Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»
Факультет математики, информационных и авиационных технологий

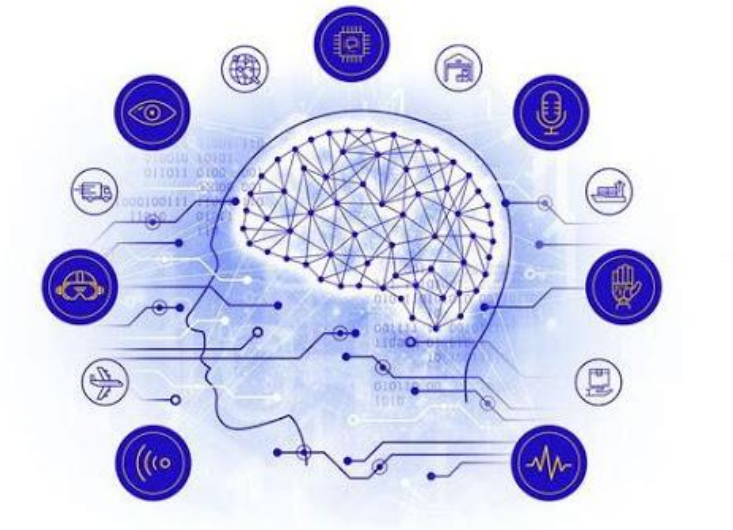
Кафедра телекоммуникационных технологий и сетей

Липатова Светлана Валерьевна

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для семинарских (практических) занятий, лабораторного практикума
и самостоятельной работы
по дисциплинам

«Интеллектуальные информационные системы», «Системы искусственного интеллекта» и «Интеллектуальные системы и технологии»

для студентов направлений
09.03.02 «Информационные системы и технологии»,
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы»,
09.03.03 « Прикладная информатика»,
02.03.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем»



Ульяновск
2022

Методические рекомендации для семинарских (практических) занятий, лабораторного практикума и самостоятельной работы по дисциплинам «Интеллектуальные информационные системы», «Системы искусственного интеллекта» и «Интеллектуальные системы и технологии» / составитель: С.В. Липатова - Ульяновск: УлГУ, 2022 – 142 с.

Настоящие методические рекомендации предназначены для студентов направлений обучения 09.03.02 «Информационные системы и технологии», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы», 09.03.03 « Прикладная информатика», 02.03.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем». В работе приведены литература по дисциплине, темы дисциплины и вопросы в рамках каждой темы, рекомендации по изучению теоретического материала, контрольные вопросы для самоконтроля, задания для самостоятельной работы, задачи и упражнения для самостоятельной подготовки к семинарам или полностью самостоятельного освоения практических навыков, задания для лабораторного практикума и рекомендации по их выполнению.

Студентам всех форм обучения следует использовать данные методические рекомендации при подготовке к семинарам, самостоятельной подготовке, а также промежуточной аттестации по дисциплинам «Интеллектуальные информационные системы» и «Системы искусственного интеллекта».

Рекомендованы к введению в образовательный процесс

Учёным советом факультета математики, информационных и авиационных технологий УлГУ

протокол № 3/**22** от «19» апреля 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

В результате изучения дисциплин «Интеллектуальные информационные системы», «Интеллектуальные системы и технологии» и «Системы искусственного интеллекта» студенты должны:

- сформировать системное базовое представление, первичные знания, умения и навыки студентов по основам инженерии знаний и нейроинформатики,
- получить общее представление о прикладных системах искусственного интеллекта,
- получить представление о роли искусственного интеллекта и машинного обучения в развитии информатики в целом, а также, в научно-техническом прогрессе,
- подготовиться к применению концепций интеллектуальных систем при дальнейшем обучении,
- подготовиться к научной и практической деятельности в области разработки интеллектуальных систем в сферах прикладной деятельности.

