

*На правах рукописи*

**УЛЬВИЯ ШАГИН ГЫЗЫ РЗАЕВА**

**ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ FL -ОТНОШЕНИЙ**

1203.01. – Компьютерные науки

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени доктора философии  
по математике

**БАКУ – 2013**

*Əlyazması hüququnda*

**ÜLVİYYƏ ŞAHİN QIZI RZAYEVA**

**FL-MÜNASİBƏTLƏR ƏSASINDA TANIMA SİSTEMİNİN İŞLƏNMƏSİ VƏ  
TƏHLİLİ**

1203.01. – Kompüter elmləri

Riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilən dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

**BAKI - 2013**

Работа выполнена в Институте Кибернетики им. А.И. Гусейнова Национальной Академии Наук Азербайджана

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук, профессор **А.К. Керимов**

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук, профессор

**Ф.Г.Фейзиев**

доктор технических наук

**Р.М. Алигулиев**

**Ведущая организация:** Научно-Исследовательский Институт Прикладной Математики Бакинского Государственного Университета

Защита диссертации состоится 28 июня 2013 года в 13.00 часов на заседании Диссертационного Совета D01.121 при Институте Кибернетики

Адрес: AZ1141, Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Кибернетики НАНА

Автореферат разослан « 27 » мая 2013

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук, доцент

**А.Б. Пашаев**

İş Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası akademik Ə.I. Hüseynov adına Kibernetika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbər:** fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor **Ə.K.Kərimov**

**Rəsmi opponətlər:**

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
texnika elmləri doktoru

**F.G. Feyziyev**  
**R.M. Alıquliyev**

**Aparıcı müəssisə:** Bakı Dövlət Universiteti Tətbiqi Riyaziyyat Elmi Tədqiqat İnstitutu

Dissertasiyanın müdafiəsi 28 iyun 2013-cü il saat 13.00-da AMEA Kibernetika İnstitutunun nəzdindəki D 01.121 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az 1141, Bakı ş., B. Vahabzadə küç., 9.

Dissertasiya ilə Azərbaycan MEA Kibernetika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat 27 may 2013-cü il tarixində göndərilmişdir.

D 01.121 Dissertasiya Şurasının elmi  
katibi, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent

**Ə.B. Paşayev**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Искусственный Интеллект является современной наукой, возникшей во второй половине XX века на базе других прикладных дисциплин. При этом под выражением «Искусственный Интеллект» воспринимается научное направление, в границах которого определяется решение задачи создания аппаратного или программного продукта, предназначенного для моделирования интеллектуальной деятельности человека.

На сегодняшний день технология интеллектуального анализа данных (Data Mining) – одна из активно развивающихся областей информационных технологий, служащая для обнаружения практических, пригодных знаний из большого количества разнородных данных. Средства и методы Data Mining позволяют получить информацию, формирующую знания, а также закономерности, которые в дальнейшем служат в системах принятия решений, при управлении и контроле над более высокоуровневой информацией. Знания, добываемые методами Data Mining, среди которых необходимо назвать распознавание и кластеризацию, выделяющие различные однородные группы данных, принято представлять в виде моделей.

Задачи распознавания образов также включены в спектр проблем интеллектуального анализа данных. Посредством систем распознавания стало возможно решать достаточно широкий круг различных задач. От того существует или отсутствует прецедентная информация определяются задачи распознавания с обучением и без обучения. Задача распознавания, решение которой опирается на совокупность прецедентов, является классификацией с обучением. Когда имеют место векторы признаков, определенные для их некоторой выборки, но количество классов не известно, возникает задача размещения этих объектов по классам на основе подобия соответствующих векторов признаков. Эта задача называется распознаванием или кластеризацией без обучения. Выбор и выделение признаков играют здесь ключевую роль.

При решении практических задач скорее всего мы сталкиваемся с достаточно сложными процессами или явлениями. По сей день не разработан строгий формальный аппарат, предназначенный для создания моделей на научном, математическом языке сложных процессов или явлений, которые были бы тождественны моделируемому процессам или явлениям. Математическое моделирование пока еще является искусством, и немаловажно, что качество разработанных моделей в некотором отношении зависит от проницательности, чувствительности и интуиции исполнителей или производителей. Построение систем распознавания, базирующееся на накопленной информации, можно определить, как косвенную попытку обойти проблему математического моделирования.

Невзирая на множество работ, рассматривающих методы конструкций систем распознавания образов, в Data Mining существует еще много неизученных задач.

Рассмотренные ниже методы дают возможность принципиально нового отношения к проблеме синтаксического распознавания образов при подходе, когда решение задач начинается с построения формальной модели изучаемой ситуации, после чего дело сводится к решению соответствующих математических задач. Основы этого подхода заложены в известных работах Ю.И. Журавлева и его учеников, где раскрываются основные проблемы задач распознавания, К. Фу, относящихся структурным методам в распознавании образов, Д.А. Поспелова, посвященных рассмотрению различных отношений и операций с понятиями, а также в работах И. Новака, где освещены новые подходы к синтаксическому анализу данных в рамках нечеткой логики.

**Цель и задачи исследований.** Цель проведенного исследования - представление исходных данных подлежащего распознаванию объекта в рамках нечеткой логики в широком смысле и выделение информативных признаков или свойств и их информативных сочетаний из исходных данных.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Интенциональное и экстенциональное описание информативных признаков для представления определенных видов знаний в процессе распознавания
2. Установление принадлежности объекта к некоторому ранее неизвестному классу выделением наиболее характерных для объектов данного класса признаков путем концептуального исследования естественного языка
3. Решение задачи выявления значения информативности сочетаний признаков путем интерполяции функции принадлежности

**Методы исследований.** Исследования, проводимые в диссертационной работе, базируются на методах интеллектуального анализа данных, теории распознавания образов, автоматической классификации (кластер-анализ), теории нечетких множеств и нечеткой логики, современных информационных технологий.

