

УДК 004.9

Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук

Донецкий национальный университет, Донецк

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВТОРОГО ТИПА

В статье предлагается новая модель представления дискретных интервальных нечетких систем второго типа на основе расширенных форм Бэкуса-Наура. Свойства предложенной модели позволяют определить структуру XML-документа для описания дискретных интервальных нечетких систем второго типа и обеспечивают эффективность программной реализации модели.

Ключевые слова: дискретная интервальная нечеткая логическая система второго типа, расширенная форма Бэкуса-Наура, XML.

Введение

Дискретные интервальные нечеткие множества и системы второго типа (DIT2FSs и DIT2FLSs соответственно) уже нашли практическое применение при решении задач интеллектуального управления в условиях неопределенности [1]. Популяризация DIT2FLS связана с итерационным алгоритмом понижения типа и дефазификации DIT2FS [2], предложенным в 2001 г. J.M. Mendel и N.N. Karnik. Эффективность данного алгоритма обусловлена низкой вычислительной сложностью, что делает возможным применение DIT2FSs и DIT2FLSs для решения прикладных задач. Однако существующие модели представления DIT2FLSs являются сложными для понимания разработчиками прикладного программного обеспечения, требуют выполнения трудоемких преобразований модели на этапе проектирования нечетких систем и не гарантируют создания качественной программной реализации нечеткой системы управления. Усложняет данную ситуацию и отсутствие единых стандартов и механизмов описания DIT2FLSs.

В данной работе предложена модель компактного представления DIT2FLS. Модель обеспечивает программную реализацию нечеткой системы управления за счет наглядности и унифицированного подхода к описанию структуры данных и формата внешних файлов системы. Эффективность предложенного в статье подхода подтверждена успешной реализацией следующих проектов: пакет библиотек и среда поддержки DIT2FLSs [3], информационная технология управления поведением компьютерного персонажа [4], нечеткая система выделения границ на изображении [5], нечеткая система выбора комфортного маршрута между точками на карте города [6].

1. Решение задачи

Данная статья состоит из двух частей. В первой части предложена модель представления DIT2FLS,

которая не привязана к конкретному языку программирования или технологии; во второй части рассмотрена реализация этой модели с помощью нотации XML.

1.1 Модель представления DIT2FLS на основе расширенных форм Бэкуса-Наура (EBNF). В данной работе выделены основные требования к модели представления DIT2FLS: однозначная интерпретация описания DIT2FLS; стандартизированное представление DIT2FLS; независимость от языка программирования; формальное обоснование представления DIT2FLS; упрощение предусловий программной реализации модели.

Для описания модели представления DIT2FLS, в работе предлагается использовать EBNF [7], которые удовлетворяют в полном объеме всем перечисленным требованиям:

1. Выражение EBNF читается только в одном направлении, что обеспечивает однозначность определения элементов DIT2FLS.

2. Синтаксис EBNF утвержден стандартом ISO/IEC 14977.

3. EBNF-описание не зависит от конкретного программного обеспечения, однако позволяет использовать современные информационные технологии для программной реализации.

4. EBNF является основой построения различных контекстно-свободных формальных грамматик. В стандарте ISO/IEC 14977 отмечена возможность использования EBNF не только для описания языков программирования, но и для других формальных определений.

Описание DIT2FLS с помощью EBNF состоит из набора правил, определяющих отношения между терминальными и нетерминальными символами. Терминальный символ – отдельный символ или последовательность символов, являющихся с точки зрения синтаксиса неразрывным целым, не сводимым к другим символам (при описании выделяется одинарными или двойными кавычками). Нетерми-

нальний символ – некоторая абстракция, по определенным правилам сводится к комбинации терминальных и/или других нетерминальных символов. Каждое правило состоит из нетерминального символа и EBNF-выражения, которые разделены знаком равенства. Выражение – соответствующая правилам EBNF комбинация терминальных и нетерминальных символов, операций. Правило завершается точкой.

В данной работе для описания DIT2FLS используются следующие операции EBNF:

- "<>" – выделение нетерминального символа;
- "=" – определение нетерминального символа;
- "[]" – выделение необязательной части определения;
- "{" }" – повторение определения, которое заключено в "{" }" (0 или более раз);
- "|" – операция OR.

