



# OSTIS-2015

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.82

## МЕТАГРАФЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗ НЕЧЕТКИХ ЗНАНИЙ

Глоба Л. С., Терновой М. Ю., Штогрин Е. С.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
Институт телекоммуникационных систем,*

*г. Киев, Украина*

**lgloba@its.kpi.ua**

**ternovoy@its.kpi.ua**

**L\_Shtogrina@mail.ru**

В работе рассмотрены проблемы представления и обработки нечетких знаний в базах нечетких знаний. Определен метаграф для представления базы нечетких знаний Мамдани и рассмотрены его свойства. Описан подход к представлению баз нечетких знаний в виде метаграфа. Приведена постановка задачи формирования метаграфа из неупорядоченной базы нечетких знаний Мамдани, а также постановка задачи перенумерации вершин метаграфа и предложено их решение.

**Ключевые слова:** база нечетких знаний, лингвистические переменные, метаграф, метавершина.

### Введение

Качество и эффективность работы экспертных систем, которые основываются на базах нечетких знаний (БНЗ) зависит от форм представления БНЗ и методов проведения нечеткого логического вывода. Большинство существующих систем для работы с экспертными знаниями предполагают хранения знаний в виде неупорядоченного набора правил вида «Если - То», но это дополнительно усложняет процесс вывода, поскольку требует полного перебора правил [Субботин, 2008; Деменков, 2005]. В работах [Штовба, 2007; Глоба и др., 2008] предложены методы, позволяющие повысить эффективность нечеткого логического вывода, а также описываются условия, при выполнении которых можно ускорить процесс вывода. Однако предложенные методы рассчитаны на работу только с древовидными БНЗ. Как следствие, повышение эффективности работы с БНЗ, которые не являются древовидными и определение их особенностей является актуальной задачей.

В работе [Basu et al., 2010] предложен новый вид графического представления – метаграфы и описано применение метаграфов для логического вывода. В работе [Zheng-Hua, 2006] предложено использовать метаграфы для представления нечетких знаний. В работе [Штогрин и др., 2014] предложен метод графического представления метаграфов, который

может быть использован для изображения метаграфов, представляющих БНЗ. Графическое представление БНЗ позволяет наглядно проследить связи между лингвистическими переменными, находить и исправлять противоречия, а также определять другие свойства БНЗ за меньшее время, по сравнению с анализом правил, записанных в текстовом виде. В данной работе предложены модификация и расширение данного подхода для представления и обработки знаний, которые представлены в базах нечетких знаний Мамдани.

### 1. Базы нечетких знаний и метаграфы. Основные определения

Для того чтобы рассмотреть свойства БНЗ, а также предложить дальнейшее их определение с помощью метаграфа выпишем определение БНЗ и метаграфа. Отметим, что в дальнейшем изложении в данной работе под БНЗ подразумеваются именно базы нечетких знаний Мамдани. Также считается, что БНЗ сформирована для определения одной лингвистической переменной (ЛП), которую будем называть результирующей. Лингвистические переменные, значение которых определяется с помощью фаззификации или сразу задается в качественном виде будем называть входными. Для входных переменных не существует правил их определяющих.

*Определение 1.* База нечетких знаний Мамдани – это модель представления знаний, которая состоит из правил вида:

$$P_g = (P_l^z)_j = \text{ЕСЛИ} (X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1}) \text{И} (X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2}) \text{И} \dots \text{И} (X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}}) \text{ТО} (X_l = t_l^z) \quad (1)$$

где  $(P_l^z)_j$  –  $j$ -е правило для определения  $z$ -го термина ЛП с идентификатором  $l$ , в котором  $X_{j_s}$  – лингвистическая переменная, которая оценивается качественным термом  $t_{j_s}^{k_s}$ ;  $s = \overline{1, n_j}$  номер ЛП в левой части  $j$ -го правила,  $n_j$  – количество ЛП, которые находятся в левой части  $j$ -го правила.

Для сокращения записи введем обозначения для левой и правой части правила  $P_g$ :

$$P_g = (P_g^A, P_g^C),$$

где  $P_g^A = \{t_{j_s}^{k_s} | s = \overline{1, n_j}\}$  – множество термов, которые входят в левую часть правила;  $P_g^C = t_l^z$  – терм, который является результатом правила.

*Определение 2.* Частичная база нечетких знаний – это БНЗ для определения одной лингвистической переменной, включающая в себя правила, результатами которых являются термы данной ЛП. При этом такую ЛП будем называть ЛП верхнего уровня, а лингвистические переменные, входящие в левые части правил, будем называть ЛП нижнего уровня.