**Научная новизна диссертации** заключается в следующих результатах, обладающих новизной и выносимых на защиту:

1. Доказаны утверждения о нахождении решения задачи распознавания, состоящей в выделении информативных признаков и их информативных сочетаний, в рамках нечеткой логики в широком смысле (FLb).
2. Разработана специальная алгебра, исследующая предикативные связи, используемые при разработке методик распознавания, основанных на интенциональном и экстенциональном способах задания знаний.
3. Показано, что данная алгебраическая методика позволяет рассмотреть сущность импликации, конъюнкции и дизъюнкции, стоящих в основе построения баз знаний, их взаимодействие со смежными категориями и исследовать семантическую категорию логических отношений.
4. Показано, что при использовании эксплицитного и имплицитного подходов, как возможных форм представления знаний, данные легко поддаются различным методам обработки, в том числе кластеризации.
5. Определен соответствующий индекс эффективности, сопровождающий удаление

признаков, характеризующихся малой информативностью.

**Теоретическая и практическая ценность.** С практической точки зрения, исследуемые задачи в данной диссертационной работе являются достаточно значимыми. Обобщая определения систем распознавания образов, можно сказать, что эти системы предназначены для решения задач классификации и подразумевают существование средств для соотнесения явлений, событий и объектов к определенным классам. Для построения алгоритмов и программ в задачах кластерного анализа, необходимо задать правила работы с единицами различных уровней естественного языка. Обобщенные языковые единицы определяются понятием синтагма, а синтагматическим сочетаниям присущи большие информативные свойства, так как в них присутствует вспомогательное сведение или дополнительная информация, базирующаяся на смысловой основе всего предложения. В данной диссертационной работе описание объекта синтагмой составляет основу моделирования выбора информативных признаков. Методы и алгоритм отбора информативных признаков при построении системы распознавания образов, рассмотренные в диссертации, могут составить теоретическую основу для разработки программного обеспечения в области математического моделирования.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на:

1. First International Conference On Soft Computing Technologies in Economy, Baku, Azerbaijan, 2007.
2. XII International Conference on Soft Computing and Measurements , 25-27 June, 2009, Sankt-Petersburg, Russia.
3. The third congress of the world mathematical society of Turkish countries. Almaty, June 30- July 4, 2009.
4. Ninth International Conference on Applications of Fuzzy Systems and Soft Computing, Prague, Czech Republic, August 26-27, 2010.
5. Third international conference “Problems of cybernetics and informatics”, Baku, Azerbaijan, September 6-9, 2010.
6. VII Научно-практической конференции «Достижения высшей школы», Болгария, София, 17-25 ноября, 2011.
7. Научном семинаре кафедры «Информационная экономика и технологии» Азербайджанского Государственного Экономического Университета.
8. Научном семинаре Института Прикладной математики Бакинского Государственного Университета.

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 11 работах автора, список которых приводится в конце работы.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, литературы из 137 названий. Общий объем работы – 121 страниц, основной текст – 109 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность исследуемой темы, сформулированы цели, отражены научная новизна и практическая ценность исследований, дается обзор работ, раскрывающих тему диссертации, и излагается краткое содержание работы.

**В первой главе** дается постановка задачи распознавания и классификации образов при четкой и нечеткой исходной информации, изложены основы теории нечетких множеств, введена концепция дизъюнктивных и конъюнктивных форм как специальных формул в нечеткой логике предикатов.

В § 1.1 приводится постановка задачи распознавания и классификации образов в стандартной форме [Ю.И. Журавлев. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации//Проблемы кибернетики, №33, 1978, с. 5-68].

Далее развернуто рассматривается проблема выбора информативных признаков и их информативных сочетаний в задачах распознавания, дается структурное описание признаков. Определена возможность формализации способов манипулирования знаниями в системах вывода экстенциональным и интенциональным методами.

Для полного раскрытия последующей информации введены основные и вспомогательные понятия и определения теории нечетких множеств и нечеткой логики.

В §1.3 подробно рассмотрена идея построения системы распознавания, основанная на вычислениях со словами, в которых первый шаг в определении множества конечных данных состоит в разъяснении, то есть в представлении предложений в их канонической форме. Следующий шаг включает распространение ограничений, которое осуществляется в результате использования правил вывода нечеткой логики. Третий и завершающий шаг в вычислении множества конечных данных включает ретрансляцию выведенных ограничений в предложения, выраженные на естественном языке. Все перечисленное требует обращения к нечеткой логике в широком смысле и использования лингвистического описания.

**Определение 1.** Расширение многозначной логики нечёткими подстановками, из которых могут быть сделаны градуированные выводы называется называется *нечёткой логикой в узком смысле* (fuzzy logic in narrow sense - FLn).

**Определение 2.** Расширение специальными свойствами FLn, нацеленное на моделирование естественного языка на базе градуированного подхода, называется *нечеткой логикой в широком смысле* (fuzzy logic in broad sense - FLb).

FLb предлагает способы математического моделирования человеческой речи, базирующемся на естественном языке. Таким образом, нечеткая логика в широком смысле (FLb) имеет возможность расширить возможности классической логики в тех областях, где классическая логика не может дать удовлетворительных решений.

Слова служат признаками «гранул» информации, можно сказать, что эти слова могут рассматриваться в качестве лингвистической переменной. Нечеткие «ЕСЛИ-ТО» правила, которые определены имплицированием, базируются именно на гранулировании информации.



Процедура нечеткого вывода определяется отдельной процедурой или алгоритмом, получающим нечеткие заключения, базирующихся на нечетких условиях.

