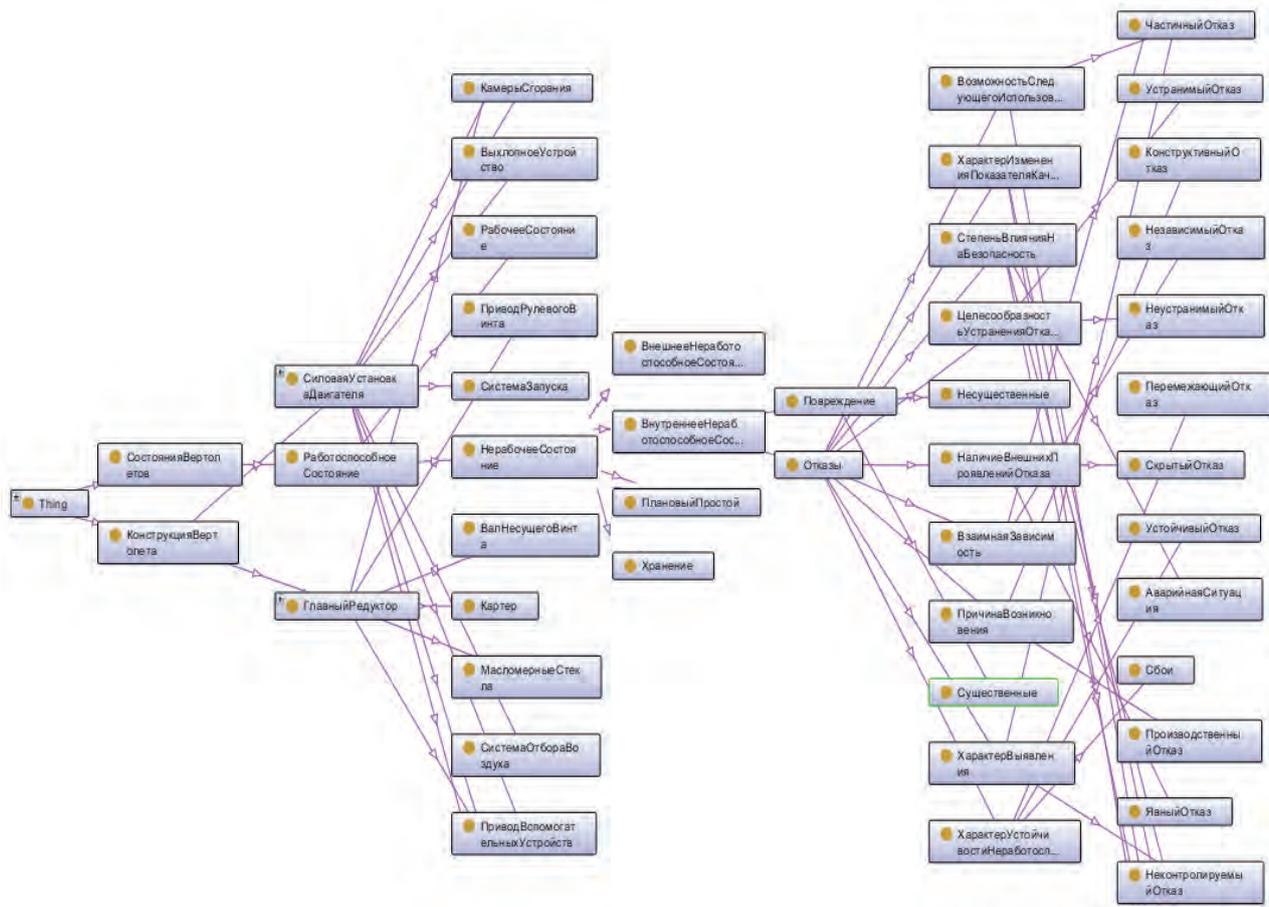


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии анализа диагностики основных агрегатов вертолета