Методические рекомендации для семинарских (практических) занятий, лабораторного практикума и самостоятельной работы по дисциплинам «Интеллектуальные информационные системы» и «Системы искусственного интеллекта» направлены на повышение эффективности освоения знаний, умений, навыков и компетенций, связанных с:

- онтологическим инжинирингом,
- эволюционным моделированием,
- искусственными нейронными сетями,
- нечёткими системами и др.

Методические рекомендации предлагают указания по всем темам дисциплин «Интеллектуальные информационные системы», «Интеллектуальные системы и технологии» и «Системы искусственного интеллекта». Методические рекомендации разбиты по темам и содержат набор вопросов для систематизации теоретического материала, полученного на лекционных занятиях, и самостоятельного изучения теории, вопросы (тесты) для текущего контроля на практических занятиях (семинарах), задачи для усвоения практических навыков. Для лабораторного практикума приведены задания, варианты и рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Список литературы и информационного обеспечения, приведённый в конце методических указаний, может служить основой для изучения всех рассматриваемых тем. Дополнительная и учебно-методическая литература могут быть использованы обучающимися для закрепления изучаемого материала.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Философские вопросы искусственного интеллекта

Основные вопросы темы

1. Определения естественного и искусственного интеллекта.
2. Тест Тьюринга. Мысленный эксперимент «Китайская комната».
3. Теорема Геделя. Технологическая сингулярность.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1 изложен в учебнике [1] на с. 5.

Вопросы 2-3 изложены в учебнике [1] на с. 6-7.

Дополнительные материалы по теме представлены в [3] и [4] глава 1.

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Что такое интеллект?
2. Что подразумевает термин «зима ИИ»? Сколько их было?
3. Что такое искусственный интеллект?
4. Какие виды ИИ выделяют?
5. Что собой представляет тест Тьюринга?
6. Что собой представляет мысленный эксперимент «Китайская комната»?
7. Зачем создавать ИИ?
8. Какие угрозы несёт ИИ?
9. Что подразумевает технологическая сингулярность?
10. Какие проблемы использования ИИ существуют?
11. Какая этика должна быть у ИИ?
12. Какой этике должен следовать исследователь ИИ?
13. Каковы общие тенденции развития науки?

Контрольные тесты

1) Что из перечисленного ставило перед собой целью проверки интеллекта машины

Выберите один ответ:

a. Тест Тьюринга

b. Премия Лёбнера

c. Мысленный эксперимент «Китайская комната»

d. Машина Тьюринга

2) **Чем знаменателен 1964 год для искусственного интеллекта в России?**

Выберите один ответ:

a. Создана Ассоциация искусственного интеллекта

b. Разработан метод обратный вывод Маслова

c. Создан язык РЕФАЛ

d. Нет правильного ответа

3) **Кто считается «отцом» генетических алгоритмов?**

Выберите один ответ:

a. К. Де Йонг

b. Д. Голдберг

c. Нет правильного ответа

d. Д. Холланд

4) **В феврале 2011 года IBM решила протестировать свой IBM Watson в ..... Компьютер смог победить двух величайших чемпионов .... со значительным отрывом.**

Выберите один ответ:

a. викторина (аналог "Своя игра")

b. шахматы

c. покер

d. го

e. шашки

5) **Гипотетический момент, по прошествии которого, по мнению сторонников данной концепции, технический прогресс станет настолько быстрым и сложным, что окажется недоступным пониманию- это технологическ…:**

Выберите один ответ:

a. сингулярность

b. синергетика

c. апокалипсис

d. семантика

6) **Что описано ниже?**

Вопрос: Будь добр, напиши мне сонет на тему моста через Форт.

Ответ: Пожалуй, я пас. Я никогда не умел писать стихи.

В: Сложи 34957 и 70764.

О: (Компьютер выдерживает паузу в 30 секунд перед ответом) 105621.

В: Ты умеешь играть в шахматы?

О: Да.

В: [Описывает шахматную комбинацию]. Каков твой ход?

О: (Компьютер после паузы в 15 секунд) Ставлю тебе мат ладьей, приятель.