Описание основных используемых нетерминальных символов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Основные нетерминальные символы системы представления DIT2FLS

Нетерминальный символ	Краткое описание
Name	Имя (имя нечеткой логической системы, лингвистической переменной, терм-множества лингвистической переменной).
InputParams	Набор входных параметров, подаваемый на вход DIT2FLS.
ILVs	Набор входных лингвистических переменных.
OLVs	Набор результирующих лингвистических переменных.
LinguisticVariable	Лингвистическая переменная.
PrimaryVariable	Универсальное множество, на котором определена лингвистическая переменная.
TermSet	Терм-множество лингвистической переменной.
DIT2FS	Дискретное интервальное нечеткое множество второго типа.
LMF	Нижняя функция принадлежности.
UMF	Верхняя функция принадлежности.
DB	База нечетких правил.
Rule	Нечеткое правило.
Antecedent	Антецедент нечеткого правила.
Consequent	Консеквент нечеткого правила
Function	Функциональная зависимость от входных параметров.
ModelType	Алгоритм операции нечеткого логического вывода.
DefuzzifierType	Метод дефаззификации.

Общая форма представления DIT2FLS:

```

<DIT2FLS> = <Name> <ModelType>
           <DefuzzifierType> <InputParams>
           <ILVs> <OLVs> <DB>.

<ModelType> = Mamdani | Sugeno.
<DefuzzifierType> = Centroid | FirstOfMaximum |
                   MiddleOfMaximum |
                   LastOfMaximum.

<InputParams> = <Parameter> {'<Parameter>'.
<Parameter> = <Number>.
<ILVs> = <LinguisticVariable> {'<LinguisticVariable>'.
<OLVs> = <LinguisticVariable> {'<LinguisticVariable>'.
<LinguisticVariable> = <Name> <PrimaryVariable>
                      <TermSet> { <TermSet> }.
<PrimaryVariable> = <Number> {'<Number>'.
<TermSet> = <Name> <DIT2FS>.
<DIT2FS> = <LMF> <UMF>.
<LMF> = <Number> {'<Number>'.
<UMF> = <Number> {'<Number>'.
<DB> = <Rule> {'<Rule>'.
<Rule> = IF <Antecedent> THEN <Consequent>.
<Antecedent> = <Term> {<Operator> <Term>}.
<Term> = <Factor> {<Operator> <Factor>}.
<Factor> = <Condition> | <Antecedent>.
<Condition> = <Parameter> IS <TermSet>.
<Operator> = AND.
<Consequent> = <TermSet> | Function.
<Name> = <Letter> {<Letter> | <Letter>}.
<Letter> = 'a' | 'b' | 'c' | 'd' | 'e' | 'f' | 'g' | 'h' | 'i' | 'j' | 'k' | 'l' |
          'm' | 'n' | 'o' | 'p' | 'q' | 'r' | 's' | 't' | 'u' | 'v' | 'w' |
          'x' | 'y' | 'z'.
<Digit> = 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0.
<Number> = <IntegerNumber> | <RealNumber>.
<IntegerNumber> = [<Sign>] <Digit> {<Digit>}.
<RealNumber> = [<Sign>] <Digit> {<Digit>}'
              <Digit> {<Digit>} [<Scale>] |
              <Digit> {<Digit>} <Scale>.
<Sign> = '+' | '-'.
<Scale> = 'E' | 'e' <Digit> {<Digit>}.
    
```

В данном описании представлен ограниченный набор алгоритмов операции нечеткого логического вывода (ModelType) и методов дефаззификации (DefuzzifierType) с целью компактности изложения материала. Поддерживаемые типы нечетких правил [8]: стандартные IF-THEN правила; незавершенные IF правила.

В примере (второй подраздел) приведен модифицированный пример DIT2FLS [9], описанный с помощью EBNF.

1.2 Представление DIT2FLS в нотации XML.

Разработанное EBNF-описание DIT2FLS формально задает структуру и параметры нечеткой системы. Для автоматической интерпретации и последующей программной обработки данных, которые характе-

ризуют DIT2FLS, необходимо определить их формат. Для решения данной задачи в работе используется нотация XML. Основные причины выбора XML:

1. В спецификации W3C [10] XML задается с помощью EBNF, что обеспечивает естественный переход от EBNF-описания DIT2FLS к XML-описанию DIT2FLS.

2. Структурированное представление DIT2FLS в нотации XML позволяет широко использовать стандартизованные средства обработки и передачи данных в системах распределенной обработки данных.

3. Представление DIT2FLS в нотации XML упрощает процедуру интеграции с другими технологиями, позволяет использовать готовые компоненты поддержки DIT2FLS (модули, библиотеки и т.п.).

При разработке программного обеспечения, основанного на обработке XML-данных, которые характеризуют DIT2FLS, возникает задача валидного представления XML-документа. Для построения XML-документа в работе разработана XML-схема [11]. Основные причины необходимости использования XML-схемы:

1. Схема позволяет определить формат данных DIT2FLS. Это обеспечивает автоматическую проверку корректности данных и ограничений, облегчает дальнейшую программную обработку данных.