В данном параграфе описан один из подходов к построению аппроксимирующих формул. Выражение нормальных форм применено к формальному переводу множеств из ЕСЛИ-ТО правил, которые широко используются в приложениях нечеткой логики для языковых описаний различных видов зависимостей. Установлено свойство аппроксимации нормальных форм и показано, что на синтаксическом уровне аппроксимация означает условную эквивалентность.

Способы моделирования в распознавании, основывающиеся на нечеткой логике посредством определенных правил, работают с информацией, наиболее полно выделенной в информативных сочетаниях признаков и используют данную информацию при распределении объектов по классам. Варьирование информативности какого-либо признака осуществляется разными средствами, главным среди которых является синтагматическое членение. Описание отношений требует посредством нетривиальных алгоритмов синтаксического анализа выделить те элементы предложения, которые обладают наибольшей информативностью. К таковым относятся синтагмы.

Логический анализ человеческого языка включает три понятия: возможный мир, интенционал и экстенционал.

Возможный мир – это категория модальной логики, которая нужна для определения истинности или ложности модальных утверждений.

Методология искусственного интеллекта в настоящее время нашла применение в различных проблемных сферах и областях, к разделам которого относится и распознавание образов, а для рабочих методик распознавания имеют большое значение способы представлений знаний. По Д.А. Поспелову можно распределить знания двумя способами:

- интенциональное, как сеть связей между атрибутами, то есть признаками.
- экстенциональное, которое оперирует конкретными фактами, например, объектами.

С помощью интенционального представления знаний определяется схема, которая фиксирует обоснованность и логичность связи, присутствующей в структуре данных. Напротив, экстенциональные представления знаний работают с конкретными объектами из некоторой предметной области, представляют и закрепляют их, при этом оперируют самими объектами, рассматриваемыми как целостные системы, а не характеристиками объекта в отличие от интенциональных методов.

В диссертационной работе рассматривается некоторое множество синтагм, которые являются объединением смысловых единств фраз естественного языка. В их основе лежат прилагательные и существительные, для которых определены операции конъюнкции, дизъюнкции, импликации и их комбинации.

В рамках всей диссертации доказывается, что наиболее информативную нагрузку в естественном языке несут синтагмы. В свете этого вводится следующее определение.

**Определение 3.** Пусть  $\mathcal{A}$  является оценочной синтагмой, то есть выражающей какую-либо оценку. Тогда синтагма, показывающая наличие у предмета некоторого признака, называется *оценочным предикатом*.

Как было сказано выше, средства нечеткой логики в раскрытии лингвистической семантики не позволяют в достаточной степени определить нюансы естественного языка. Таким образом рассматриваются синтагмы, определенные в FLb, затем представлен механизм, переводящий их в нечеткую логику в узком смысле. Для этого нам необходимо определить многосортный язык предикатов  $J$  как средство формализации.

**Определение 4.** Формулой оценки называется отношение вида

$$a / A,$$

где  $A \in F$  есть формула,  $a \in L$  - синтаксическая оценка формулы, то есть множество ее истинностных значений,  $F$  - множество корректно построенных формул соответствующих синтагм в языке  $J$ ,  $L$  - множество значений истинности.

**Определение 5.** Пусть  $A$  - это *атомарная* формула из множества корректно построенных формул соответствующих синтагм, то есть формула со свободными переменными  $x_1, \dots, x_n$ . Тогда множество формул оценок

$$\mathbf{A}(x_k) = \{a_{t_k} / A[t_k]\}, \quad k = \overline{1, n},$$

где  $t_k$  - есть замкнутые термы из соответствующего множества рассматриваемого языка, является оценочным предикатом и называется *мультиформулой*.

Как было сказано выше, синтагма  $\mathcal{A}$  ассоциируется с некоторым свойством объекта, несущего наибольшую информативность, исследование которой является основным предметом диссертации,  $A$  - соответствующая ей формула. Тогда мультиформула  $\mathbf{A}$  является интенционалом  $\mathcal{A}$ .

Определим интерпретацию некоторого класса истинных формул следующим образом:

$$\mathbf{M} = \langle M, R_M, \dots, f_M \rangle,$$

где  $M$  - область интерпретации,  $R_M$  - правила, по которым строятся отношения,  $f_M$  - конкретные функции (операции), участвующие в определении термов.

Интерпретация  $\mathbf{M}$  является возможным миром в структуре выбранного языка, а экстенционал синтагмы  $\mathcal{A}$  в данном возможном мире интерпретации  $\mathbf{M}$  есть нечеткое отношение

$$R_{\mathcal{A}, \mathbf{M}} = \{A[t_k] / \mathbf{M}[t_k]\}, \quad k = \overline{1, n},$$

где  $\mathbf{M}[t_k]$ ,  $k = \overline{1, n}$  являются интерпретациями термов  $t_k$ .

**Определение 6.** Лингвистической переменной называется тройка

$$\langle S, M, U \rangle,$$

где  $S$  - оценочные синтагмы из рассматриваемого нами множества,  $M$  - семантическое правило, согласно которому каждой оценочной синтагме  $\mathcal{A} \in S$  ставится в соответствие ее интенционал

$$\mathbf{A}(x_k) = \{a_{t_k} / A[t_k]\}, k = \overline{1, n},$$

и

$$U = \{ \mathbf{M} \mid \mathbf{M} \text{ является интерпретацией} \} -$$

множество возможных миров.

Таким образом, нам необходимо перевести абстрактные идеи, раскрывающие суть рассматриваемого предмета в термины нечеткой логики. Для этого, используя естественный язык, мы строим в нечеткой логике в широком смысле некоторую формальную систему  $\mathcal{T}$ , определенную синтагмами с соответствующими интенционалами.

Система  $\mathcal{T}$  переводима в систему  $T$  из FLn, если существует функция между двумя универсумами рассуждений, которая сохраняет (по крайней мере, в одну сторону) отношение дедуцируемости.