Таблица 4 - Таблица описания типов данных

Тип данных	Тип функции принадлежности	Связанный класс	a	b	c
ОпасноМалоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	100	200	200,5
МалоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	200	275	350,5
НормаТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	350	560	600,5
ВеликоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	600	700	720,5
ОпасноВеликоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	720	800	1000
ОпасноМалоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	0	1	2,05
МалоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	2,0	2,5	3,5
НормаДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	3,45	4	4,55
ВеликоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	4,5	5	7,55
ОпасноВеликоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	7,5	7,8	8

Вертолётный агрегат будет считаться неисправным в случае обнаружения хотя бы одной аномальной ситуации для физической величины, привязанной к конкретному классу онтологии, соответствующему данному неисправному агрегату.

Эффективность алгоритма диагностики технических систем может быть оценена при решении задачи моделирования поведения вертолётных агрегатов. Система должна правильно выявлять возможные неисправные вертолётные агрегаты. Для подтверждения эффективности необходимо проанализировать данные, характеризующие машины, как без дефектов, так и с возможными дефектами, после чего проанализировать информацию о не-

исправных агрегатах, полученную системой и полученную от эксперта. Для эксперимента были получены данные о прогоне трёх машин, сгенерированы данные, моделирующие те или иные аномальные ситуации. Описание рядов приведено в таблице 5.

Таблица 5 - Описание временных рядов

№ ряда	№ борта	Период	TvG1	TvG2	Pm1	Pm2	Pmp	Tm1	Tm2	Tmp
1	210111	15.09.2010	739,59	258,85	2,3	0,8	0	58,1	59,2	29,3
2	210111	16.09.2010	757,29	256,93	2,4	0,8	0	57,1	59	29,3
3	210111	30.09.2010	503	227,78	7,4	0,8	1,8	47,5	51,3	29
4	210111	12.04.2012	536,85	520,93	7,6	6,6	4	53,9	56,5	35
5	240111	11.09.2014	176,43	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3
6	240111	12.09.2014	176,57	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3
7	240111	13.11.2016	483	448,85	6,4	5,6	3,4	49,5	51,9	23,5
8	240111	11.08.2017	479,13	0	6,4	5,4	3,3	51,6	55,1	29
9	250111	22.01.2016	189,72	206,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5
10	250111	23.01.2016	193,3	209,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5

Приняты следующие обозначения: TvG1- температура выхлопных газов левого двигателя, TvG2- температура выхлопных газов правого двигателя, Pm1 – давление масла левого двигателя, Pm2 – давление масла правого двигателя, Tm1 – температура масла левого двигателя, Tm2 – температура масла правого двигателя, Pmp – давление масла ГР, Tmp – температура масла ГР. Были проведены эксперименты с десятью рядами, результаты которых приведены в таблице 6. Как видно из результатов экспериментов, построение нечёткой онтологии НВР позволило сделать вывод о неисправности агрегата вертолёта при анализе чётких значений показателей агрегатов.

Таблица 6 - Результаты экспериментов

№ борта	Период	TvG1	TvG2	Pm1	Pm2	Pmp	Tm1	Tm2	Tmp	Неисправный агрегат
210111	15.09.2010	739,59	258,85	2,3	0,8	0	58,1	59,2	29,3	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	16.09.2010	757,29	256,93	2,4	0,8	0	57,1	59	29,3	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	30.09.2010	503	227,78	7,4	0,8	1,8	47,5	51,3	29	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	12.04.2012	536,85	520,93	7,6	6,6	4	53,9	56,5	35	Неисправных агрегатов нет
240111	11.09.2014	176,43	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3	#ГлавныйРедуктор
240111	12.09.2014	176,57	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3	#ГлавныйРедуктор
240111	13.11.2016	483	448,85	6,4	5,6	3,4	49,5	51,9	23,5	Неисправных агрегатов нет
240111	11.08.2017	479,13	0	6,4	5,4	3,3	51,6	55,1	29	#ГлавныйРедуктор
250111	22.01.2016	189,72	206,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5	#СиловаяУстановкаДвигателя
250111	23.01.2016	193,3	209,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5	#ГлавныйРедуктор