Выберите один ответ:

a. Диалог с Алисой

b. Протокол вопросов для прохождения теста Тьюринга

c. Нет правильного ответа

d. Описание возможного диалога для прохождения теста Тьюринга (статья «Вычислительная техника и интеллект», 1950)

7) **Матч по игре Го между компьютерной программой AlphaGo, разработанной британской компанией Google DeepMind, и профессионалом 9 дана Ли Седолем был**

Выберите один ответ:

a. в 2016 и закончился победой AlphaGo

b. в 2000 и закончился победой Ли

c. в 2000 и закончился победой AlphaGo

d. в 2016 и закончился победой Ли

8) **Кто заложил основы теории нечетких множеств?**

Выберите один ответ:

a. И. Мамдани

b. нет правильного ответа

c. Б. Коско

d. М. Блэк

e. Л. Заде

9) Кто создал язык Lisp?

Выберите один ответ:

a. Д. Маккарти

b. В. Ф. Турчин

c. Д. Робинсон

d. Нет правильного ответа

e. М. Минский

10) В чем суть закона Мура?

Выберите один ответ:

a. Каждое следующее поколение компьютеров работает в 2,5 раза быстрее

b. Не следует множить сущее без необходимости

c. Если все слова языка или длинного текста упорядочить по убыванию частоты их использования, то частота n-го слова в таком списке окажется приблизительно обратно пропорциональной его порядковому номеру n

d. 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата

Тема 2. Подходы и направления исследований в области искусственного интеллекта

Основные вопросы темы

1. Предыстория, история развития искусственного интеллекта как научного направления.
2. Нейрокибернетика и кибернетика «черного ящика».
3. История развития искусственного интеллекта в России.
4. Основные направления исследований в области искусственного интеллекта.
5. Свойства интеллектуальных информационных систем.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1 изложен в учебнике [1] на с. 6-9.

Вопрос 2 изложен в учебнике [1] на с. 13.

Вопрос 3 изложен в учебнике [1] на с. 6-9.

Вопрос 4 изложен в учебнике [1] на с. 13-15.

Вопрос 5 изложен в учебнике [1] на с. 22.

Дополнительный материал по вопросам представлен в [2] в разделах 2 и 3, [4] главе 1, 7.

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Чем сильный ИИ отличается от слабого?
2. Какова основная идея нейрокибернетики?
3. Какова основная идея кибернетики чёрного ящика?
4. Какие задачи решает компьютерная лингвистика?
5. Какие виды анализа выполняют системы при машинном переводе?
6. Какие поколения роботов существуют?
7. Охарактеризуйте японский проект компьютер 5-го поколения?
8. На какие направления исследований делится искусственная жизнь?
9. Приведите примеры компьютерных игр с элементами ИИ и какие методы ИИ в них использовались?
10. Как реализуются творческие задачи в ИИ?

Контрольные тесты

1) Искусственная жизни имеет следующие направления?

Выберите один или несколько ответов:

- a. влажная
- b. твердая
- c. сухая
- d. мягкая
- e. мокрая

2) Какой подход использует Булеву алгебру?

Выберите один ответ:

- a. логический
- b. структурный
- c. имитационный
- d. эволюционный

3) Экспертные знания активно используются в следующих направлениях?

Выберите один или несколько ответов:

- a. нет правильного ответа
- b. экспертные системы
- c. распознавание образов
- d. когнитивное моделирование

4) Сколько поколений роботов существует?

Выберите один ответ:

- a. 1
- b. 2
- c. 4
- d. 3
- e. 5

5) Какое из высказываний определяет основную идею нейрокибернетики?

Выберите один ответ:

- a. Не имеет значения, как устроено «мыслящее» устройство. Главное, чтобы на заданные входные воздействия оно реагировало так же, как человеческий мозг.
- b. Объект, способный мыслить, — это человеческий мозг. Поэтому любое «мыслящее» устройство должно каким-то образом воспроизводить его структуру.
- c. Нет ответа

6) Какие задачи решаются в рамках искусственного интеллекта?

