МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске

Кафедра вычислительной техники

УДК: 004.05 (079.2)

О-66

**Орлов Артем Игоревич**

СПОСОБ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Выпускная квалификационная работа на соискание квалификации

**Магистр**

Направление подготовки

**09.04.01 – Информатика и вычислительная техника**

Профиль подготовки

**Информационное и программное обеспечение автоматизированных систем**

Студент группы ВМ-21 (маг) А. И. Орлов

Научный руководитель

д.т.н., профессор В. В. Борисов

*Допускается к защите*

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор А. С. Федулов

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Смоленск – 2023

Аннотация

ЗАМЕНИТЬ

ABSTRACT

ЗАМЕНИТЬ

Оглавление

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc137650140)

[1 АНАЛИЗ ЗАДач И СПОСОБОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ 2](#_Toc137650141)

[1.1 Анализ нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650142)

[1.1.1 Нечеткие когнитивные модели Б. Коско 2](#_Toc137650143)

[1.1.2 Нечеткие когнитивные модели В. Силова 2](#_Toc137650144)

[1.1.3 Нечеткие продукционные когнитивные модели и их обобщенная разновидность 2](#_Toc137650145)

[1.1.4 Нечеткие реляционные когнитивные модели 2](#_Toc137650146)

[1.1.5 «Совместимые» нечеткие когнитивные модели 2](#_Toc137650147)

[1.2 Анализ существующих способов структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650148)

[1.2.1 Структурно-параметрическая настройка нечетких когнитивных моделей Коско 2](#_Toc137650149)

[1.2.2 Структурно-параметрическая настройка нечетких когнитивных моделей Силова 2](#_Toc137650150)

[1.2.3 Параметрическая настройка «совместимых» нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650151)

[1.3 Постановка задачи исследования 2](#_Toc137650152)

[1.4 Выводы по главе 2](#_Toc137650153)

[2 РАзработка способа структурно-параметрической настройки нечетких конгитивных моделей на основе генетических алгоритмов 2](#_Toc137650154)

[2.1 Общее описание способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650155)

[2.2 Алгоритмы генетических операторов структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650156)

[2.2.1 Оператор генерации новой особи 2](#_Toc137650157)

[2.2.2 Оператор скрещивания 2](#_Toc137650158)

[2.2.3 Оператор мутации 2](#_Toc137650159)

[2.2.4 Оператор селекции 2](#_Toc137650160)

[2.3 Генетический алгоритм структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650161)

[2.4 Выводы по главе 2](#_Toc137650162)

[3 разработка программных средств структурно-параметрической настройки нечетких конгитивных моделей на основе генетических алгоритмов 2](#_Toc137650163)

[3.1 Требования к функционалу программных средств 2](#_Toc137650164)

[3.2 Разработка архитектуры программных средств 2](#_Toc137650165)

[3.3 Разработка основных алгоритмов 2](#_Toc137650166)

[3.4 Разработка пользовательского интерфейса 2](#_Toc137650167)

[3.5 Выводы по главе 2](#_Toc137650168)

[4 Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетки когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов 2](#_Toc137650169)

[4.1 Методика оценки качества разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650170)

[4.2 Методика оценки производительности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей 2](#_Toc137650171)

[4.3 Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на примере когнитивной модели «Качество городской среды города Смоленска» 2](#_Toc137650172)

[4.4 Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на примере когнитивной модели «Моделирование системы обнаружения предаварийной ситуации» 2](#_Toc137650173)

[4.5 Выводы по главе 2](#_Toc137650174)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 2](#_Toc137650175)

[Перечень сокращений и условных обозначений 2](#_Toc137650176)

[Список литературы 2](#_Toc137650177)

[Приложение А 2](#_Toc137650178)

[Ариложение Б 2](#_Toc137650179)

[Приложение В 2](#_Toc137650180)

ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Одним из активно развивающихся направлений исследований в области поддержки и принятия решений является изучение возможности управления сложными и слабоструктурированными системами и ситуациями [1]. Такие системы плохо поддаются традиционным методам исследования и моделирования из-за отсутствия точной количественной информации о происходящих в них процессах, а доступная исследователю качественная информация часто является неполной и противоречивой. Другая трудность связана с тем, что управленческие решения зачастую приходится принимать быстро и в постоянно изменяющихся условиях.

Несмотря на вышеперечисленные сложности, существуют подходы, позволяющие исследовать такие системы, среди которых особо выделяется нечеткий когнитивный подход. Он позволяет формализовать разрозненные, неполные и противоречивые знания экспертов о слабоструктурированной системе с помощью единой когнитивной модели. Такая модель задается в виде ориентированного взвешенного графа. Вершины графа соответствуют концептам – значимым для цели моделирования и управления факторам системы, а дуги отражают причинно-следственные связи между концептами.

Когнитивный подход нашел широкое применение для моделирования и управления различными организационно-технологическими и социально-экономическими системами. К первым, например, можно отнести моделирование предаварийной ситуации [2] или управление запасами топлива на станции [3]. А ко вторым анализ развития социально-экономических ситуаций [4] или моделирование инвестиционной деятельности муниципального образования [5]. Повышение качества и оперативности такого моделирования и управления является перспективным направлением для дальнейших исследований.

Для нечетких когнитивных моделей разработаны различные модели системной динамики, позволяющих ответить на вопрос о том, как моделируемая система будет изменяться с течением времени [6]. Однако кроме прогнозирования такое моделирование по времени может помощь в принятии управленческих решений. Сформулировав цель управления, эксперт может обозначить такое состояния когнитивной модели, достижение которого, по его мнению, будет обозначать достижение поставленной цели. После этого можно попытаться настроить структуру и начальные параметры когнитивной модели таким образом, чтобы она в конечном итоге попала в желаемое конечное состояние. Настроенную когнитивную модель возможно использовать для получения списка управленческих задач, выполнение которых в реальном мире приведет к выполнению цели управления.

Однако задача структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели является сложной. Классические алгоритмы оптимизации не обладают достаточной оперативность для ее решения при большом количестве концептов и связей в модели. Одним из многообещающих подходов является использование генетических алгоритмов, методов оптимизации, вдохновленных естественным процессом эволюции. Этот подход может помочь повысить качество и оперативность структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели.

Вопросы настройки нечетких когнитивных моделей при помощи генетического алгоритма рассмотрены в работах [7-11]. В данных работах задача настройки нечетких когнитивных моделей ограничивается лишь изменением отношений взаимовлияния между концептами или изменением вектора начального состояния концептов и, кроме того, ориентирована на отдельные разновидности нечетких когнитивных моделей. Однако для задач анализа сложных и слабоструктурированных систем и ситуаций востребованным является не только эти разновидности параметрической настройки указанных моделей, но и их структурно-параметрическая настройка, заключающаяся в возможности одновременного изменения значений концептов, весовых коэффициентов отношений взаимовлияния между концептами, состава концептов, а также перечня отношений взаимовлияния между концептами.

Кроме разработки способа структурно-параметрической оптимизации, необходимо предоставить удобный инструмент для его применения менеджерами и экспертами в различных областях. Большинство существующих приложений для разработки когнитивных моделей являются десктопными, что осложняет совместную работу над моделью и возможность делиться результатами. Поэтому разработка веб-приложения для осуществления структурно-параметрической настройки с возможностью совместной работы над когнитивной моделью является важной задачей.

Таким образом, задача разработки способа и программных средств структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов является актуальной, т.к. ее выполнение позволит повысить качество и оперативность управления сложными и слабоструктурированными системами при помощи когнитивного подхода.

**Объектом исследования** процессы построения, настройки и использования нечетких когнитивных моделей для анализа сложных систем и процессов. **Предметом исследования** является способы и программные средства структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.

**Целью исследования** является повышение качества и оперативности структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе использования генетических алгоритмов.

**Научная задача** квалификационной работы заключается в разработке и исследовании способа и программных средств структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.

Для этого необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать нечеткие когнитивные модели, а также методы и подходы к их структурно-параметрической настройке.
2. Создать способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.
3. Разработать алгоритмы и программные средства структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.
4. Оценить качество и оперативность структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе предлагаемого способа и программных средств.

В ходе работы над квалификационной работой использованы следующие **методы исследований**: нечеткого когнитивного моделирования, объектно-ориентированного и функционального проектирования и программирования, модульного тестирования.

**Обоснованность** научных результатов и выводов, представленных в работе, определяется корректным применением использованных методов исследования и подтверждается результатами компьютерного моделирования. **Достоверность** научных положений подтверждена соответствием теоретических положений и результатов экспериментов на основе компьютерного моделирования и итогами применения разработанного программного средства, а также апробацией основных результатов.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

Разработан новый способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов, позволяющий повысить качество и оперативность такой настройки для решения задачи управления сложными и слабоструктурированными системами.