*Определение 3.* Метаграф – это тройка множеств  $S = \langle V, M, E \rangle$ , где  $V = \{v_r | r = \overline{1, N_v}\}$  – порождающее множество (множество вершин метаграфа),  $M = \{m_q | q = \overline{1, N_m}\}$  – множество метавершин,  $E = \{e_h | h = \overline{1, N_e}\}$  – множество ребер, где  $N_v$  – количество вершин метаграфа,  $N_m$  – количество метавершин,  $N_e$  – общее количество ребер в метаграфе.

Метавершина метаграфа – определяется как множество вершин  $m_q = \{v_r | v_r \in V, r = \overline{1, N_{m_q}}\}$ , где  $N_{m_q}$  – количество вершин, входящих в метавершину  $m_q$ . Если две или больше метавершин соответствуют одному и тому же множеству вершин, то такие вершины считаются одинаковыми и рассматривается только одна из таких метавершин.

Для упрощения дальнейшей подачи материала введем понятие узла метаграфа  $mv \in (V \cup M)$ , таким образом, это вершина или метавершина.

Тогда ребро метаграфа определяется как  $e_h = (mv_{out}, mv_{in})$ , где  $mv_{out}$  – узел, из которого выходит ребро,  $mv_{in}$  – узел, в который входит ребро.

*Определение 4.* Будем называть метаграфом, представляющим БНЗ Мамдани, такой метаграф  $S' = \langle V, M, E \rangle$ , который удовлетворяет следующим условиям:

1. Каждая вершина  $v(t_i^k)$  метаграфа  $S'$  соответствует терму ЛП  $t_i^k$ .

2. Каждая метавершина  $m_g = \{mv_s | s = \overline{1, n_g}\}$  метаграфа  $S'$  соответствует  $P_g^A$  – левой части правила  $P_g$ . Метавершина  $m_g$  содержит в себе вершины, которые взаимно-однозначно соответствуют термам, которые входят в  $P_g^A$ .

3. Каждое ребро  $e_g$  метаграфа  $S'$ , соответствует правилу  $P_g$  БНЗ. Ребро  $e_g = (m_g, v(t_i^z))$  выходит из метавершины  $m_g$ , и входит в вершину  $v(t_i^z)$ , которая соответствует терму  $t_i^z$  в  $P_g^C$ .

Исходя из данного определения, метаграф  $S'$ , который представляет БНЗ Мамдани не может содержать:

1. Ребер, которые выходят из вершины  $\forall v_r : \text{deg}_{out}(v_r) = 0$ .

2. Ребер, которые входят в метавершину  $\forall m_g : \text{deg}_{in}(m_g) = 0$ .

Также у него можно выделить следующие свойства:

1. Для любой метавершины существует хотя бы одно ребро, которое соединяет ее с какой-то вершиной  $\forall m_g : \exists e_h = (m_g, v_r)$ .

2. Вершины, которые не включены ни в одну метавершину  $\exists v_{rez} = \{v_r | \forall q : v_r \notin m_q\}$ .

3. Вершины, соответствующие термам одной лингвистической переменной или все не имеют входящих ребер  $\forall v_r : \text{deg}_{in}(v_r) = 0$ , или все имеют хотя бы одно входящее ребро  $\forall v_r : \text{deg}_{in}(v_r) > 0$  одновременно.

## 2. Подход к представлению и использованию баз нечетких знаний в виде метаграфа

На основе представленных выше определений базы нечетких знаний Мамдани и метаграфа ниже

предложен поход к представлению и использованию БНЗ в виде метаграфа. Данный подход включает метод формирования метаграфа, метод нумерации узлов метаграфа и метод нечеткого логического вывода на основе метаграфа, представляющего БНЗ Мамдани.

Ниже сформулирована постановка задачи формирования метаграфа.

**Дано:**

$$\text{БНЗ} = \bigcup_{l,z,j} (P_l^z)_j \quad - \quad \text{неупорядоченная БНЗ}$$

Мамдани.

**Найти:**

Метаграф  $S' = \langle V, M, E \rangle$ , который представляет БНЗ.

**Решение:**

Метод формирования метаграфа, представляющего БНЗ состоит в определении отображения  $F$ , которое позволяет представить термы в виде вершин, а правила в виде метавершин и ребер метаграфа (рис. 1).