Заключение

В работе исследована методика построения нечётких онтологий и разработана онтологическая модель состояния вертолётных агрегатов. Разработан программный продукт, обеспечивающий реализацию интеграции НВР и нечёткой онтологии. Проведены эксперименты по поиску аномальных ситуаций и возможных неисправных агрегатов с использованием разра-

ботанного подхода. По итогам проведённых экспериментов можно сделать вывод о том, что предложенный подход интеграции НВР и нечётких онтологий позволяет распознавать аномальные ситуации и находить возможные неисправные агрегаты, соответствующие каждой такой ситуации.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проекты № 18-37-00450, № 16-47-732070 и 18-47-732007.

Список источников

- [1] *Массель, Л.В.* Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике / Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова, Н.И. Пяткова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). – С. 66-76. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [2] *Грищенко, М.А.* Разработка диагностических интеллектуальных систем на основе онтологий / М.А. Грищенко, Н.О. Дородных, С.А. Коршунов, А.Ю. Юрин // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.265-284. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [3] *Ковалев, С.М.* Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций для этапа проектирования сложных технических систем / С.М. Ковалев, А.Е. Колоденкова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №4(26). – С. 398-409. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.
- [4] *Torshizi, A.D.* A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for Benign Prostatic Hyperplasia / A.D. Torshizi, M.H.F. Zarandi, G.D. Torshizi, K. Eghbali // Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 113, Issue 1, 2014, P.301-313.
- [5] *Lai, L.F.* Developing a fuzzy search engine based on fuzzy ontology and semantic search. / L.F. Lai, C. Wu, P. Lin, L. Huang // 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011), pp. 2684-2689.
- [6] *Morente-Molinera, J.A.* Creating knowledge databases for storing and sharing people knowledge automatically using group decision making and fuzzy ontologies / J.A. Morente-Molinera, I.J. Pérez, M.R. Ureña, E. Herrera-Viedma // Information Sciences, Vol. 328, 2016, P.418-434.
- [7] *Ярушкина, Н. Г.* Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие / Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2010.
- [8] *Noy, N.F.* Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. / N.F. Noy, D.L. McGuinness // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] *Мошкин, В.С.* Методики построения нечётких онтологий сложных предметных областей / В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): материалы V Междунар. научн.техн. конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 г.) / В.В. Голенков (отв. ред.) – Минск: БГУИР. – 2015. – С.401–406.
- [10] *Афанасьева, Т.В.* Прогнозирование временных рядов: нечёткие модели / Т.В. Афанасьева, А.М. Наместников, И.Г. Перфильева, А.А. Романов, Н.Г. Ярушкина. – Ульяновск: УлГТУ, 2014.
- [11] *Romanov, A.A.* Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018” / A.A. Romanov, E.N. Egov, I.A. Moshkina, I.F. Dyakov // Ulyanovsk, Russia, 23-25 October, 2018. pp. 50-55.
- [12] *Bobillo, F.* Fuzzy ontology representation using OWL 2 / F. Bobillo, U. Straccia // International Journal of Approximate Reasoning. Vol. 52, 2011. - P.1073–1094.
- [13] *Lee, C.S.* A fuzzy ontology and its application to news summarization / C.S. Lee, Z.-W. Jian, L.-K. Huang // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, PartB. Vol. 5, -2005. - P.859–880.
- [14] *Straccia, U.* Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web / U. Straccia // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. – P.167-181.
- [15] *Мошкин, В.С.* Логический вывод на основе нечётких онтологий / В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных тр. VIII-й Междунар. научно-практич. конф. (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. Т1. – М.: Физматлит, 2015. – С.259–267.
- [16] Protégé: ontology editor. — <https://protege.stanford.edu>.
- [17] Fuzzy Ontology Representation using OWL 2. — <http://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/index.html>.