**Практическую значимость** работы составляют следующие результаты:

1. Разработан генетический алгоритм, обеспечивающий программную реализацию предложенного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей.
2. Созданы алгоритмы и программные средства структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.

**На защиту выносятся** следующие положения:

1. Способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов.
2. Алгоритмы и программные средства, реализующие структурно-параметрическую настройку нечетких когнитивных моделей с помощью предложенного способа.

**Апробация работы.** ЗАМЕНИТЬ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений и условных обозначений и списка литературы, включающего X наименований. Работа содержит X страниц машинописного текста, X рисунков, X таблиц, 3 приложения.

Во введении определена актуальность темы исследования, определены цель и задачи исследования, представлено краткое содержание по главам.

В первой главе были проанализированы основные типы нечетких когнитивных моделей, а также их динамические модели. Затем были показаны существующие способы структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей. Далее, исходя из выявленных недостатков этих способов, была поставлена задача разработки нового способа с использованием генетических алгоритмов, который позволил бы повысить качество и оперативность такой настройки.

Во второй главе был описан разработанный способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей с использованием генетического алгоритма. В этом способе генетический алгоритм подбирает состояние управляющих концептов и веса управляющих связей таким образом, чтобы исследуемая системе в результате моделирования перешла в некоторое целевое состояние, задаваемое исследователем.

В третьей главе ЗАМЕНИТЬ

В четвертой главе ЗАМЕНИТЬ

В заключении охарактеризованы результаты выпускной квалификационной работы.

В приложениях представлено задание на выпускную квалификационную работу, исходный код разработанных программных средств и скриншоты тестирования.

1. АНАЛИЗ ЗАДач И СПОСОБОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ
   1. Анализ нечетких когнитивных моделей

Традиционная когнитивная модель представляет собой инструмент для формализации, анализа и моделирования сложных и слабоструктурированных систем и ситуаций. Такая модель задается в виде ориентированного графа, в котором вершины соответствуют концептам – значимым для цели моделирования факторам предметной области, а дуги отражают причинно-следственные связи между концептами. Дуги могут быть помечены знаками «+» (положительное влияние) и знаком «–» (отрицательное влияние), поэтому такие когнитивные модели также называют знаковыми.

Впервые знаковые когнитивные модели описал Р. Аксельрод для изучения процессов принятия решений политическими элитами [12]. Впоследствии благодаря наглядности представления анализируемых систем и ситуаций, а также односильной легкости интерпретации с помощью причинно-следственных связей, такие модели нашли широкое применение в различных сферах, таких как психология, социология, экономика, менеджмент, медицина, урбанистика и др. для анализа структуры и динамики исследуемых систем.

Традиционные когнитивные модели предоставляют широкие возможности для анализа сложных систем и ситуаций. Они позволяют исследователям определить ключевые понятия, их взаимосвязи, а также иерархический и неиерархический характер отношений. Кроме того, такие модели позволяют изучать поведение системы, исследуя причинно-следственные связи между концептами. Это позволяет идентифицировать циклы обратной связи и определить последствия различных вмешательств или изменений, что в свою очередь позволяет анализировать устойчивость системы.

Однако из-за бинарности отношений знаковые когнитивные модели позволяют исследовать характер протекающих процессов в системе лишь качественно и не дают точной количественной оценки силы влияния между концептами. Это ограничивает возможности анализа и моделирования систем, в которых присутствует неточность или неопределенность отношений. Для решения этой проблемы исследователями были предложены различные варианты нечетких когнитивных моделей.

Кроме расширенных возможностей анализа такие модели позволяют осуществлять количественное моделирование по времени, в котором время дискретно и представлено в виде безразмерной шкалы моментов , , , …, . Между модельным и физическим временем предполагается некоторое соответствие, которое задается исследователем. Для каждого момента времени последовательно осуществляется расчет состояния концептов. Формула такого расчета, называемая динамической моделью, зависит от разновидности когнитивной модели, типа моделируемой системы, перечня решаемых задач и используемых средств моделирования. Возможность динамического моделирования обеспечивает широкую применимость нечетких когнитивных моделей в сфере управления и системах принятия решений.

Среди нечетких когнитивных моделей известны следующие разновидности: нечеткие когнитивные модели Б. Коско, нечеткие когнитивные модели В. Силова, нечеткие продукционные когнитивные модели и их обобщенная разновидность, нечеткие реляционные когнитивные модели, а также «совместимые» нечеткие когнитивные модели. Рассмотрим каждую из этих разновидностей, уделив внимание применяемым в них динамическим моделям.

* + 1. Нечеткие когнитивные модели Б. Коско

Нечеткие когнитивные модели Б. Коско являются первым предложенным вариантом нечетких когнитивных моделей [13]. В этих моделях причинно-следственные связи между концептами могут принимать значения в диапазоне от -1 до 1, отражая тем самым степень влияния одного концепта на другой. Концепты при этом могут изменяться в диапазоне от 0 до 1, позволяя тем самым осуществлять моделирование по времени. Разновидностью нечетких когнитивных моделей Коско, предложенной в работах [14, 15] являются модели, в которых диапазон изменения значений концептов расширен до [-1; 1].

Проблема учета отрицательных весов влияния одного концепта на другой решается за счет применения правила замены каждой связи вида на связь вида [13]. Таким образом, если в концепт входит хотя бы одна отрицательная связь, то он разделяется на два, в один из которых входят все положительные связи, а в другой все отрицательные связи, взятые по модулю.

Влияние нескольких входных концептов на выходной концепт может быть аккумулировано следующим образом [13]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.1) |

где и – значение входного и выходного концептов; – число концептов, у которых есть связь с концептом ; – вес связи между концептами и ; – функция для нормализации результата вычислений в диапазоне от 0 до 1.

Данное влияние схоже с воздействием входных нейронов на выходной в однослойном перцептроне, поэтому в качестве функции нормализации в формуле (1.1) часто используется сигмоидальная функция:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | , . | (1.2) |

Более простым вариантом функции нормализации является кусочно-линейная функция, отсекающая значения, выходящие за пределы диапазона [0; 1]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | . (1.3) |

Основные типы моделей динамики были предложены Робертсоном при описании импульсных процессов в ориентированных графах [16] и в применении к нечетким когнитивным моделям Коско могут быть описаны с помощью следующих формул:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.4) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.6) |

где , – дискретные моменты времени; – номер выходного концепта; – общее число концептов модели; , – состояние и приращение значения -го выходного концепта ; , – состояние и приращение значения -го входного концепта; – вес влияния концепта на концепт ; – число входных концептов для -го выходного концепта; – описанная выше функция нормализации.

В работе [17] по аналогии с тремя динамическими моделями Робертсона предложена четвертая модель:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.7) |

Модели (1.4) – (1.7) не позволяют учитывать наличие петель в графе нечеткой когнитивной модели, поэтому в статьях [18, 19] было предложена новая динамическая модель, которая решает данную проблему, а также позволяет «сглаживать» изменение значений концептов в процессе моделирования:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.8) |

Несмотря на то, что когнитивные модели Коско называются нечеткими, в работе [17] отмечается, что их нельзя считать таковыми в полной мере, т.к. нечеткие множества требуют объявления базового множества и степени принадлежности к нему, а в рассматриваемых когнитивных моделях определена лишь степень принадлежности. Кроме того, в этих моделях не применяется математический аппарат теории нечетких множеств Заде.

* + 1. Нечеткие когнитивные модели В. Силова

В нечетких когнитивных моделях В. Силова когнитивная модель представляет собой причинно-следственную сеть, в которой веса связей лежат в диапазоне от 0 до 1 [20], что делает ее похожей на нечеткую когнитивную модель Коско. Анализ когнитивной модели в работе Силова осуществляется при помощи нечеткой когнитивной матрицы смежности. Проблема учета отрицательных весов влияния одного концепта на другой, как и в модели Коско, решается за счет разделения одного концепта на два. В модели Силова это разделение осуществляется за счет построения матрицы положительных связей размера .

Для определения взаимовлияния концептов и решения задач когнитивного моделирования Силов вводит так называемую каузальную алгебру, которая является разновидностью регулярной алгебры. Эта алгебра задается четверкой , где – множество нечетких матриц; – операция ; – макстриангулярная композиция, \* – унарный оператор замыкания.