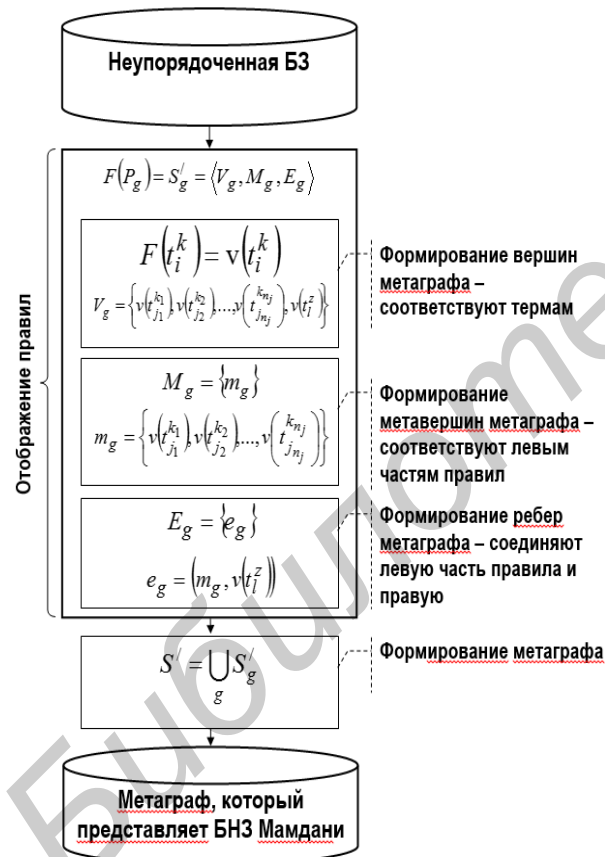


Рисунок 1 – Метод формирования метаграфа из БНЗ

В результате такого представления БНЗ все правила, для определения одного терма ЛП будут сгруппированы и связаны с этим термом. Это позволит уйти от полного перебора правил при проведении нечеткого логического вывода. Также появится возможность определения ряда противоречий еще до начала процесса вывода.

Особенность предложенного метода состоит в том, что полученный в результате такого

отображения метаграф будет изоморфным к БНЗ. Изоморфность гарантирует возможность однозначного восстановления БНЗ из метаграфа. Для этого предлагается связать с вершиной дополнительную информацию про терм лингвистической переменной, которому данная вершина соответствует и название ЛП.

Для последующего использования метаграфа необходимо провести нумерацию его вершин. Постановка задача нумерации приведена ниже.

**Дано:**

Метаграф  $S'$ , который соответствует неупорядоченной БНЗ -  $\text{БНЗ} = \bigcup_{z,l,j} (P_l^z)_j$ .

**Найти:**

Метаграф  $S''$ , который соответствует БНЗ, с введенной на множестве узлов нумерацией, соответствующей порядку использования правил при проведении нечеткого логического вывода.

**Решение:**

Метод нумерации узлов состоит в проведении топологической сортировки узлов метаграфа. Последовательность действий представлена на рисунок 2.