Выберите один или несколько ответов:

- a. создание компьютерных игр
- b. принятие решений
- c. распознавание речи

- [ ] d. кодирование
- [ ] e. создание сред разработки информационных систем

7) К системам компьютерной лингвистики относятся:

Выберите один или несколько ответов:

- [ ] a. нет правильного ответа
- [ ] b. система распознавания речи
- [ ] c. машинный перевод
- [ ] d. система реферирования текстов
- [ ] e. система генерации музыки

8) Какое из направлений не придает значения тому, как именно моделируются функции мозга?

Выберите один ответ:

- ○ a. нейрокибернетика
- ○ b. нет правильного ответа
- ○ c. кибернетика черного ящика

9) Принцип организации социальных систем используется в направлении?

Выберите один ответ:

- ○ a. когнитивное моделирование
- ○ b. многоагентные системы
- ○ c. нейронные сети

10) Укажите направления искусственного интеллекта (выделить правильные ответы)

Выберите один или несколько ответов:

- [ ] a. телекоммуникационные технологии
- [ ] b. разработка естественно-языковых интерфейсов и машинный перевод
- [ ] c. машинное творчество
- [ ] d. технологии открытых систем
- [ ] e. обучение и самообучение
- [ ] f. распознавание образов

- g. представление знаний и разработка систем, основанных на знаниях
- h. геоинформационные технологии

Тема 3. Онтологии и Semantic Web

Основные вопросы темы

1. Определение онтологий.
2. Стек протоколов Semantic Web.
3. Основные элементы онтологий: классы, индивиды, свойства, аксиомы.
4. Использование правил в онтологиях.
5. Семантические машины вывода.

Рекомендации по изучению темы

Вопросы 1, 2 изложены в учебнике [5] в главе 1.

Вопрос 3 изложен в учебнике [5] в главе 2.

Вопрос 4 изложен в учебнике [5] в главе 3.

Вопрос 5 изложен в учебнике [5] в разделе 3.19.

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Для чего предназначена онтология?
2. Как соотносятся протоколы Semantic Web с семиуровневой моделью OSI?
3. Из каких элементов строится онтология?
4. Какие запросы можно выполнить к онтологии?
5. Что из себя представляет триплет RDF?
6. Как объединяются онтология и правила?
7. Что такое слияние и выравнивание онтологий?
8. Какие существуют языки описания онтологий?
9. Что такое профиль OWL?
10. Что из себя представляет язык SWRL?

Контрольные тесты

1) Языком запросов к онтологии является:

Выберите один ответ:

- a. XML
- b. RDF
- c. OWL
- d. SPARQL

2) Тройка RDF это:

Выберите один ответ:

- a. Класс-связь-объект
- b. Класс-атрибут-метод
- c. Класс-объект-указатель
- d. Объект-отношение-субъект
- e. Объект-предикат-субъект
- f. Субъект-связь-объект

3) Онтологии связывают с концепцией

Выберите один ответ:

- a. Web 3.0
- b. Web 1.0
- c. Web 2.0
- d. Web 4.0

4) Профили OWL различаются

Выберите один ответ:

- a. по доступным функциям (базовый и расширенный вариант)
- b. по поддерживаемой модели представления знаний
- c. по поддерживаемой логике описания
- d. по времени создания (версия)

5) Ассоциирует объекты (классы) друг с другом

Выберите один ответ:

- a. индивиды (Individuals)
- b. свойства-связи (Object Property)
- c. свойства-характеристики (Datatype Property)

Тема 4.Эволюционное моделирование

Основные вопросы темы

1. Эволюционное моделирование.
2. Определение и основные понятия генетического алгоритма.
3. Операторы кроссовер, мутация, и инверсия. Фито-функция.

4. Методы отбора особей.
5. Виды генетического алгоритма.
6. Задачи, решаемые генетическим алгоритмом.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1 изложен в учебнике [1] на с. 62.