Статический системный анализ когнитивной модели осуществляется при помощи расчета системных показателей, таких как взаимный консонанс, диссонанс, положительное и отрицательное влияние концептов друг на друга и на систему в целом. Для определения путей, которые привели к той или иной зависимости между концептами используется так называемый алгоритм интеллектуального когнитивного агента, который позволяет найти максимально положительный и отрицательный пути на графе или максимальный консонанс (диссонанс) между двумя концептами.

Динамическая модель в работе Силова выражается в виде матричного уравнения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.9) |

где – вектор, характеризующий состояние концептов в момент времени ; – вектор, характеризующий состояние концептов в момент времени ; – операция T-нормы; – операция S-нормы.

По аналогии с когнитивными моделями Коско, используя в качестве T-нормы операцию умножения, а S-нормы – операцию максимума, для пары концептов может быть получена следующая модель динамики:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.10) |

Такая модель из-за использования функции учитывает только наибольшее влияние, что снижает чувствительность результата к входным воздействиям и плохо согласуется с физическим смыслом некоторых моделируемых систем [17].

Когнитивные модели Силова используют математический аппарат нечеткой логики, поэтому они, в отличие от моделей Коско, могут быть названы действительно нечеткими. Однако в этих моделях, как и в моделях Коско, для связей применяется лишь степень принадлежности, а базовое множество не определено.

* + 1. Нечеткие продукционные когнитивные модели и их обобщенная разновидность

В работе [21] были предложены нечеткие продукционные когнитивные модели, или по-другому нечеткие когнитивные модели, основанные на правилах. В таких моделях каждый концепт представлен набором функций принадлежности, которые определяют возможные значения концепта или возможные значения его изменения, а связи между концептами выражены в виде нечетких продукционных правил вида «Если …, то». Передача влияния между концептами осуществляется на основе алгоритма нечеткого логического вывода Мамдани.

Для объединения влияния нескольких входных концептов на выходной концепт в [22] вводится специальная операция нечеткого аккумулирования с переносом. В ней разные функции принадлежности входных концептов объединяются с помощью совмещения максимумов. Далее с помощью новой функции принадлежности получают одноточечные значения принадлежностей, которые затем суммируются, а превышение над единицей приводит к переполнению и переносу в сторону значения, представляющего большую вариацию.

Развитием идеи нечетких продукционных когнитивных моделей стали обобщенные нечеткие продукционные когнитивные модели [23]. Каждый концепт такой модели () описывается соответствующей лингвистической переменной , где – терм-множество лингвистической переменной [24] типовых состояний концепта; – число типовых состояний данного концепта; – базовое множество . Для описания термов () используются нечеткие переменные , где – нечеткое множество в базовом множестве :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | , . | (1.11) |

Веса влияния () между типовыми состояниями каждой пары концептов задаются одним из значений терм-множества лингвистической переменной , где – терм-множество лингвистической переменной ; – число значений ; – базовое множество . Для описания термов используются нечеткие переменные , которые описываются нечеткими множествами в базовом множестве (, , , ) следующего вида:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | , . | (1.12) |

Для обобщенных нечетких продукционных когнитивных моделей может быть предложена следующая модель динамики:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.13) |

где , – нечеткие множества, представляющие значение уровней входного концепта и приращение этого концепта; , – нечеткие множества, представляющие значения уровня и приращения выходного концепта ; – операция нечеткого алгебраического сложения; – нечеткий оператор отображения нескольких входов на один выход; – нечеткий оператор, характеризующий силу влияния концептов по их абсолютным значениям. В работе [25] в качестве нечетких операторов и предлагается использовать нечеткие продукционные модели типа Мамдани.

* + 1. Нечеткие реляционные когнитивные модели

В работе [26] были предложены нечеткие реляционные когнитивные модели, основанные на теории нечетких бинарных отношений Заде [27]. В этих моделях концепты представлены нечеткими множествами, а связи между концептами задаются в виде бинарных нечетких отношений. Такая когнитивная модель может быть удобно описана с помощью матрицы нечетких отношений , элементами которой являются нечеткие отношения , определяющие силу влияния концепта на :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.14) |

где – общее число концептов когнитивной модели.

Передача влияния между двумя концептами когнитивной модели осуществляется на основе нечеткой композиции:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.15) |

где – значение входного концепта в виде нечеткого подмножества множества ; – значение выходного концепта в виде нечеткого подмножества множества ; – нечеткое отношение между входным и выходными концептами; – операция нечеткой композиции.

В реляционных когнитивных моделях существуют два основных способа интерпретации и описания отношений между концептами, представления концептов и передачи влияния между ними. При использовании первого способа нечеткое отношение задается в виде функции принадлежности, зависящей от двух четких переменных базовых множеств входа и выхода. Такая функция может быть задана аналитически, представляя тем самым непрерывную поверхность над плоскостью значений принадлежностей нечетких множеств входного и выходного концептов или с помощью матрицы принадлежностей к нечеткому множеству отношения, построенной по декартовому произведению значений принадлежности нечетких множеств двух концептов.

Во втором способе нечеткие отношения строятся на основе лингвистической нечеткой продукционной модели, включающей в себя нечеткие правила следующего вида:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | : ЕСЛИ есть , ТО есть , | . (1.16) |

где – входная переменная; , – лингвистические термы; – выходная переменная; , , , в общем случае – нечеткие множества, определенные на базовом множестве четких переменных , , и заданные соответствующими функциями принадлежности.

Нечеткое отношение формируется для всей базы правил по следующей формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | . (1.17) |

Для нечетких реляционных когнитивных моделей динамическая модель принимает следующий вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.18) |

где , , , – нечеткие значения концептов в соответствующие моменты времени; – число входных концептов; – нечеткое отношение между концептами; – операция нечеткого агрегирования совокупных влияний и предыдущего значения выходного концепта; – операция агрегирования отдельных влияний; – операция приращения нечетких значений концептов; – операция нечеткой композиции.

* + 1. «Совместимые» нечеткие когнитивные модели

Последней рассматриваемой разновидностью нечетких когнитивных моделей являются «совместимые» нечеткие когнитивные модели, предложенные в работе [28]. Эти модели возникли из-за необходимости учитывать совместимость концептов при определении влияния между ними, а также при аккумулировании влияния нескольких входных концептов на выходной концепт.

Формально «совместимая» нечеткая когнитивная модель задается следующим образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.19) |

где – множество концептов; – множество весов влияния концептов друг на друга; – множество степеней совместимости пар концептов, [25].

Трактовка совместимости концептов зависит от особенностей решаемой задачи и целей исследования и либо задается экспертами, либо получается в результате экспериментов, либо вычисляется с помощью различных косвенных способов.

Для расчета влияния входного концепта на выходной концепт используется семейство параметризированных функций , удовлетворяющих аксиомам нормировки, неубывания, непрерывности и бисимметричности [29]. При этом в зависимости от решаемой задачи могут быть использованы следующие выражения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.20) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.21) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.22) |

где – значение выходного концепта ; , – значение и приращение входного концепта ; , . Для предотвращения выхода значения концепта за границы разрешенного диапазона можно использовать функцию нормализации, например, сигмоидальную.

Для типизации выбора операций в зависимости от критериальных уровней совместимости концептов можно воспользоваться таблицей 1.1 [30].

Таблица 1.1 – Сопоставление операций оценки влияния концептов с уровнями их совместимости

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Операция «взвешивания» нечеткого влияния | Критериальные уровни совместимости | |
| Обозначение | Описание |
| 1 |  | NC | Низкий уровень |
| 2 |  | LC | Уровень ниже среднего |
| 3 |  | MC | Средний уровень |
| 4 |  | HC | Уровень выше среднего |
| 5 |  | FC | Высокий уровень |

Аккумулирование влияния нескольких входных концептов , на выходной концепт может быть выполнено с использований двух основных стратегий: либо от наименьшей к наибольшей степени согласованности концептов, либо от наибольшей к наименьшей степени согласованности концептов. Для построения динамической модели, используя формулу (1.20), можно предложить следующий двуместный предикат :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.23) |

где при использовании стратегии от наименьшей к наибольшей степени согласованности и при использовании стратегии от наибольшей к наименьшей степени приспособленности.

Итоговая динамическая модель выглядит следующим образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | . (1.24) |

* 1. Анализ существующих способов структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

Моделирование нечеткой когнитивной модели по времени с использованием различных динамических моделей для получения ее конечного состояния в момент времени является прямой задачей. Такое моделирование может ответить на вопрос является ли исследуемая система устойчивой, а также определить ее реакцию на изменение начального состояния.

Однако часто требуется определить такое начальное состояние системы, которое в определенный момент времени приводит ее в желаемое целевое состояние. Такая задача называется обратной и часто используется в системах управления и принятия решений. Часто решение такой задачи называют настройкой или, по аналогии с нейронными сетями, обучением нечеткой когнитивной модели. Настройка, при которой искомое начальное состояние выражается в виде значений концептов и силы связи между ними, называется параметрической. Если же в результате настройки некоторые концепты могут быть добавлены в модель или удалены из модели, то такая настройка называется структурной. Рассмотрим известные способы структурной и параметрической настройки.