2. На сегодняшний день существует большое количество инструментов, обеспечивающих автоматическую проверку правильности заполнения XML-документа по XML-схеме.

Фрагмент схемы XML (базовые элементы и атрибуты), описывающий данные DIT2FLS:

```
<xs:schema
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="DIT2FLS">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="InputParams"
          type="doubleList"/>
        <xs:element name="ILVs" type="LVType"
          maxOccurs="1" />
        <xs:element name="OLVs" type="LVType"
          maxOccurs="1" />
        <xs:element name="DB" type="DBType"
          maxOccurs="1" />
      </xs:sequence>
      <xs:attribute name="ModelType" type="xs:string"
        use="required" />
      <xs:attribute name="DefuzzifierType"
        type="xs:string" use="required" />
      <xs:attribute name="number_ILVs"
        type="xs:integer" use="required" />
      <xs:attribute name="number_OLVs"
        type="xs:integer" use="required" />
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

```
type="xs:integer" use="required" />
<xs:attribute name="number_rules"
  type="xs:integer" use="required" />
<xs:attribute name="Name" type="xs:string" />
</xs:complexType>
</xs:element>
...
</xs:schema>
```

Полная версия XML-схемы доступна в [12]. Экземпляр схемы представлен в Приложении А.

Формализация данных DIT2FLS с помощью XML-схемы играет важную роль при ее программной реализации.

Нарушение XML-схемы – это отклонение реализации от заданной спецификации (проявление ошибки). XML-схемы позволяют строить нечеткие системы управления, которые являются корректными с самого начала.

Такой подход обладает существенными преимуществами по сравнению с другими, где корректность работы системы достигается в процессе отладки программного кода.

2. Пример

Пример иллюстрирует использование разработанной модели и XML-схемы для описания данных нечеткой системы, которая определяет уровень симпатии между двумя людьми.

Нечеткая система описывается двумя входными лингвистическими переменными (LI_1 – уровень зрительного контакта между людьми, LI_2 – уровень взаимодействия между людьми), результирующей переменной (LO – уровень симпатии между людьми) и базой нечетких правил.

Входная лингвистическая переменная LI_1 содержит 4 терма: практически отсутствующий (not all), небольшой (a bit), хороший (pretty good amount) и близкий (a lot) уровни зрительного контакта между людьми. LI_1 определена на универсальном множестве $X_1=[0;1]$ (рис. 1, а).

Входная лингвистическая переменная LI_2 содержит 3 терма: равнодушное (cold), несущественное (casual) и романтическое (romantic) взаимодействия между людьми. LI_2 определена на универсальном множестве $X_2=[0;1]$ (рис. 1, б).

Результирующая лингвистическая переменная LO содержит 5 термов: отсутствующий (not all), практически отсутствующий (hardly), небольшой (a bit), хороший (pretty good amount) и отличный (a lot) уровни симпатий между людьми. LO определена на универсальном множестве $X_{res}=[0;1]$ (рис. 1, в).

Для такого примера база правил нечеткой логической модели R будет состоять из 12 нечетких правил (табл. 2).

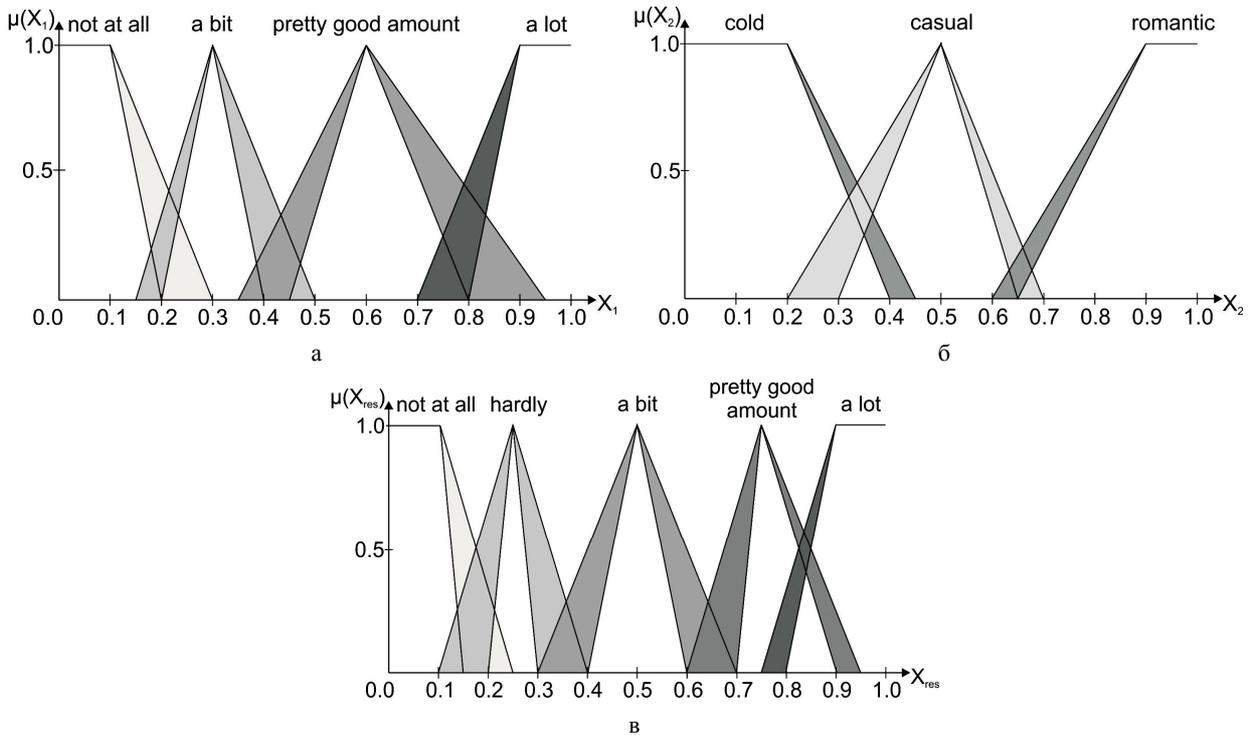


Рис. 1. Лингвистические переменные нечеткой логической системы определения уровня симпатии между двумя людьми: (а) (б) – входные, (в) – результирующая

Таблица 2

База правил определения уровня симпатии между двумя людьми

Термы LI ₁	Термы LI ₂		
	cold	casual	romantic
not at all	not at all	hardly	a bit
a bit	not at all	hardly	pretty good amount
pretty good amount	not at all	a bit	a lot
a lot	hardly	a bit	a lot

EBNF-описание DIT2FLS:

```

DIT2FLS.Name= DIT2FLSLiking.
DIT2FLS.ModelType= Mamdani.
DIT2FLS.DefuzzifierType=Centroid.
DIT2FLS.InputParams=p_1; p_2.
    p_1=0.2.
    p_2=0.3.
DIT2FLS.ILVs= L_1; L_2.
    L_1.Name= Уровень_зрительного_контакта_
                между_людьми.
    L_1.PrimaryVariable= 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6;
                        0.7; 0.8; 0.9; 1.
    L_1.TermSet= T_1.
        T_1.Name= not_at_all.
        T_1.LMF= 1; 1; 1; 0.5; 0; 0; 0; 0; 0; 0.
        T_1.UMF= 1; 1; 1; 0.6; 0.2; 0; 0; 0; 0; 0.
    L_1.TermSet= T_2.
    ...
    L_1.TermSet= T_3.
    ...
    L_1.TermSet= T_4.
    ...
    L_2.Name= Уровень_взаимодействия_между_
                людьми.
    
```

```

...
DIT2FLS.OLVs= LO.
    LO.Name= Уровень_симпатии_ между_людьми.
    ...
DIT2FLS.DB= R_1; R_2; ... R_12.
    R_1= IF p_1 IS L_1.T_2 AND p_2 IS L_2.T_1
        THEN LO.T_2.
    ...
    
```

XML-документ, характеризующий DIT2FLS:

```

<DIT2FLS Name="DIT2FLSLiking" ModelType=
    "Mamdani" DefuzzifierType="Centroid"
    number_ILVs="2" number_OLVs="1"
    number_rules="12">
<InputParams>0.2 0.3</InputParams>
<ILVs>
<LinguisticVariable Name="Уровень_
зрительного_контакта" id="0">
<PrimaryVariable>
    0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
</PrimaryVariable>
<TermSet name = "not at all" id="0">
    <LMF>1 1 1 0.5 0 0 0 0 0 0</LMF>
    <UMF>1 1 1 0.6 0.2 0 0 0 0 0</UMF>
</TermSet>
<TermSet name = "a bit" id="1">
    ...
</TermSet>
<TermSet name = "pretty good amount" id="2">
    ...
</TermSet>
<TermSet name = "a lot" id="3">
    ...
    