Необходимо заметить, очень важно то, что берется строгое определение дедуктивной системы (логики), относительно которой и ставится вопрос об алгебраизации. Итогом всего сказанного будет алгебраическая семантика или алгебраическая характеристика для некоторого класса логических систем.

Правила, выраженные оценочными предикатами и заложенные в базе знаний для преобразования некоторых, в нашем случае нечетких входных данных в выходные являются клаузами условных зависимостей и представляются в виде лингвистических описаний

ЕСЛИ  $\mathcal{A}$ , ТО  $\mathcal{B}$ .

Понятие лингвистического описания дает возможность приблизительно изображать сложные и не поддающиеся традиционному количественному описанию предметы и явления. Пусть  $\mathcal{A}_j, \mathcal{B}_j$  имеют соответствующие интенционалы  $\mathbf{A}_j, \mathbf{B}_j$ . При помощи синтагм и их интенционалов в диссертации рассмотрены два лингвистических описания - импликация и отношение.

Лингвистическое описание импликации средствами нечеткой логики в широком смысле позволяет рассматривать сущность этого явления и ее взаимодействие со смежными категориями и исследовать семантическую категорию импликации. Одним из двух видов значимостей, основанных на двух видах отношений и различий между элементами языковой системы, являются синтагматические отношения (ко второму виду относятся ассоциативные отношения). Данные отношения, состоящие из конъюнкций лингвистических предикатов, также являются объектами исследования нечеткой логики в широком смысле.

Согласно следующей теореме импликация, в основе которой лежат простые оценочные предикаты определяет истинное заключение, выводимое дедуктивно из вводимых данных и контекста в их совокупности. Данная теорема имеет цель выявления глубинного, семантического содержания предиката.

**Теорема 1.** Пусть имеем лингвистические описания импликаций, выраженных на естественном, точнее ограниченном как грамматически, так и лексически естественном

языке и определяющих базу, состоящей из  $n$  правил. Выделим  $k$ -ую оценочную синтагму  $\mathcal{A}_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Пусть синтагма  $\mathcal{A}'_k$  является возможной разновидностью  $\mathcal{A}_k$  с соответствующим интенционалом. Определим формальную теорию в FLb, используя модифицированные синтагмы и лингвистическое имплекативное описание.

Тогда можно получить наилучший вывод  $\mathcal{B}'_k$  с интенционалом, составленном из дизъюнкций произвольных логических отношений между различными синтаксическими оценками формулы  $A$ , определяющей  $\mathcal{A}_k$ , при этом значение интенционала вывода  $\mathcal{B}'_k$  будет максимальным.

Далее подробно рассмотрен нечеткий вывод, базирующийся на аппроксимации Мамдани, которая является обобщенным вариантом правила modus ponens. Решение задачи нечетко логического оценивания состоит в нахождении такого отношения  $R$ , при котором становится возможным получение наилучшего результата в смысле выводимости.

Каждое отношение является, по сути, предикатом, простым или составным, потому что смысл высказывания - это предикат, выражаемый этим высказыванием. Рассмотрим такой предикат  $\mathcal{R}$ , который представляет некоторое лингвистически описанное отношение  $R$  между двумя сравнимыми понятиями, состоящим из конъюнкций и дизъюнкций:

$$\mathcal{R} = \langle \text{объект} \rangle_1 \otimes \langle \text{объект} \rangle_2,$$

где  $\otimes$  - бинарная операция.

Его интенционалом является

$$\mathbf{R}(x, y) = \{r_{t_k s_k} / R[t_k s_k]\}, k = \overline{1, n}$$

где  $t_k, s_k$  - есть замкнутые термы из соответствующего множества рассматриваемого языка.

$\langle \text{Объект} \rangle_1$  характеризуется синтагмой  $\mathcal{A}$ ,  $\langle \text{объект} \rangle_2$  характеризуется синтагмой  $\mathcal{B}$ . Перепишем предикат  $\mathcal{R}$  следующим образом, вводя операцию импликации:

$$\mathcal{R} = \text{ЕСЛИ } \langle \text{объект} \rangle_1 \text{ есть } \mathcal{A} \text{ и } \langle \text{объект} \rangle_2 \text{ есть } \mathcal{B}, \text{ ТО } \mathcal{R}. \quad (1)$$

Так как система импликаций есть аргументация истинности выбранной теории, то условная клауза (1) является лингвистическим утверждением и рассматривается как истинная, то есть интенционал, выраженный импликацией, антецедентом которой являются конъюнкции формул, определяющих синтагмы  $\mathcal{A}$  и  $\mathcal{B}$ , а консеквентом – предикат  $\mathcal{R}$ , имеет максимальное значение, равное 1.

На основании вышесказанного сформулируем следующую теорему.

**Теорема 2.** Пусть имеем лингвистическое описание отношения, составляющим базу из  $n$  правил и истинных импликаций  $\mathcal{F}_k$ ,  $k = \overline{1, n}$  вида (1). Выделим  $k$ -ую оценочную синтагму  $\mathcal{A}_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Пусть синтагма  $\mathcal{A}'_k$  является возможной разновидностью  $\mathcal{A}_k$  с соответствующим интенционалом. Определим формальную теорию в FLb, используя модифицированные синтагмы и лингвистическое описание бинарного отношения.

Тогда можно получить наилучший вывод  $\mathcal{B}'_k$  с интенционалом, составленном из конъюнкции модификации синтагмы  $\mathcal{A}'_k$  и предиката  $\mathcal{R}$ , который, в свою очередь, является конъюнкцией синтаксических оценок формул, определяющих синтагмы  $\mathcal{A}$  и  $\mathcal{B}$ . При этом значение интенционала вывода  $\mathcal{B}'_k$  будет максимальным. Вместе с тем импликация, антецедентом которой является лингвистическое описание отношения, а консеквентом – предикат  $\mathcal{R}$  истинна в рассматриваемой теории в FLb.