* + 1. Структурно-параметрическая настройка нечетких когнитивных моделей Коско

В структурном и вычислительном отношении нечеткая когнитивная модель Коско похожа на нейронную сеть, в частности на перцептрон. Основным отличием между ними является тот факт, что веса в нейронной сети настраиваются для решения какой-то практической задачи, а веса в нечеткой когнитивной модели задаются экспертами исходя из их понимания моделируемой системы. В этот отношении когнитивная модель является белым ящиком, т.к. понятно, за что отвечает каждый концепт и каждая связь. Нейронная сеть, в свою очередь, является черным ящиком из-за того, что определить за что отвечает отдельный нейрон в промежуточном слое и отдельная связь возможно лишь в самых тривиальных случаях. Вычисление с помощью нейронной сети похоже на динамическое моделирование нечеткой когнитивной модели, однако для нейронной сети, как правило, рассчитывается только одна итерация, а нечеткие когнитивные модели могут моделироваться в течение нескольких отсчетов модельного времени, аккумулируя тем самым предыдущие результаты. Также нечеткие когнитивные модели могут не моделироваться совсем и использоваться исключительно для статического анализа.

Перечисленные различия могут оказаться несущественными, если для когнитивной модели необходимо подобрать только значения весов связей. В таком случае когнитивную модель можно настроить, используя метод обучения с учителем. Такой подход представлен в работе [31]. В ней авторы обучают нечеткую когнитивную модель Коско, предназначенную для стратегического управления бизнесом. В качестве обучающей выборки используются значения концептов, полученные в результате наблюдения или эксперимента. В роли динамической модели выступает формула (1.5), поскольку она является эквивалентом математической модели нейрона без инициализации и сдвига. Начальные веса задаются маленькими случайными значениями, а для изменения значений весов используется метод градиентного спуска.

Такое параметрическое обучение предоставляет определенные возможности по изменению структуры модели, поскольку определенные концепты могут быть исключены из нее, если все их связи в результате настройки установятся в 0. Добавление концептов в модель также возможно. Для этого необходимо соединить концепт-кандидат со всеми остальными концептами и осуществить обучение. Если в результате хотя бы одна связь получила значение отличное от 0, то гипотезу от том, что этот концепт входит в систему можно считать подтвержденной.

В работе [32] была исследована возможность обучать нечеткую когнитивную модель при помощи дифференциального алгоритма обучения Хэбба. Данный алгоритм осуществляет обучение без учителя и не требует обучающей выборки. Основная идея состоит в обновлении тех весов когнитивной модели, которые непосредственно связаны с изменениями значений концептов. Если значения концептов изменяются в одном направлении, то алгоритм увеличивает вес связи, в противном случае, если значения концептов изменяются в противоположном направлении, алгоритм уменьшает вес связи.

Веса связей когнитивной модели в дифференциальном методе обучения Хэбба изменяются по следующей формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.25) |

где – изменение значения входного концепта ; – изменение значения выходного концепта ; и – сила связи между концептами и в момент времени и ; – коэффициент используемый для того, чтобы постепенно забывать старые веса и заменять их новыми.

Коэффициент рассчитывается по следующей формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.26) |

Полный алгоритм с применение формулы (1.25) выглядит следующим образом:

1. Начальные веса задаются небольшими случайными значениями.
2. Осуществляется итерация динамического моделирования с использованием модели динамики (1.5).
3. На основании полученных значений концептов по формуле (1.25) осуществляется изменения весовых коэффициентов связей.
4. Цикл с шага 2, пока значения концептов не стабилизируются с заданной точностью.

Обучение нечеткой когнитивной модели Коско с использованием алгоритма Хэбба также можно условно считать структурно-параметрическим. Добавление и удаление концептов может быть осуществлено с использованием той же методики, что и при использовании стратегии обучения с учителем.

Основная проблема при применении алгоритма Хэбба заключается в том, что при изменении веса связи между двумя концептами и учитываются только эти два концепта, а остальные игнорируются. Для аккумулирования влияния остальных концептов в работе [33] была предложена модификация этого алгоритма, получившая названия балансового дифференциального алгоритма обучения Хэбба. В данной модификации формула изменения связей выглядит следующим образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.27) |

Кроме измененной формулы модифицированный алгоритм аналогичен оригинальному.

Еще одним способом структурной-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей Коско является использование генетических алгоритмов. Такой подход в целом является более мощным чем рассмотренные ранее, поскольку позволяет осуществлять точечную настройку. Так, например, генетический алгоритм позволяет настраивать веса отдельных связей модели, зафиксировав остальные. Кроме того, он дает возможность настраивать начальный вектор значений концептов при фиксированных весах связей.

Обучению нечетких когнитивных моделей Коско при помощи генетических алгоритмов посвящено большое количество публикаций. В работе [7] для получения итоговой матрицы весов связей между концептами используется обучающая выборка, что делает такую настройку схожей с настройкой методом градиентного спуска. В статье [8] также настраивается матрица весов между концептами, но уже при помощи одного вектора начального состояния, что делает такой способ похожим на обучение посредством алгоритма Хэбба. Отмеченная выше возможность настраивать вектор начального состояния концептов при фиксированных связях также изучалась и была представлена в работе [9].

* + 1. Структурно-параметрическая настройка нечетких когнитивных моделей Силова

Метод параметрической настройки нечетких когнитивных моделей Силова представлен в работе [20]. В ней осуществляется поиск векторов начального состояний концептов. Для описания метода преобразуем модель динамики (1.9) к следующему выражению:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.28) |

где – матрица, называемая когнитивной системой.

Условно матрицу можно разбить на матрицы – «состояния», – «управления», – выхода, где номеру нулевой строки матрицы будет соответствовать номер столбца в матрице «управления» , а номеру нулевого столбца матрицы будет соответствовать номер строки в матрице «выхода» . Вектор можно разделить на векторы , , , где – вектор управляемых концептов, – вектор концептов-состояний, – вектор выходных концептов. В результате из формулы (1.28) можно получить:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.29) |

При разделении (1.29) получить следующие выражения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.30) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.31) |

Под действием вектора значения концептов изменяются, поэтому, усиливая или ослабляя «управляющие» концепты, можно добиться усиления или ослабления концептов «состояния», в том числе и желаемого, целевого. Поэтому настройка нечеткой когнитивной модели заключается в поиске множества начальных векторов управляющих концептов при заданном нечетком векторе – цели по состояниям.

Для решения задачи необходимо найти множество нечетких векторов , которое обеспечит решение

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.32) |

где искомый целевой вектор; ; – передаточная матрица .

Такое реляционное уравнение имеет одну верхнюю границу решения и множество нижних решений. В соответствии с условиями существования обратных решений, множество решений уравнения определяется из условия:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | , | , (1.33) |

Использование генетических алгоритмов для настройки нечеткой когнитивной модели Силова было исследовано в работе [10]. В ней в отличии от метода описанного выше настраиваются веса связей модели, а не значения концептов. Авторы указывают, что задача сводится к определению приращений значений концептов, возникающих в модели при внесении в нее изначального вектора приращений значений концептов. Исходными данными алгоритма служат 3 вектора начальных значений концептов , , в моменты времени , , соответственно. В качестве хромосомы используется одномерный массив значений, в который разложен двумерный массив весов модели. Исходный вектор приращений задается формулой:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.34) |

а результирующий – формулой:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | . (1.35) |

Обучение состоит в минимизации ошибки, вычисляемой по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1.36) |

где – приращение -го фактора, полученное в результате прогноза на исходном векторе .

В работе [11] также представлен способ настройки весов связей нечеткой когнитивной модели Силова с помощью генетического алгоритма. В ней когнитивное моделирование применяется для построения системы принятия решений. Из всего множества концептов нечеткой когнитивной модели выбираются те концепты, которые выражают цели управления – список концептов-целей, а также концепты, влияние на которые отражает все возможные действия, которые можно применить для достижения целей – список концептов-действий. В когнитивную модель также добавляется дополнительный концепт – решение. Данный концепт соединяется связями со всеми концептами из списка концептов-действий. Веса этих связей определяют, с какой силой воздействует концепт-решение на все концепты-действия. Далее путем настройки силы этих связей с помощью генетического алгоритма, происходит поиск самого эффективного и достоверного решения. Основными особенностями настройки нечеткой когнитивной модели в данной работе является то, что настройка осуществляется не при помощи модели динамики, а с помощью системных показателей, а также то, что настройке подвергается лишь часть связей.