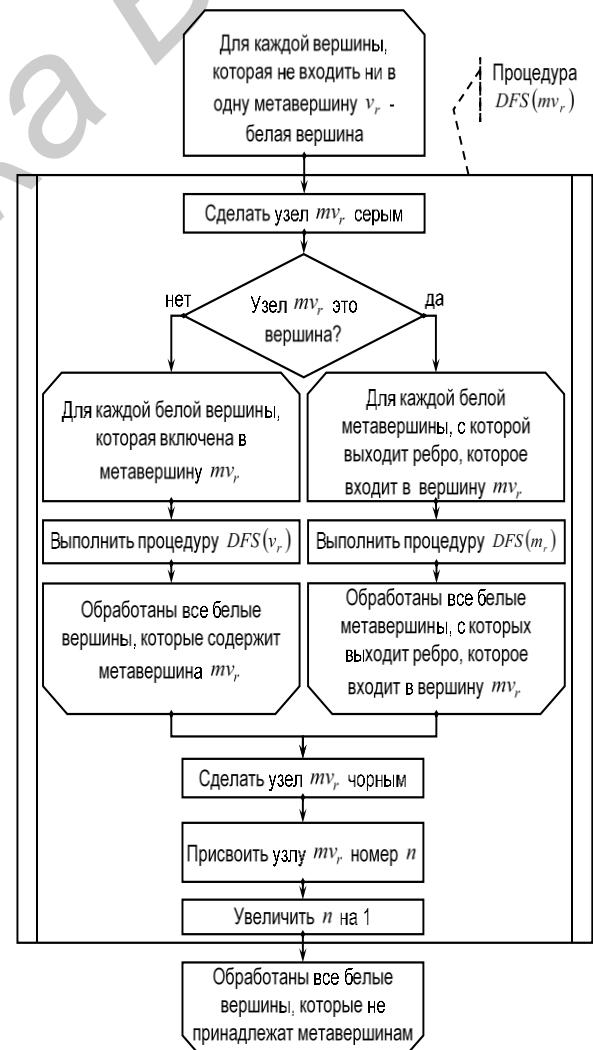


Рисунок 2 – Метод нумерации вершин метаграфа

Метод логического вывода на основе метаграфа с введенной нумерацией узлов базируется на обходе вершин и метавершин в порядке увеличения их номеров. Это позволяет сократить вычислительную сложность вывода.

## Заключение

В работе предложен подход к представлению баз нечетких знаний в виде метаграфа. Рассмотрены особенности метаграфа, представляющего базу нечетких знаний Мамдани. Предложен подход к построению метаграфа на основе базы нечетких знаний, а также механизмы для повышения эффективности нечеткого логического вывода.

В дальнейшей работе планируется исследовать взаимосвязь свойств метаграфа и свойств баз нечетких знаний таких как полнота, непротиворечивость и избыточность. Это позволит проводить предварительную обработку баз нечетких знаний еще на этапе их построения.

## Библиографический список

[Субботин, 2008] Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С. О. Субботін // Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. — 341 с.

[Деменков, 2005] Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах / Н. П. Деменков // Учебное пособие. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 200 с.: ил.

[Штовба, 2007] Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С. Д. Штовба // М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 288 с., ил.

[Глоба и др., 2008] Глоба, Л. С. Створення баз нечітких знань для інтелектуальних систем управління / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогрін // Комп'ютинг. - Міжнародний науково-технічний журнал. - том 7, випуск 1. - Тернопіль, «Економічна думка» - 2008. - С.70-79.

[Basu et al., 2010] Basu Amit Blanning Metagraphs and their applications / Amit Basu, W. Robert // Springer, 2010. 160 p.

[Zheng-Hua, 2006] Zheng-Hua Tan Fuzzy Metagraph and Its Combination with the Indexing Approach in Rule-Based Systems / Tan Zheng-Hua // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2006. Vol. 18, No. 6. pp.829-841.

[Штогрін и др, 2014] Штогрін Е. С. Метод визуализации метаграфа / Е. С. Штогрін, А. С. Кривенко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики Санкт-Петербургского национального исследовательского Университета ИТМО, 2014, №3 (91) С. 124-130.

## METAGRAPH BASED REPRESENTATION AND PROCESSING OF FUZZY KNOWLEDGBASES

Globa L.S., Ternovoy M.Y., Shtogrina O.S.

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine*

**lgloba@its.kpi.ua**

**ternovoy@its.kpi.ua**

**L\_Shtogrina@mail.ru**

The paper describes problems of fuzzy knowledge representation and processing in fuzzy knowledgebases. The metagraph for Mamdani fuzzy knowledgebase is defined. The method for metagraph based representation of fuzzy knowledgebase is described. The metagraph construction from Mamdani fuzzy knowledgebase and metagraph vertices numbering problems statement and their solutions are proposed.

## Introduction

The efficiency of based on fuzzy knowledgebase expert systems depend on knowledgebase representation and inference mechanisms.

This paper describes approach for fuzzy knowledgebase representation and processing based on metagraph.

## Main Part

The based on metagraph approach for fuzzy knowledgebase representation and processing consists of the method for metagraph construction, the method for numbering metagraph vertices and based on metagraph fuzzy inference.

The main idea of the method for metagraph construction form fuzzy knowledgebase is to define special mapping. This mapping allows one to represent linguistic variable terms as metagraph vertices and rules as metagraph metaverices and edges.

The method for metagraph vertices numbering is based on topological sorting.

The main idea of based on metagraph inference is to use vertices and metaverices in the order of increasing their numbers.

## Conclusion

The approach for metagraph based representation of fuzzy knowledgebases is proposed in the paper. The properties of metagraph that representing Mamdani fuzzy knowledgebase are described. The methods for metagraph construction from fuzzy knowledgebases and for metagraph based fuzzy inference are proposed.