APPLICATION OF FUZZY TIME SERIES AND FUZZY ONTOLOGY INTEGRATION IN DIAGNOSTICS OF TECHNICAL SYSTEMS

N.G. Yarushkina¹, V.S. Moshkin², G.R. Ishmuratova³, I.A. Andreev⁴, I.A. Moshkina⁵

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

¹jng@ulstu.ru, ²v.moshkin@ulstu.ru, ³geliya94@mail.ru, ⁴ares-ilya@yandex.ru⁴, ⁵i.timina@ulstu.ru⁵

Abstract

The method of constructing fuzzy ontologies was investigated in the framework of this work. An ontological model for assessing the state of helicopter units has been developed. The article provides a formal description of fuzzy ontologies and features of the representation of elements of fuzzy axioms in FuzzyOWL notation. According to the proposed approach, the summarizing of the state of a complex technical system is carried out by means of a logical inference based on a fuzzy ontology. Objects, properties and axioms of fuzzy ontology determine the parameters of the membership functions and linguistic variables of the objects of analysis in the form of time series. A software product was developed to implement the proposed approach. As part of this work, experiments were conducted to search for anomalous situations and search for possible faulty helicopter units using the developed approach to the integration of fuzzy time series and fuzzy ontology. For the first time, the results of the logical inference of knowledge based on the integration of fuzzy time series and fuzzy ontologies in the tasks of analyzing the diagnosis of complex technical systems were obtained. The proposed approach of hybridization of fuzzy time series and fuzzy ontologies made it possible to reliably recognize anomalous situations with a certain degree of truth, and to find possible faulty aggregates corresponding to each anomalous situation.

Key words: *fuzzy time series, fuzzy ontology, Fuzzy OWL, summary*

Citation: Yarushkina NG, Moshkin VS, Ishmuratova GR, Andreev IA, Moshkina IA. Application of fuzzy time series and fuzzy ontology integration in diagnostics of technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 594-604. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-594-604.

Acknowledgment

The reported study was funded by RFBR according to the research projects № 18-37-00450, № 16-47-732070 and 18-47-732007.

References

- [1] **Massel LV, Vorozhtsova TN, Pjatkova NI.** Ontology engineering to support strategic decision-making in the energy sector [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(1): 66-76. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [2] **Grischenko MA, Dorodnykh NO, Korshunov SA, Yurin AY.** Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 265-284. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [3] **Kovalev SM, Kolodenkova AE.** Knowledge base design for the intelligent system for control and preventions of risk situations in the design stage of complex technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 398-409. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.
- [4] **Torshizi AD, Zarandi MHF, Torshizi GD, Eghbali K.** A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for Benign Prostatic Hyperplasia / *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2014; 113(1): 301-313.
- [5] **Lai LF., Wu C, Lin P, Huang L.** Developing a fuzzy search engine based on fuzzy ontology and semantic search. 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011), P.2684-2689.
- [6] **Morente-Molinera JA, Pérez JJ, Ureña MR, Herrera-Viedma E.** Creating knowledge databases for storing and sharing people knowledge automatically using group decision making and fuzzy ontologies / *Information Sciences*, 2016; 328: 418-434.
- [7] **Yarushkina NG, Afanasyeva TV, Perfilyeva IG.** Intellectual analysis of time series: textbook [In Russian]. - Ulyanovsk: UISTU, 2010.