* + 1. Параметрическая настройка «совместимых» нечетких когнитивных моделей

Для определения значений или диапазонов значений различных концептов «совместимой» нечеткой когнитивной модели по заданному значению (диапазону значений) целевого концепта используются разработанные в [29] правила определения значений (диапазонов значений) аргументов и параметризированных операций типа по значению представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Правила определения значений (диапазонов значений) аргументов и параметризированной операции по результирующему значению

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Условия | | | | |
|  |  | или |  |  |
| Вариант решения 1 |  |  |  |  | 0 |
| Вариант решения 2 |  |  |  | 0 | 0 |
| – нижняя граница оценок искомых значений и позволяющая ограничивать варианты решений условиями и , устанавливая в соответствии | | | | | |

Эти правила применимы как для определения значений (диапазонов значений) входного концепта по значению непосредственно связанного с ним выходного концепта, так и для случая определения значений входных концептов по аккумулированному значению выходного концепта. Во втором случае требуется учитывать очередность операций, в зависимости от выбранной стратегии аккумулирования влияний.

* 1. Постановка задачи исследования

Из анализа существующих способов структурно-параметрической настройки видно, что все они могут быть разделены на два основных типа. В первом исходными данными является вектор (вектора) начального состояния концептов модели, а настройке повергается матрица связей между концептами. Такая настройка похожа на обучение нейронной сети, поэтому для нее применяются известные способы обучения, такие как обучение с учителем при помощи градиентного спуска или обучение без учителя с помощью алгоритма Хэбба. Кроме того, для такой настройки могут применяться генетические алгоритмы. В частности, генетические алгоритмы позволяют настраивать только часть связей модели.

Во втором типе настройке подвергается вектор начального состояния концептов при фиксированных весах связей. Как правило, при таком обучении концепты делятся на управляющие и целевые. Первые могут изменить свои значения в результате настройки, а вторые отражают цель, стоящую перед исследователем. Для осуществления настройки используются теоретические методы решения обратной задачи системной динами, хотя использование генетических алгоритмов также возможно.

Из этого следует, что существующие способы в основном направлены на осуществление параметрической настройки только по одной из двух координат. Структурная настройки при применении некоторых из этих способов возможна, но ее возможности сильно ограничены. Однако в реальных задачах может потребоваться обучить нечеткую когнитивную модель одновременно по двум координатам. При таком обучении по аналогии с управляющими концептами может быть введено понятие управляющих связей. Кроме того, в существующих способах на значения концептов и на веса связей между ними не накладывается никаких ограничений, но при этом в реальных системах такие ограничения могут присутствовать, и для их получения может быть использован экспертный подход.

Еще одним недостатком известных способов является тот факт, что все они направлены на обучение только одного типа нечетких когнитивных моделей. Вместе с тем анализ разновидностей моделей показал, что, несмотря на различия в значениях концептов и связей, для каждой из них может быть построена схожая динамическая модель.

Исходя из вышесказанного, задача исследования состоит в разработке обобщенного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей, позволяющего обучать любую из их разновидностей по двух координатам с учетом ограничений, наложенных экспертами. В данном способе должны быть применены генетические алгоритмы из-за гибкости и оперативности этого подхода. Таким образом, предлагаемый обобщенный способ должен повышать качество структурно-параметрической настройки за счет использования двух координат и ограничений, а также оперативность настройки за счет использования генетических алгоритмов.

Для демонстрации созданного способа структурно-параметрической настройки требуется разработать программные средства, позволяющие обучать нечеткие когнитивные модели Коско и Силова с возможностью использования любой модели динамики, доступной для этих разновидностей когнитивных моделей.

* 1. Выводы по главе

В данной главе были проанализированы основные разновидности нечетких когнитивных моделей, такие как нечеткие когнитивные модели Коско, нечеткие когнитивные модели Силова, обобщенные нечеткие продукционные когнитивные модели и их обобщенная разновидность, нечеткие реляционные когнитивные модели, а также «совместимые» нечеткие когнитивные модели. Для каждой из разновидностей была описана динамическая модель, позволяющая осуществлять моделирование по времени.

Далее были описаны известные способы структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей Коско, Силова, а также «совместимых» нечетких когнитивных моделей.

В завершении были выявлены недостатки существующих способов настройки и поставлена задача разработки обобщенного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей с использование генетических алгоритмов, позволяющего повысить качество и оперативность такой настройки.

1. РАзработка способа структурно-параметрической настройки нечетких конгитивных моделей на основе генетических алгоритмов
   1. Общее описание способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

Как было обозначено в первой главе, разрабатываемый способ структурно-параметрической настройки должен быть применим к различным типам нечетких когнитивных моделей, таким как нечеткие когнитивные модели Коско, нечеткие когнитивные модели Силова, обобщенные нечеткие продукционные когнитивные модели, нечеткие реляционные когнитивные модели, а также «совместимые» нечеткие когнитивные модели.

При применении разработанного способа нечеткая когнитивная модель любой разновидности строится с использованием экспертного подхода по известным принципам. Затем из всех концептов модели выделяют управляющие и целевые. Первые отражают факторы, на которые можно повлиять и скорректировать таким образом поведение и конечное состояние моделируемой слабоструктурированной системы. Вторые представляют собой важные для исследования факторы, которые невозможно изменить непосредственно. Конечное состояние целевых концептов зависит от начального состояния управляющих.

На значения управляющих концептов могут быть наложены некоторые ограничения, которые выражают тот факт, что на реальные системы можно оказывать влияние лишь в некотором разрешенном диапазоне. Для нечетких когнитивных моделей Коско и Силова, а также «совместимых» нечетких когнитивных моделей ограничение концепта задается в виде отрезка или интервала в области определения значений концептов от 0 до 1. Ограничение для обобщенных нечетких продукционных моделей и нечетких реляционных когнитивных моделей может быть представлено в виде отрезка, интервала или множества значений из базового множества концепта. Примеры ограничений концептов для различных типов нечетких когнитивных моделей представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Примеры ограничений концептов для различных типов нечетких когнитивных моделей

|  |  |
| --- | --- |
| **Нечеткая когнитивная модель** | **Примеры ограничений** |
| Нечеткая когнитивная модель Коско |  |
| Нечеткая когнитивная модель Силова |  |
| Обобщенная нечеткая продукционная когнитивная модель |  |
| Нечеткая реляционная когнитивная модель |  |
| «Совместимая» нечеткая когнитивная модель |  |

Для целевых концептов задаются значения, отражающие желаемое состояние системы. Вид этих значений для различных типов нечетких когнитивных моделей аналогичен виду ограничений, накладываемых на управляющие концепты, и выражается в виде отрезков, интервалов или множеств, заданных на области определения значений соответствующих целевых концептов.

Среди связей нечеткой когнитивной модели также выделяют управляющие. Значение силы этих связей не известно исследователю заранее, а может изменяться в процессе настройки в рамках определенных ограничений. Изменение силы управляющей связи приводит к изменению конечного состояния целевых концептов в результате моделирования. Для нечетких когнитивных моделей Коско и Силова ограничение связи задается в виде отрезка или интервала в области определения силы связей от -1 до 1. Ограничение для обобщенных нечетких продукционных моделей может быть представлено в виде отрезка, интервала или множества значений из базового множества связи. Для нечетких реляционных когнитивных моделей ограничение выражается в виде матрицы отрезков или интервалов, определяя тем самым границы, в рамках которых может изменяться нечеткое отношение. Для «совместимых» нечетких когнитивных моделей ограничение описывается в виде двуместного кортежа отрезков или интервалов, в котором первый элемент определен в границах от -1 до 1 и выражает ограничение, накладываемое на силу связи, а второй – в границах от 0 до 1 и задает ограничение, накладываемое на степень совместимости концептов. Примеры ограничений связей для различных типов нечетких когнитивных моделей представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Примеры ограничений связей для различных типов нечетких когнитивных моделей

|  |  |
| --- | --- |
| **Нечеткая когнитивная модель** | **Примеры ограничений** |
| Нечеткая когнитивная модель Коско |  |
| Нечеткая когнитивная модель Силова |  |
| Обобщенная нечеткая продукционная когнитивная модель |  |
| Нечеткая реляционная когнитивная модель |  |
| «Совместимая» нечеткая когнитивная модель |  |

Если разновидность нечеткой когнитивной модели позволяет использовать несколько динамических моделей, то для любого концепта может быть выбрана любая из них. Так, например, для концепта нечеткой когнитивной модели Коско может быть выбраны любая из моделей: (1.4), (1.5), (1.6), (1.7). Установка динамической модели для отдельных концептов не является обязательной, поскольку ко всем концептам модели может применяться единая модель динамики, устанавливаемая при запуске структурно-параметрической настройки.