Очевидно, что по этой теореме существование описанного предиката  $\mathcal{S}$  по формуле (1) влечет представление лингвистического описания в формальной теории отношением  $\mathcal{R}$  всякий раз, когда связь между некоторыми объектами определяется конъюнкцией оценочных предикатов. Но имплицирование в обратном направлении не дает нужного результата, требуя косвенных доказательств. Поэтому определим  $\mathcal{S}$  также в обратном порядке следующим образом

$$\mathcal{S} := \text{ЕСЛИ } \mathcal{R} \text{ и } \langle \text{объект} \rangle_1 \text{ есть } \mathcal{A}, \text{ ТО} \\ \langle \text{объект} \rangle_2 \text{ есть } \mathcal{B}.$$

**Теорема 3.** Пусть  $\mathcal{S}_k$ ,  $k = \overline{1, n}$  являются истинными условными клаузами вышеприведенного вида, определяющие формальную теорию в FLb с использованием лингвистического описания импликации. Тогда импликация, антецедентом которой является отношение  $\mathcal{R}$ , а консеквентом – лингвистическое описание отношения, истинна в рассматриваемой теории.

При всем многообразии исследований, посвященных изучению условных клауз, играющих одну из основных ролей в построении баз знаний систем распознавания, их лингвистические принципы проявления в достаточной мере не изучались. Таким образом, в первой главе достаточно подробно показано, что полное описание импликации возможно лишь с учетом не только концептуального, но и лингвистического подходов к рассмотрению этого явления.

**Во второй главе** рассматриваются представления об объекте, описываемые некоторой дискретной кривой, для которой необходимо использование меры информативности. Но в том случае, когда мы имеем дело только со значениями информативных признаков, но не их информативных сочетаний, представленных более сложными сведениями о структурной зависимости между информативностями отдельных точек относительно выбранного признака, это чревато со столкновением с неопределенностью выявления значения меры информативности. Следовательно, меру неизвестности об объекте, описываемом кривой информативности, можно скорректировать с помощью метода интерполяции.

Интерполяция - это определение последующих значений посредством специальным образом построенных функций, зависящих от значений признака в некоторых опорных точках. В работе эти опорные точки определены синтагмами.

$$f: \begin{array}{c|c|c|c|c} x & \text{Около } d_1 & \text{Около } d_2 & \dots & \text{Около } d_n \\ \hline y & \text{Около } e_1 & \text{Около } e_2 & \dots & \text{Около } e_n \end{array} \quad (2)$$

В § 2.2 определяется понятие интерполяции лингвистического термина. Лингвистическую интерполяцию можно рассматривать как двумерную интерполяцию термов, участвующих в следствиях рассматриваемого вывода.

**Определение 7.** Интерполяция лингвистического термина – это нечеткое множество, однозначно связанное с консеквентом нечеткой базы правил. Множество  $U$ , отвечающее определенным условиям, называется *интерполяцией лингвистического термина  $U$*  или  $ИЛТ_U$ .

Возвращаясь к нашей проблеме обозначим через  $\{\mathcal{A}_i, \mathcal{B}\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  множество синтагм, определенных своими интенционалами. Пусть нечеткая функция имеет область определения  $\mathcal{M} = \{\mathcal{A}_1, \dots, \mathcal{A}_n\}$  и  $\mathcal{G}$  область определения интерполирующей функции  $g$  и  $\mathcal{M} \subset \mathcal{G} \subseteq L^X$ . Пусть выбрано подмножество нечетких функций для нечеткой интерполяции. Наша цель – найти нечеткую функцию  $g \in \mathcal{N}$ , удовлетворяющую условию интерполяции

$$g(\mathcal{A}_i) = \mathcal{B}_i, i = 1, \dots, n.$$

Для описания интерполяции функции  $f$  будем использовать нечеткие отношения.

**Определение 8.** Формула  $A$  из множества корректно построенных формул соответствующих синтагм представляет собой усиленное нечеткое импликативное отношение, если в  $T$  доказуема истинность импликации, антецедентом которой являются конъюнкции свободных переменных  $x_1, \dots, x_n$  и нечетких равенств  $x_k \doteq y_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ , а консеквентом – формула  $A(y_1, \dots, y_n)$ .

Построим функцию  $f: A \rightarrow B$ , где  $A, B$  являются некоторыми множествами, определенными нечетко,  $A$  имеет нечеткие значения в точках  $d_k$ , а  $B$  – в точках  $e_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Этим множествам должны соответствовать определенные множества замкнутых термов в выбранном языке.

В терминах синтагм для последующего получения интерполирующей функции базу правил

$$\text{ЕСЛИ } X \text{ есть } \mathcal{A}_i \text{ ТО } Y \text{ есть } \mathcal{B}_i$$

перепишем следующим образом:

Чем больше входов  $\mathcal{A}$  приближены относительно  $\mathcal{A}_i$ ,  
тем больше выходов  $\mathcal{B}$  приближены относительно  $\mathcal{B}_i$ .

Обозначим через  $d_j, e_j$  замкнутые термы из множеств, соответствующих  $A$  и  $B$ , и пусть для непересекающихся нечетких значений «около  $d_j$ » и «около  $e_j$ » определены их интенционалы. Тогда определению значения функции  $g$  в одной неточно определенной точке вышеприведенной базы правил соответствует лингвистическое описание

$$\mathcal{L}D^A = \{\text{ЕСЛИ } X \text{ «около } d_0 \text{» ТО } Y \text{ «около } e_0 \text{»}\}, \quad (3)$$

присваивающее нечеткое значение  $e_0$  нечеткому значению  $d_0$ .

Таким образом, учитывая принятые посылки, косвенным путем определяем дедукцию, на основании которой по правилам аппроксимации из входа  $d_0$  выводится выход  $e_0$ .