```

```

...
</TermSet>
</LinguisticVariable>
<LinguisticVariable Name = "Уровень_
взаимодействия_между_людьми" id="1">
...
</LinguisticVariable>
</ILVs>
<OLVs>
<LinguisticVariable Name = "Уровень_симпатии_
между_людьми" id="0">
...
</LinguisticVariable>
</OLVs>
<DB>
<Rule>
<Antecedent>
<ILV_ID>0</ILV_ID>
<TermSet_ID>1</TermSet_ID>
</Antecedent>
<Antecedent>
<ILV_ID>1</ILV_ID>
<TermSet_ID>0</TermSet_ID>
</Antecedent>
<Consequent>
<OLV_ID>0</OLV_ID>
<TermSet_ID>1</TermSet_ID>
</Consequent>
</Rule>
...
</DB>
</DIT2FLS>

```

Выводы

В данной работе предложена новая модель представления DIT2FLS на базе EBNF. Основные свойства EBNF обеспечивают эффективное формальное определение параметров DIT2FLS для последующей программной обработки.

Предложенная XML нотация представления DIT2FLS, основанная на EBNF-описании, позволяет эффективно решать задачу программной обработки параметров DIT2FLS, определить модель данных DIT2FLS, унифицировать форматы внешних файлов для хранения информации о нечеткой системе.

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДРУГОГО ТИПУ

Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук

У статті пропонується нова модель представлення дискретних інтервальних нечітких систем другого типу на основі розширених форм Бекуса-Наура. Властивості запропонованої моделі дозволяють визначити структуру XML-документа для опису дискретних інтервальних нечітких систем другого типу і забезпечують ефективність програмної реалізації моделі.

Ключові слова: дискретна інтервальна нечітка логічна система другого типу, розширена форма Бекуса-Наура, XML.

MODEL FOR THE DESCRIPTION OF DISCRETE INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC SYSTEMS

T.G. Petrenko, O.S. Tymchuk

This paper presents a new model based on extended Backus-Naur form for the description of discrete interval type-2 fuzzy logic systems. Properties of the model allow us to determine the structure of XML-document for the description of discrete interval type-2 fuzzy logic systems and to provide efficient program implementation of the model.

Keywords: discrete interval type-2 fuzzy logic system, extended Backus-Naur form, XML.

Список литературы

1. Sadeghian A. *Advances in Type-2 Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications [Текст]* / A. Sadeghian, J. Mendel, H. Tahayori. – Springer, 2013. – 262 p.
2. Karnik N.N. *Centroid of a type-2 fuzzy set / N.N. Karnik, J.M. Mendel // Information Sciences.* – 2001. – Vol. 132. – P. 195-220.
3. Petrenko T. *Package Library and Toolbox for Discrete Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems [Текст]* / T. Petrenko, O. Tymchuk // *Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing (MENDEL), Brno, Czech Republic.* – 27-29 June 2012. – P. 233-238.
4. Petrenko T. *Adaptive Behavior Control Model of Non Player Character [Текст]* / T. Petrenko, O. Tymchuk // *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim-AMSS), Cambridge, United Kingdom.* – 10-12 Apr. 2013. – P. 39-44.
5. Выделение границ на изображении с использованием нечетких множеств второго типа [Текст] / [Т.Г. Петренко, И.Г. Сальков, О.С. Тимчук, А.А. Адамец] // *Проблеми інформаційних технологій.* – 2013. – № 12. – С. 155-161.
6. Петренко Т.Г. Выбор комфортного маршрута между точками на карте города на основе нечеткой информации [Текст] / Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук, А.А. Ершов // *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту.* – 2013. – № 33. – С. 26-34.
7. ISO/IEC 14977. *Information technology – Syntactic metalanguage – Extended BNF [Текст]* – 1996. – 12 p.
8. Каргин А.А. *Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы [Текст]* / А.А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
9. Martin M.A. *Flirtation, a Very Fuzzy Prospect: a Flirtation Advisor* / M.A. Martin, J.M. Mendel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/~mendel/publications/FlirtationFLA.pdf> – Дата доступа: 01.02.2014.
10. *Extensible Markup Language (XML) 1.0. Second Edition // W3C [Электронный ресурс].* – Режим доступа к ресурсу: <http://www.w3.org/TR/REC-xml/> – Дата доступа: 01.02.2014.
11. *W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 1: Structures // W3C [Электронный ресурс].* – Режим доступа к ресурсу: <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-1/> – Дата доступа: 01.02.2014.
12. *Cognitive&Uncertainty Research Group [Электронный ресурс].* – Режим доступа к ресурсу: <http://dit2fls.com>. – Дата доступа: 1.02.2014.

Поступила в редколлегию 1.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Каргин, Донецкий национальный университет, Донецк.