После выбора управляющих концептов и их ограничений, целевых концептов и их значений, динамических моделей для каждого концепта, а также управляющих связей и их ограничений запускается генетический алгоритм структурно-параметрической настройки, в котором особь представляет собой часть нечеткой когнитивной модели, у которой значения управляющих концептов и связей установлены в некоторые значения, удовлетворяющие установленным ограничениям.

Для каждой особи выполняется динамическое моделирование, определяющее ее приспособленность. При этом ошибка, непосредственно влияющая на приспособленность, для отдельного целевого концепта на некотором шаге моделирования определяется следующим образом. Если полученное значение этого концепта попадает в заданный целевой диапазон, то ошибка считается равной 0.

В противном случае ошибка вычисляется по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (2.1) |

где– полученное значение целевого концепта в момент времени , а – минимальное значение целевого диапазона, если находится слева от диапазона, и максимальное значение, если находится справа.

Поскольку не все из рассматриваемых систем является устойчивыми, моделирование с разными значениями максимального модельного времени может привести систему в разное состояние. Для учета этого фактора будем считать, что исследователю известен некоторый диапазон модельного времени, в котором он хочет найти решение. Тогда в качестве ошибки будем рассматривать минимальную ошибку, полученную в течение этого диапазона.

Результатом применения генетического алгоритма должна стать нечеткая когнитивная модель, состояние которой после моделирования является наиболее близким к искомому целевому состоянию. Если в результате применения алгоритма удовлетворительное решение не было найдено, то исследователю необходимо попробовать либо изменить его настройки, либо установить менее жесткие ограничения на управляющие концепты и связи, т.к. возможно, что в рамках установленных ограничений решения не существует.

Стоит отметить, что в рассмотренном способе путем изменения состояния управляющих концептов и связей осуществляется не только параметрическая настройка, но и структурная. Если существует концепт-кандидат, который может быть потенциально включен в модель для достижения поставленной цели, то необходимо сделать все его связи с другими концептами управляющими, наложив такие ограничения, чтобы нулевое значение попадало в разрешенный диапазон. Таким образом, в результате настройки все связи с концептом-кандидатом могут установиться в 0, что означает, что цель достигается при отсутствии влияния этого концепта на остальные. Интерпретация данного факта остается за исследователем. Если влияние концепта-кандидата в реальной системе и так отсутствует, но его возможно добавить, то такой концепт следует убрать из рассмотрения и исключить из модели. Если же влияние в реальной системе существует, но его можно снизить до 0, то такое снижение должно стать задачей управления, а концепт необходимо оставить в модели.

Если исследователь может влиять не на связи концепта-кандидата, а на его значение, то вместо связей управляющим должен стать сам концепт. При решении об его удалении следует руководствоваться теми же принципами, что и для управляющих связей.

Аналогично концепту-кандидату в модель может быть добавлена связь-кандидат. Такая связь должна быть управляющей для принятия решения об ее включении в модель. Ситуация, при которой управляющими становятся концепты, которые соединяет связь-кандидат, также возможна, но ее интерпретация более сложна и зависит от моделируемой системы и целей исследователя.

* 1. Алгоритмы генетических операторов структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

Как было отмечено выше, в рассматриваемом способе структурно-параметрической настройки особь выражается в виде состояния управляющих концептов и весов управляющих связей. Вид такой особи представлен на рисунке 2.1, где – хромосома состояний управляющих концептов; – число управляющих концептов; – хромосома весов управляющих связей; – число управляющих связей.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Рисунок 2.1 – Вид особи

Для реализации генетического алгоритма требуются операторы генерации новой особи, скрещивания, мутации и селекции. Рассмотрим каждый из этих операторов.

* + 1. Оператор генерации новой особи

Пусть ограничения, накладываемые на управляющие концепты, представлены в виде списка , где каждый элемент является отрезком, интервалом или пустым значением null, а – границы областей определения значений управляющих концептов, тогда схема алгоритма генерации хромосомы представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Схема алгоритма генерации хромосомы

Данный алгоритм генерирует значение управляющего концепта в диапазоне возможно наложенного ограничения . Алгоритм генерации хромосомы выглядит аналогично, за тем исключением, что для нечеткой реляционной когнитивной модели алгоритм генерирует матрицу реляционного отношения для каждой связи, а для «совместимой» нечеткой когнитивной модели – двуместный кортеж.

* + 1. Оператор скрещивания

Хромосомы содержат действительные числа, поэтому в качестве метода скрещивания целесообразно выбрать скрещивание смешением [34]. Каждый потомок при таком скрещивании случайным образом выбирается из следующего отрезка, созданного родителями и :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (2.2) |

где – константа от 0 до 1.

Значение родителя должно быть больше значения родителя . Если это не так, то родители меняются местами. Константа определяет ширину отрезка. При значении отрезок получается в два раза шире, чем между родителями, поэтому такое значение является наиболее целесообразным. Однако полученный таким методом отрезок может выходить за пределы диапазона, установленного ограничением или областью определения значений концепта или силы связи, поэтому его необходимо соответствующим образом скорректировать.

Схема алгоритма скрещивания двух хромосом управляющих концептов и представлена на рисунке 2.3. Алгоритм скрещивания двух хромосом управляющих связей строится аналогично. Итоговый алгоритм скрещивания с вероятностью, равной генерирует двух потомков, используя эти два алгоритма, а с вероятностью копирует родителей в следующее поколение без скрещивания.



Рисунок 2.3 – Схема алгоритма скрещивания хромосом и

* + 1. Оператор мутации

Для осуществления мутации хромосомы необходимо заменить один из ее генов на новый. Получение нового случайного значения гена осуществляется аналогично получению отдельного значения при генерации хромосомы. Выполнять мутацию необходимо с некоторой вероятностью. Пусть вероятность одновременной мутации обеих хромосом и особи равняется , а вероятность мутации только одной из хромосом равняется , тогда в одной половине случаев вероятности мутаций хромосом и равны и соответственно, а в другой половине случаев эти вероятности равны и . Схема алгоритма мутации особи представлена на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Схема алгоритма мутации особи

* + 1. Оператор селекции

Для выполнения селекции необходимо рассчитать приспособленность всех особей текущего поколения. Чтобы осуществить это для каждой особи выполняется моделирование по времени, способ которого зависит от разновидности нечеткой когнитивной модели. Итоговая ошибка особи вычисляется по следующей формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (2.3) |

где – значение целевого концепта в момент времени ; – искомое целевое значение концепта ; – минимальное время, в котором осуществляется поиск решения; – максимальное время, в котором осуществляется поиск решения; – число целевых концептов.

Целевое значение концепта задается в виде диапазона, поэтому значение может быть получено по следующей формуле, если диапазон является отрезком:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (2.4) |

где – целевой отрезок.

Таким образом, чем меньше ошибка особи, тем выше ее приспособленность, а задача структурно-параметрической настройки сводится к минимизации этой ошибки. Для демонстрации на рисунке 2.5 представлена схема алгоритма моделирования по времени нечеткой когнитивной Коско с использованием динамической модели 1.6 и расчетом ошибки по формулам 2.3 и 2.4. В данном алгоритме – общее число концептов; – общее числе связей; – список концептов; – список связей; – список целевых концептов.



Рисунок 2.5 – Схема алгоритма моделирования нечеткой модели Коско с расчетом ошибки

В качестве метода селекции был выбран турнирный отбор [34]. В каждом раунде такого отбора из популяции выбираются две особи, и та, у которой ошибка меньше, выигрывает и отбирается в следующее поколение. Схема итогового алгоритма селекции представлена на рисунке 2.6. В данном алгоритме – размер поколение, – текущее поколение, на котором выполняется скрещивание, а результат – список родителей, выбранных для скрещивания.



Рисунок 2.6 – Схема алгоритма селекции

* 1. Генетический алгоритм структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

После построения основных генетических операторов для получения итогового генетического алгоритма необходимо определиться с условиями его остановки. Очевидно, что алгоритм должен останавливаться, если значение ошибки наилучшей особи поколения меньше, чем некоторое заданное. В случае, если алгоритм по тем или иным причинам не может найти приемлемое решение, он должен останавливаться при достижении определенного числа поколений. Также о том, что решение не может быть найдено может свидетельствовать тот факт, что в течение нескольких поколений не наблюдается уменьшение средней ошибки популяции.