Степень истинности утверждений « $d$  около  $d_0$ » и « $e$  около  $e_0$ » определена их заранее заданными функциями принадлежности  $\mu$  и  $\nu$  соответственно. Эти два утверждения соединены операцией конъюнкции. С точки зрения нечеткой логики конъюнкцией является соответствующая  $t$ -норма  $t$ . Следовательно, степень, с которой  $e$  соответствует надлежащему выходу для  $d$  обеспечивается формулами

$$\mu(d) t \nu(e) \quad (4)$$

$$f(d) \approx e \leftrightarrow d \approx d_0 \wedge e \approx e_0. \quad (5)$$

Расширим рассмотренное лингвистическое описание (3) следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathcal{LD}_i^A = \{ \text{ЕСЛИ } X \text{ «около } d_0^i \text{»} \\ \text{ТО } Y \text{ «около } e_0^i \text{»} \mid i \in I \}, \end{aligned} \quad (6)$$

которое определяет нечеткую функцию  $G$ . В соответствии с интерпретацией (3) в смысле (5) мы ассоциируем (6) с формулой

$$f(d) \approx e \leftrightarrow (\exists i \in I)(d \approx d_0^i \wedge e \approx e_0^i). \quad (7)$$

Следовательно, каждое описание  $\mathcal{LD}_i^A$  нечетко определяет выход для одного нечеткого входного значения, и нужно проверить для каждого входа  $d$  все описание  $\mathcal{LD}_i^A$ . Если  $d$  подходит для «около  $d_0^i$ », тогда «около  $e_0^i$ » является подходящим для  $e$ .

Таким образом, при заданном входе  $d$  получим выходное нечеткое множество

$$\nu(e) = \bigvee_{i \in I} (\mu^i(d) t \nu^i(e)). \quad (8)$$

Преимущество использования нечетких значений, представленных нечеткими множествами, следующее. В четком случае (7) определяет только частичную функцию без дополнительной информации о том, как частичная функция  $G$  может быть расширена до функции  $g$ . Если мы берем нечеткие значения, тогда все пространство входных значений покрывается правилами (7), то есть расширение  $g$  возможно.

Относительно (6) следует, что конечная функция может быть эквивалентно описана или импликацией или дизъюнкцией конъюнкций. Таким образом, можно обобщить предложенную концепцию системы со многими входами, используя правила вида

$$\begin{aligned} \mathcal{LD}_i^A = \{ \text{ЕСЛИ } X_1 \text{ «около } d_1^i \text{» И...И } X_n \\ \text{«около } d_n^i \text{» ТО } Y \text{ «около } e_0^i \text{»} \mid i \in I \}, \end{aligned} \quad (9)$$

Система правил описывает функцию в смысле (7), то есть

$$f(d_1, \dots, d_n) \approx y \leftrightarrow (\exists i \in I)(d_1 \approx d_1^i \wedge \dots \wedge d_n \approx d_n^i \wedge e \approx e_0^i). \quad (10)$$

(9) определяет нечеткую теорию, построенную на лингвистическом описании отношения FLb такую, что нечеткая теория  $T$  является непротиворечивой. Нашей основной целью, представляющей самую большую сложность, является нахождение сильного предположения дедукции.

**Теорема 4.** Введем новый предикатный символ, не принадлежащий языку  $J$  и объединим теорию  $T$  с истинным отношением, состоящего из дизъюнкций конъюнкций нечетких равенств

$$x \doteq d_k$$

и

$$y \doteq e_k.$$

Тогда для каждого терма в новой теории можно определить свою мультиформулу, определяющую интенционал, истинность которой определяется дизъюнкцией конъюнкций  $a_{t_k}$  и  $b_{s_k}$ .

Следствием этой теоремы является то, что лингвистическое описание  $\mathcal{LD}^A$  (3) определяет нечеткую функцию, выражающее нечеткое отношение, которое расширяет рассматриваемую теорию.

Заключением данного теоретического материала в рамках рассматриваемой проблемы интерполяции является то, что нечеткая функция  $g$  интерполирует функцию  $f$  в том смысле, что она совпадает с ней в значениях, заданных в таблице (2), и интенционал, рассмотренный в теореме дает нам исчерпывающую информацию о значении  $f$  при условии, что задан ее аргумент в виде терма, принадлежащего одному из двух множеств замкнутых термов, то есть множеств термов, которые не содержат свободных переменных. Значение  $g$  тогда предоставлено некоторым термом, принадлежащего другому из множеств замкнутых термов.

Как было сказано, количество неопределенности об объекте, являющегося специфическим понятием теории информации, описываемое мерой информативности, например, при анализе знаний, заданных в виде высказываний экспертов, можно скорректировать с помощью метода интерполяции. Применительно к нечеткой среде рассматриваемых лингвистических описаний нечеткое разбиение интерполяции может быть описано шкалирующей функцией.

В описанном в диссертации процессе шкалирования получаем результирующее нечеткое множество  $A'$  при данном исходном множестве  $A$  и делении шкалы  $\varepsilon$ .  $\varepsilon$  отражает степень сходства между  $A$  и  $A'$ : чем ближе  $\varepsilon$  к 1, тем они более подобны. Те же самые умозаключения применяются и для преобразования промежуточного вывода  $B^*$  в результирующий  $B'$ . В итоге для описания шкалирующей функции был предложен подход, при котором в базу правил введено новое промежуточное правило, и простыми вычислениями обеспечивается промежуточный результат вывода.

**В третьей главе** дается обзор проблемы кластерного выбора информативных данных из их большой совокупности, выбора информативных характеристик некоторого объекта из более широкого множества его характеристик. Возможными формами представления знаний являются эксплицитный и имплицитный подходы. Знания, представленные в данной форме, легко поддаются различным методам обработки, в том числе кластеризации.