- [8] *Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness*. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology'. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] *Moshkin VS, Yarushkina NG*. Methods for constructing fuzzy ontologies of complex subject areas [In Russian] // Open semantic technologies for designing intelligent systems (OSTIS-2015): materials of the V Intern. scientific techn. conf. (Minsk, February 19-21, 2015) / V.V. Golenkov (ed.). - Minsk: BSUIR. - 2015. - P.401–406.
- [10] *Afanaseva TV, Namestnikov AM, Perfilyeva IG, Romanov AA, Yarushkina NG*. Time Series Forecasting: Fuzzy Models [In Russian]. - Ulyanovsk: UISTU, 2014.
- [11] *Romanov AA, Egov EN, Moshkina IA, Dyakov IF*. Extraction and Forecasting of the International Scientific and Practical Conference "Fzz 2018" // Ulyanovsk, Russia, 23-25 October, 2018. P.50-55.
- [12] *Bobillo F, Straccia U*. Fuzzy ontology representation using OWL 2 // International Journal of Approximate Reasoning. 2011; 52: 1073-1094
- [13] *Lee CS, Jian ZW, Huang LK*. A Fuzzy Ontology // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, PartB. 2005; 5: 859–880.
- [14] *Straccia U*. Towards a Fuzzy Description: Logic for the Semantic Web // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. - P.167-181.
- [15] *Moshkin VS, Yarushkina NG*. Logical inference based on fuzzy ontologies [In Russian] // Integrated models and soft computing in artificial intelligence. Collection of scientific papers of the VIII-th International Scientific and Practical Conference (Kolomna, May 18-20, 2015). In 2 volumes. T1. - M.: Fizmatlit, 2015. – P.259–267.
- [16] Protégé: ontology editor. - <https://protege.stanford.edu>.
- [17] Fuzzy Ontology Representation using OWL 2. - <http://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/index.html>.

Сведения об авторах



Ярушкина Надежда Глебовна (1962 г. рождения). Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Информационные системы" Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. Область научных интересов - мягкие вычисления, нечёткая логика, гибридные системы. Опубликовано более 250 научных работ.

Nadezhda Glebovna Yarushkina (b. 1962) Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department of "Information Systems" of the Ulyanovsk State Technical University (UISTU). Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. Her research interests are soft computing, fuzzy logic, and hybrid systems. Published over 250 scientific papers.

Мошкин Вадим Сергеевич (1990 г. рождения). Окончил УлГТУ (2012), к.т.н. (2017), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Ведущий программист лаборатории автоматизации образовательного процесса УлГТУ. Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 80 статей в области интеллектуальной обработки знаний, автоматизации проектирования, а также построения прикладных интеллектуальных систем.



Vadim Sergeevich Moshkin (b. 1990) graduated from UISTU (2012), Ph. D. (2017), associate professor of the Information Systems department at UISTU. Leading programmer of the automation laboratory of the educational process at UISTU. Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. He is co-author of more than 80 publications in the field of data mining, design automation and construction of applied intelligent systems.



Ишмуратова Гелия Рафиковна (1994 г. рождения) студентка-магистр УлГТУ. Имеет более 10 статей в области исследования и разработки нечётких онтологий, автоматизации проектирования, лингвистики.

Geliya Rafikovna Ishmuratova (b. 1994) student of UISTU. She is co-author more than 10 articles in the field of research and development of fuzzy ontologies, design automation, linguistics.

Андреев Илья Алексеевич (1994 г. рождения). Окончил УлГТУ в 2017 г., аспирант кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Программист лаборатории автоматизации образовательного процесса УлГТУ. Имеет более 20 статей в области автоматизации проектирования, онтологического инжиниринга и технической лингвистики.



Илья Алексеевич Андреев (b. 1994) graduated from UISTU (2017), a postgraduate of the department "Information Systems" of UISTU. Programmer of the laboratory of automation of educational process UISTU. He is co-author of more than 20 articles in the field of design automation, ontological engineering and technical linguistics.



Мошкина Ирина Александровна (1989 г. рождения). Окончила УлГТУ (2011), к.т.н. (2017), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 50 статей в области интеллектуальной обработки знаний, автоматизации проектирования, а также анализа и прогнозирования нечётких временных рядов.

Irina Aleksandrovna Moshkina (b. 1989) graduated from UISTU (2011), Ph.D. (2017), associate professor of the Information Systems department at UISTU. Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. He is co-author of more than 50 publications in the field of data mining, design automation and fuzzy time series forecasting.