Еще одним важным фактором, влияющим на сходимость алгоритма, является размер популяции. Общий подход для его определения вытекает из утверждения, что особи популяции должны содержать максимальное количество различных значений, которые покрывают большую часть области поиска. Однако точно определить значение размера популяции для конкретной когнитивной модели не представляется возможным. Зачастую, это значение определяется методом проб и ошибок, поэтому оно должно быть включено в список входных данных алгоритма.

Таким образом, для итогового алгоритма можно обозначить следующий список входных данных:

* *KA* – список всех концептов;
* – список управляющих концептов;
* – список ограничений, накладываемых на управляющие концепты;
* – список областей определения значений концептов;
* – список всех связей;
* – список управляющих связей;
* – список ограничений, накладываемых на управляющие связи;
* – список областей определения весов связей;
* – список значений целевых концептов;
* – динамическая модель (для тех типов когнитивных моделей, которые позволяют применять различные типы динамических моделей);
* – минимальное модельное время, в котором осуществляется поиск решения;
* – максимальное модельное время, в котором осуществляется поиск решения;
* – ошибка, при которой решение считается удовлетворительным;
* – максимальное число поколений;
* – максимальное число поколений без улучшений;
* – размер поколения.

Схема итогового алгоритма, использующая данный список входных данных, а также описанные ранее генетические операторы представлена на рисунке 2.7. Алгоритм решает поставленную задачу, однако он имеет некоторый потенциал для ускорения сходимости. Так, например, для этого может быть применен принцип элитизма [34], который заключается в том, что определенное количество лучших особей копируются в следующее поколение, до того, как все места будут заняты потомками, полученными в результате селекции, скрещивания и мутации. Элитизм может оказать положительный эффект на качество алгоритма, поскольку не нужно тратить время на повторное открытие хороших решений, потерянных в результате эволюции.

Другим способом улучшение сходимости может являться использование ниш. Например, исходная популяция может быть разделена на три ниши, где особи первой стремятся к левой границе целевых диапазонов, особи второй – к правой границе, а особи третьей – к середине. Также ниши могут быть образованы с помощью разделения диапазона модельного времени, в котором осуществляется решение, на несколько. При этом особи каждой ниши будут стремиться к решению в своем диапазоне. Использование ниш при условии возможности скрещивания между ними может повысить генетическое разнообразие популяции и позволить быстрее найти решение.



Рисунок 2.7 – Схема генетического алгоритма

* 1. Выводы по главе

В данной главе был разработан способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей с использованием генетического алгоритма. В данном способе концепты когнитивной модели разделяются на управляющие и целевые, а также вводится понятие управляющих связей. Поиск значений целевых концептов осуществляется с помощью изменения состояния управляющих концептов и весов управляющих связей в рамках существующих ограничений.

1. разработка программных средств структурно-параметрической настройки нечетких конгитивных моделей на основе генетических алгоритмов
   1. Требования к функционалу программных средств

Разрабатываемые программные средства должны предоставлять пользователю интерфейс для осуществления структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели Коско или Силова. Отличие между ними в рамках рассматриваемого способа заключается только в использовании разных динамических моделей, поэтому функционал, связанный с их редактированием, может быть общим. Также программа должна позволять работать над когнитивной моделью нескольким экспертам. Таким образом, список требуемых функциональных возможностей выглядит следующим образом:

* регистрация и авторизация пользователей;
* создание проектов нечетких когнитивных моделей;
* добавление пользователей в проект;
* добавление, изменение и удаление концептов;
* выбор управляющих и целевых концептов;
* выбор динамических моделей для каждого концепта;
* выбор ограничений для управляющих концептов и целевых значений для целевых концептов;
* добавление, изменение и удаление связей;
* выбор ограничений для управляющих связей;
* выбор параметров генетического алгоритма структурно-параметрической настройки;
* запуск алгоритма структурно-параметрической настройки;
* сохранение промежуточных и окончательных результатов структурно-параметрической настройки с возможностью просмотра.
  1. Выбор технологий и разработка архитектуры программных средств

Веб-приложение является наиболее подходящим способом реализации программных средств, поскольку такая архитектура позволяет без лишних сложностей реализовать многопользовательский режим. Для построения веб-приложения необходимо выбрать технологии для реализации серверной и клиентской части.

Выполнение генетического алгоритма требует больших вычислительных мощностей, поэтому для его реализации требуется производительный язык программирования. Скриптовые языки, такие как Python или JavaScript плохо подходят для этой задачи из-за их неэффективности в вычислительном смысле. Более быстрые компилируемые языки с автоматическим управлением памятью, запускаемые с помощью среды исполнения, такие как Java или C# подходят лучше, однако они также могут оказаться недостаточно эффективными. Лучшим вариантом является использование языков, компилируемых напрямую в машинный код, т.к. именно они предоставляют самую высокую производительность. Среди такие языков можно выделить C, C++, Go и Rust. Однако платой за высокую производительность обычно является более высокая сложность и подверженность ошибкам, связанным с ручным управлением памятью. Для разработки серверной части был выбран язык программирования Rust, поскольку он был разработан с целью решить эти проблемы. Rust предоставляет особый механизм управления памятью, основанный на концепции владения переменной, позволяющий избежать большинства ошибок. Кроме того, Rust дает возможность использования большого количества абстракций без падения производительности [35].

* 1. Разработка архитектуры программных средств

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Разработка основных алгоритмов

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Разработка пользовательского интерфейса

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Выводы по главе

ЗАМЕНИТЬ

1. Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетки когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов
   1. Методика оценки качества разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Методика оценки производительности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на примере когнитивной модели «Качество городской среды города Смоленска»

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Оценка качества и оперативности разработанного способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на примере когнитивной модели «Моделирование системы обнаружения предаварийной ситуации»

ЗАМЕНИТЬ

* 1. Выводы по главе

ЗАМЕНИТЬ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЗАМЕНИТЬ

Перечень сокращений и условных обозначений

ЗАМЕНИТЬ

Список литературы

1. Авдеева З. К., Коврига С. В., Макаренко Д. И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // УБС. 2006. №16.
2. Прокофьев О. В. Савочкин А. Е. Моделирование системы обнаружения предаварийной ситуации на основе нечеткой когнитивной карты // НиКСС. 2018. №2 (22).
3. Дулесов А. С., Пантелеев В. И., Баркова Д. В. Когнитивное моделирование как инструмент управления запасами топлива на станции // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2013. №1.
4. Максимов В. И. Структурно-целевой анализ развитии социально экономических ситуаций // Проблемы управления. 2005. №3.
5. Молочкова В. М. Когнитивная карта инвестиционной деятельности муниципального образования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. №4.
6. Робертс Ф. С. Дискретные модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986
7. Koulouriotis D.E., Diakoulakis I.E., Emiris D.M., Antonidakis E.N., Kaliakatsos I.A. Efficiently modeling and controlling complex dynamic systems using evolutionary fuzzy cognitive maps (Invited Paper) // Internat. J. Comput. Cognition 1 (2) (2003) 41–65
8. Stach W., Kurgan L., Pedrycz W., Reformat M. Genetic learning of fuzzy cognitive maps // Fuzzy Sets and Systems 153 (2005) P. 371 – 401
9. M.S. Khan, A. Chong, Fuzzy cognitive map analysis with genetic algorithm // Proc. 1st Indian Internat. Conf. on Artificial Intelligence (IICAI-03), 2003
10. Аверкин А. Н., Паринов А. А. Генетический алгоритм обучения нечетких когнитивных карт // Научные труды Вольного экономического общества России. 2010. №.
11. Горбачев
12. Axelrod R. Structure of Decision: the cognitive maps of political elites. Prinston Univ, Press, N. Y.: 1976.
13. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // Int. Journal of Man-Machine Studies. 1986. V. 24. P. 65–75.
14. Zhang W. R., Chen S. S. A logical architecture for cognitive maps // In Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN-88). 1988. V. 1. P. 231–238.
15. Zhang W. R., Chen S., King R. S. A cognitive map based approach to the coordination of distributed cooperative agents // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics1992. . V. 22. P. 103–113
16. Робертс Ф. С. Дискретные модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986.
17. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.. Нечёткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
18. Stylios C. D., Groumpos P. P. Application of fuzzy cognitive maps in large manufacturing systems // In Proc. of the IFAC LSS’98, Rio, Patras, Greece. V. 1. 1998. P. 531–536.
19. Stylios C. D., Groumpos P. P. Fuzzy cognitive maps in modeling supervisory control systems // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 2000. V. 8. №. 2. P. 83–98.
20. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО–РЕС, 1995.
21. Carvalho J. P., Tomé J. A. Rule-based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps – a comparative study // In Proc. of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. NAFIPS’99, New York, 1999. P. 115 – 119.
22. Carvalho, J. P. and Tomé J. A. B. Fuzzy Mechanisms for causal Relations, Proceedings of the IFSA99, 8th International Fuzzy systems Association World Congress, Taiwan 1999.
23. Борисов В. В., Федулов А. С., Мнев В. И. Моделирование сложных нечетко-целевых систем на основе обобщенных нечетких когнитивных карт // Информ. бюл. Акад. воен. наук. Смоленск: Изд-во ВУ ВПВО ВС РФ, 2001. С. 22–25.
24. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
25. Борисов В. В., Федулов А. С. Нечеткие оценочные модели сложных систем с учетом согласования неравнозначных целей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2003. № 5. С. 3–12
26. Федулов А. С. Нечеткие реляционные когнитивные карты // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2005. № 1. С. 120–133.
27. Zadeh L. A. Fuzzy sets //Information and Control. 1965. Vol. 8, № 3. Pp. 338-353
28. Борисов В. В., Федулов А. С. «Совместимые» нечеткие когнитивные модели // Сборник трудов Пятнадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. Смоленск, 3–7 октября 2016 г. В 3-х томах. Т.2. С. 244–249.
29. Борисов В.В., Федулов Я.А. Нечеткая модель оценки сложных организационно-технических систем // Естественные и технические науки. 2014. №5. С. 134–145
30. Борисов В.В., Федулов А.С., Федулов Я.А. «Совместимые» нечеткие когнитивные модели: прямые и обратные задачи // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2016. №2 (11). С. 103–114
31. Carlsson C., Fuller R. Adaptive fuzzy cognitive maps for hyperknowledge representation in strategy formation process // In Proc. of the International Panel Conference on Soft and Intelligent Computing, Technical University of Budapest, 1996. P. 43–50.
32. Kosko B. Differential hebbian learning // AIP Conference Proceedings. V. 151. 1986. P. 265–270.
33. Huerga A. A balanced differential learning algorithm in fuzzy cognitive maps // In Proc. of the Sixteenth International Workshop on Qualitative Reasoning, QR’2002, Spain, 2002. P. 210–214.
34. Вирсански Э. Генетические алгоритмы на Python. Применение генетических алгоритмов к решению задач глубокого обучения и искусственного интеллекта.
35. The Rust Programming Language [Электронный ресурс] – Режим доступа