В § 3.1 представлены эксплицитное и имплицитное знания на основе лингвистического описания.

Имплицитный метод при увеличении информативности признака работает с помощью процедуры сжатия информации за счет уменьшения объема признаковой области с удержанием объема самой информации.

Эксплицитный способ увеличивает информативность посредством расширения объема этой информации.

В § 3.3 наглядным образом на основе алгоритма нечетких  $c$ -средних производится сокращение признакового пространства путем гранулирования информации и представлен экспериментальный результат.

Пусть множество признаков, которые должны быть объединены в кластеры, находится в  $n$ -мерном пространстве вещественных чисел,  $X = (x_1, \dots, x_n)$ , где  $x_k \in R^n$ . Число кластеров равно « $c$ ». Здесь в качестве функции расстояния используется евклидово расстояние

$$\|a - b\| = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - b_i)^2}{\sigma_i^2},$$

где  $a$  и  $b$  являются образами (векторами) в  $R^n$ ,  $\sigma_i$  – стандартное отклонение  $i$ -го признака. Данный тип взвешенного расстояния означает, что все признаки обладают идентичным влиянием при выражении сходства между образами. Основным результатом кластеризации представлен в виде прототипов (центроидов) кластеров  $v_1, \dots, v_c$ .

Выделение информативных признаков определено циклическим алгоритмом, основная идея которого заключена в ранжировании коэффициентов при соответствующих признаках по уменьшению абсолютной величины в результате последовательного исключения показателя, несущего наименьшую информативность. Обозначим через  $I$  множество индексов (номеров признаков), содержащихся во множестве натуральных чисел  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ , то есть  $I = \{i_1, \dots, i_n\}$ . Будем использовать обозначение  $I \subset N$  для выделения определенного подмножества из общего множества признаков:

$$j \in I : \text{признак " } j \text{ " принадлежит множеству } I.$$

$n$ -мерную лингвистическую переменную можно представить как совокупность символьных значений, для каждой из которых обусловлена функция принадлежности  $\mu_i$ , определенная на множестве из  $n$  шкал. В дальнейшем будем обозначать через  $\mu(x_k)$   $c$ -мерный вектор степеней принадлежности, который будет представлен в результате работы алгоритма кластеризации. Кроме того, через  $\mu(x_k, I)$  мы выразим  $c$ -мерный вектор степеней принадлежности, вычисленных для информативных признаков в  $I$ . Более конкретно

$$\mu(x_k, I) = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \|x_k - v_i\|_I / \|x_k - v_j\|_I \right)^{2/p-1}}, \quad p > 1.$$

Через  $\|\cdot\|_I$  обозначим функцию расстояния, ограниченную признаками в  $I$ .

Первоначальные значения принадлежностей вычисляются на основе:

$$\mu(x_k) = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (\|x_k - v_i\| / \|x_k - v_j\|)^{2/p-1}}.$$

Теперь любая комбинация признаков из  $I$  может быть оценена выражением, подразумевающим насколько  $\mu(x_k, I)$  отличается от первоначального  $\mu(x_k)$ . Сумма всех расстояний между образами выражается формулой

$$Q(I) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (\mu_i(x_k, I) - \mu_i(x_k))^2.$$

Чем выше значение этого индекса, тем более существенным является вклад сочетаний признаков, удаленных из  $N$ .

В эксперименте используется база данных, доступная на сайте <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Housing>

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В процессе исследований по теме диссертации автором решены поставленные научные задачи и получены следующие результаты:

1. Доказаны утверждения о нахождении решения задачи распознавания, состоящей в выделении информативных признаков и их информативных сочетаний, в рамках нечеткой логики в широком смысле (FLb).
2. Разработана специальная алгебра, исследующая предикативные связи, используемые при разработке методик распознавания, основанных на интенциональном и экстенциональном способах задания знаний.
3. Показано, что данная алгебраическая методика позволяет рассмотреть сущность импликации, конъюнкции и дизъюнкции, стоящих в основе построения баз знаний, их взаимодействие со смежными категориями и исследовать семантическую категорию логических отношений.
4. Показано, что при использовании эксплицитного и имплицитного подходов, как возможных форм представления знаний, данные легко поддаются различным методам обработки, в том числе кластеризации.
5. Определен соответствующий индекс эффективности, сопровождающий удаление признаков с малой информативностью.

### Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. Aliyeva T.A., Azadova M.H., Rzayeva U.Sh. Forecasting of more informative attributes and their informative combinations of oil wells with neural networks/ First Intern. Conference On Soft Computing Technologies in Economy, Baku, Azerbaijan, November 19-21, 2007, p. 60-61.