Приложение А

Задание на выпускную квалификационную работу

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске

Кафедра вычислительной техники

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

НА СОИСКАНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ

**Магистр**

Тема: СПОСОБ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Направление подготовки

**09.04.01 – Информатика и вычислительная техника**

Профиль подготовки

**Информационное и программное обеспечение автоматизированных систем**

Студент группы ВМ-21 (маг) А. И. Орлов

Руководитель

д.т.н., профессор В. В. Борисов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор А.С. Федулов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Место выполнения выпускной квалификационной работы: филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, кафедра вычислительной техники

Смоленск – 2023

1. Обоснование выбора темы выпускной квалификационной работы

Нечеткие когнитивные модели являются отличным иструментом для анализа сложных и слабоструктурированных систем и ситуаций. Они находят широкое применение в различных областях, таких как прогнозирование, сценарное моделирование, принятие решений, диагностика, классификация и управление. Однако, несмотря на их эффективность, процесс настройки таких моделей может быть достаточно трудоемким и требовать значительных затрат времени и ресурсов.

Генетические алгоритмы являются хорошим способом оптимизации, применяемым в различных областях. Использование генетических алгоритмов для структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей может позволить значительно ускорить процесс настройки и повысить качество получаемых результатов. Поэтому разработка способа применения генетических алгоритмов для настройки нечетких когнитивных моделей является важной и актуальной задачей.

1. Основание для разработки

Государственный общеобразовательный стандарт высшего образования. Направление 09.04.01 – «Информатика и вычислительная техника».

1. Назначение и цель разработки

Целью данной работы является, во-первых, создание способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов, который позволит настроить когнитивную модель таким образом, чтобы в результате ее моделирования по времени, целевые концепты максимально приблизились к желаемому состоянию. Во-вторых, разработка программных средств, реализующих разработанный способ сруктурно-параметрической настройки. В-третьих, выполнение оценки качества и оперативности настройки нечетких когнитивных моделей с использованием предлагаемого способа и программных средств.

1. Технические требования

4.1 Требования к функциональным характеристикам

Разрабатываемая система должна реализовывать основные функции, обеспечивая возможность осуществления структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей.

Пользовательский интерфейс должен обеспечивать наглядность предоставляемой информации, быть эргономичным и интеллектуально понятным.

* 1. Требования к структуре и функционированию

Разрабатываемая программа должна предоставлять пользователю простой и интеллектуально понятный интерфейс и иметь следующие основные функциональные возможности:

* регистрация и авторизация пользователей;
* создание проектов нечетких когнитивных моделей и добавление пользователей в проект;
* редактирование нечеткой когнитивной модели (добавление/удаление концептов и связей);
* редактирование параметров генетического алгоритма структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели;
* запуск генетического алгоритма структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели;
* сохранение промежуточных и окончательных результатов структурно-параметрической настройки нечеткой когнитивной модели.

4.3 Требования к надёжности

Все внутренние ошибки системы должны обрабатываться корректным образом, информация об ошибке должна выводиться на экран.

Необходимо предусмотреть контроль правильности вводимой информации.

4.4 Требования к защите информации от несанкционированного доступа

Аккаунты всех пользователей системы должны быть защищены паролем.

4.5 Требования по сохранению информации при авариях

Защита от сбоев в сети питания осуществляется путём использования устройства бесперебойного питания и программ, корректно завершающих работу приложений при отключении питания.

4.6 Требования к видам обеспечения

* + 1. Информационное обеспечение

Диалог осуществляется через пользовательский интерфейс системы в браузере.

* + 1. Лингвистическое обеспечение

Серверная логика системы разрабатывается с использованием языка программирования Rust и фреймворка Rocket. Клиентская часть формируется с помощью языка TypeScript и фреймворка Nuxt.js.

* + 1. Программное обеспечение

Для серверной части: операционная система Ubuntu Server, СУБД PostgreSQL, Rust, Node.js.

Для клиентской части: наличие браузера Mozilla Firefox или браузера на основе Chromium.

* + 1. Техническое обеспечение

Для работы серверной части программного продукта рекомендуется компьютер, оснащенный процессором с тактовой частотой не ниже 3 ГГц, двухъядерный или более; 8 ГБ ОЗУ; минимум 50 ГБ свободного места на жестком диске.

* + 1. Организационное обеспечение

Программа не требует дополнительного организационного обеспечения.

* + 1. Требования к тестированию

Тестирование должно показать полную работоспособность программного продукта, правильное выполнение поставленных задач. Тестирование разработанной системы следует проводить в соответствии с ГОСТ Р ИСО МЭК 12207-99.

1. Требования к программной документации

Программная документация будет оформлена в виде пояснительной записки. Пояснительная записка должна быть выполнена согласно ГОСТ 2.105-95.

6 План работы над выпускной квалификационной работой

| Планируемая работа | Трудоёмкость  % | Срок выполнения | Отметка о выполнении |
| --- | --- | --- | --- |
| Анализа задачи структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей | 5 | 20.02.2023 |  |
| Анализа существующих способов и программных средств структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей | 10 | 13.03.2023 |  |
| Разработка способа структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей на основе генетических алгоритмов | 20 | 03.04.2023 |  |
| Разработка генетического алгоритма структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей | 10 | 17.04.2023 |  |
| Создание программных средств, реализующих предложенный способ структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей | 30 | 08.05.2023 |  |
| Оценка качества и оперативности структурно-параметрической настройки нечетких когнитивных моделей с использованием предлагаемого способа и программных средств | 10 | 15.05.2023 |  |
| Оформление пояснительной записки | 15 | 12.06.2023 |  |
| Сдача проекта на проверку | – | 12.06.2023 |  |

1. Перечень графического материала

* Техническое задание
* Диаграммы UML
* Модульная структура программных средств
* Результаты тестирования

8 Рекомендуемая литература

1. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. – 2-е изд., стереотип. – М.:Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.; ил.
2. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке – М.: ИНПРО-РЕС, 1995.
3. Bart Kosko. Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic / Bart Kosko. – New York : Hyperion, 1993. – 320 p.

**Сведения об авторе выпускной квалификационной работы:**

Домашний адрес: г. Смоленск, ул. Академика Петрова, д. 5, кв. 48.

Телефон: 8-905-698-31-03.

Электронная почта: squakrazv@yandex.ru.

Приложение Б

Текст программы

ЗАМЕНИТЬ

Приложение В

Скриншоты тестирования

ЗАМЕНИТЬ