2. Kerimov A.K., Rzayeva U.Sh. About one approach to the decision of problem of the cluster analysis by approaching of continuous functions and FL- relations/ XII International Conference on Soft Computing and Measurements , 25-27 June, 2009, S.-Petersburg, Russia, p. 45-48.
3. Kerimov A.K., Rzayeva U.Sh. About one problem fuzzy clustering of objects on the base of fuzzy logic in a broad sense / The Third congress of the World Mathematical Society of Turkic Countries, Almaty, Kazakhstan, June 30- July 4, 2009, p. 27-32.
4. Kerimov A.K., Rzayeva U.Sh. Fuzzy interpolation of partial functions of membership, characterizing affinity of objects to each other and objects to class/ Ninth International Conference on Applications of Fuzzy Systems and Soft Computing, Prague, Czech Republic, August 26-27, 2010, p.229-235.
5. Kerimov A.K., Rzayeva U.Sh. On the basis of fuzzy logic in a broad sense the choice of supporting subsets in fuzzy cluster analyses/ The Third International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”, Baku, Azerbaijan, September 6-9, 2010, p. 143-145.
6. Рзаева У.Ш. Нечеткая кластеризация объектов в рамках нечеткой логики в широком смысле// Вестник БГУ. Серия физико-математических наук, №2, 2011, с. 80-88.
7. Керимов А.К., Рзаева У.Ш. Кластеризация объектов с помощью лингвистических описаний в рамках теории FLb// Искусственный интеллект и принятие решений, №3, 2011, с. 11-16.
8. Рзаева У.Ш. Логический вывод на базе нечетких правил аппроксимации в рамках FLb // Вестник БГУ. Серия физ.-мат. наук, №4, 2011, с. 92-100.
9. Керимов А.К., Рзаева У.Ш. Моделирование информативных сочетаний признаков с помощью языковых единиц в рамках формальной теории FLb // Известия НАНА. Серия физ.-мат.наук, №6, 2011, с. 3-8.
10. Рзаева У.Ш. Моделирование информативных признаков и их сочетаний в рамках формальной теории FLb/Материалы VII Научно- Практической Конференции «Достижения Высшей Школы», Болгария, София, 17-25 ноября, 2011, с. 49-54.
11. Kerimov A.K., Rzayeva U.Sh. The problem of functions' fuzzy interpolation within formal theory // International Journal of Applied Mathematics and Statistics, vol.27, 3, 2012, p. 124-133.

Личный вклад соискателя в работы, выполненные в соавторстве:

В работе [1] У.Ш. Рзаевой был предложен и разработан алгоритм автоматической классификации выбора информативных признаков объекта.

В работах [2-5, 7, 9,10, 11] постановки задач принадлежат А.К. Керимову, результаты получены У.Ш. Рзаевой.

**FL-MÜNASİBƏTLƏR ƏSASINDA TANIMA SİSTEMİNİN QURULMASI VƏ  
TƏHLİLİ**

**XÜLASƏ**

Dissertasiya işinin məqsədi tanınan obyektin ilkin verilənlərin geniş mənada qeyri-səlis məntiq (FLb) çərçivəsində təqdim edilməsi və onların arasından informativ əlamətlərin və xassələrin seçilməsidir.

Tədqiqatda informasiyanın qranullaşdırılması əsasında qavrama və qərarqəbuletmədə bəzi bəşəri mülahizələri modelləşdirilmişdir.

Surətlərin tanınma sistemləri təsnifat məsələlərinin həlli üçün nəzərdə tutulmuşdurlar. Bu işdə həllini tapmış təsnifat məsələsi klaster-analiz alqoritmi ilə realizə olunmuşdur. Surətlərin tanınmasında istifadə edilən informativ əlamətlərin və onların informativ birləşmələrinin modelləşdirilməsi FLb əsasında sintaqmalar vasitəsilə aparılmışdır. Dissertasiya işində obyektin həcmi və tərkibi nöqtəyi-nəzərindən onun sintaqma ilə təsviri informativ əlamətlərinin modelləşdirilməsinin əsasını təşkil edir. Dilin prinsiplial rolu olan insan mülahizələrinin riyazi modeli yaradılmasına yönəldilmiş geniş mənada qeyri-səlis məntiqin şərh olunmasına istiqamətləndirilir. İmlikasiyaların istifadəsində və nəticələrin maksimal dərəcəsinin alınmasında müəyyən şərtləri təyin edən lemma, müəyyən düsturlarda konyunksiyaların dizyunksiyaları ilə alınmış hər hansı bir münasibətin əsasında həqiqilik dərəcəsinə təyin edən üç teorem isbat olunmuşdur. Mamdaninin qeyri-səlis approksimasiya qanunu FLb terminləri çərçivəsində linqvistik sintaqmaların nəzərdən keçirilməsinin nəticəsi kimi qəbul edilir. Yenə FLb terminləri ilə qismən verilən funksiyanın qeyri-səlis interpolyasiyasının təsviri və linqvistik aparat vasitəsilə interpolyasiya olunan qeyri-səlis funksiyanı təyin edən şərtlər təqdim olunmuşdur.

Dissertasiyada təqdim olunmuş metodlar müxtəlif qərar qəbuletmə sistemlərinin qurulmasında, dinamik sistemlərin davranışının qiymətləndirilməsində, sosioloji və sosial-iqtisadi proseslərin təhlilində, tibbi, metereoloji və ekoloji vəziyyətlərin proqnozlaşdırılmasında istifadə oluna bilər.

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF THE RECOGNITION SYSTEM BASED  
ON FL-RELATIONS**

**SUMMARY**

The purpose of dissertational work is the representation of the initial data of recognized object within fuzzy logic in broad sense (FLb), and the selection of informative features or attributes and their informative combinations from input data.

Generalizing the definition of pattern recognition systems, we can say that these systems are designed to solve the problems of classification. The task of classification is implemented in this dissertation by the algorithm of cluster-analysis. The modeling of informative combination of features of the object, through which there is a recognition of the image, carried with the help of syntagms by extension of classical logic, called fuzzy logic in broad sense (FLb). In the dissertation description of the object by syntagm in terms of volume and content of the object, denoted by the word, is the basis of simulation of informative features. Concepts and definitions of FLb, aimed at creating of mathematical model of human reasoning, in which natural language plays fundamental role are presented in the dissertation. The lemma, which determines the conditions under which it is possible to obtain the maximum degree of deducibility using implications, three theorems that determine the degree of deducibility and truth in the case where relation is obtained by disjunction of conjunctions of certain formulas are proved. Mamdani's fuzzy rule approximation, considered in terms of FLb, obtained as a conclusion by considering of linguistic syntagms. Further, the fuzzy interpolation of partially defined functions are described in terms of FLb.

The methods presented in dissertation can be used in different decision-making systems, in estimating of the behavior of dynamic systems, in the analysis of the sociological and socio-economic processes, in prediction of medical, meteorological and environmental conditions.