Вопрос 2 изложен в учебнике [1] на с. 65-66.

Вопросы 3, 4 изложены в учебнике [1] на с. 66-73.

Вопрос 5 изложен в учебнике [1] на с. 73-77.

Вопрос 6 изложен в учебнике [1] на с. 62.

Дополнительный материал по вопросам представлен в [4] главе 2.

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Какие задачи решаются в рамках эволюционных вычислений?
2. Какие принципы реализуются в эволюционных вычислениях?
3. Каковы достоинства эволюционных вычислений?
4. Каковы недостатки эволюционных вычислений
5. Что такое генетическое программирование?
6. Что такое эволюционное программирование?
7. Что такое эволюционные стратегии?
8. Как выполняется представление программ в генетическом программировании?
9. Что такое Роевой интеллект?
10. Какие социальные / многоагентные алгоритмы существуют?
11. Какие основные шаги генетического алгоритма?
12. Какие типы существуют операторов ГА?
13. Какие стратегии формирования новой популяции существуют?
14. Чем рекомбинация отличается от кроссинговера?
15. Приведите примеры оператора кроссовера?
16. Каким может быть срок жизни особи?
17. Приведите примеры оператора мутации?
18. Что из себя представляет островная модель ГА?
19. Как выполняется турнирный отбор?
20. Что подразумевает принцип элитизма?

Контрольные тесты:

1) **Какие понятия относятся к генетическим алгоритмам?**

Выберите один или несколько ответов:

- a. особь
- b. функция активации
- c. фенотип
- d. ген
- e. ДНК
- f. нейрон

2) **Какой оператор применен к особи (0001000 -> 0000000)?**

Выберите один ответ:

- a. скрещивания
- b. нет правильного ответа
- c. транслокация
- d. инверсии

3) **Из какого числа особей можно выбирать пару (второго родителя) для особи в островной модели (после случайного выбора)?**

Выберите один ответ:

- a. 8
- b. t, выбирается случайным образом, чаще всего t = 2
- c. m, где m – число особей в популяции
- d. 4
- e. m-1, где m – число особей в популяции

4) **Какой оператор можно применить на этапе мутации?**

Выберите один или несколько ответов:

- a. нет правильного ответа
- b. транслокации
- c. кроссовер
- d. инверсии

5) **Какие виды генетического алгоритма подразумевают параллельную обработку?**

Выберите один ответ:

- a. гибридные алгоритмы
- b. CHC
- c. genitor
- d. островная модель

e. нет правильного ответа

6) Какие виды отбора в генетических алгоритмах существуют?

Выберите один или несколько ответов:

- a. Дискретный отбор
- b. Поэтапный отбор
- c. Дуэльный отбор
- d. Рулетка
- e. Ранговый отбор
- f. Турнирный отбор

7) Какие методы относятся к направлению «Эволюционное моделирование»?

Выберите один или несколько ответов:

- a. Нейронные сети
- b. Генетические алгоритмы
- c. Эволюционное программирование
- d. Эвристическое программирование
- e. Метод группового учета аргументов

8) Какие бывают операторы генетического алгоритма?

Выберите один или несколько ответов:

- a. транслитерация
- b. конверсия
- c. мутация
- d. транслокация
- e. скрещивание
- f. кроссинговер

Задания для практических занятий и самостоятельной работы

Пример решения задачи

Задача. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, деленная на среднее значение суммы бит особей популяции; метод отбора – рулетка с принципом элитизма; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – одиночная мутация.

Описание процесса решения. Для использования генетического алгоритма необходимо:

1) Определить набор признаков, характеризующие решения задачи оптимизации или моделирования. Определить фенотип, закодировать признаки (можно использовать код Грея).
2) Использовать последовательность шагов генетического алгоритма с соответствующими операторами.

Решение.

1) Фенотип (задаем десятичные значения случайным образом):

Признак	Двоичное значение признака	Десятичное значение признака	Код Грея
Признак 1	0011	3	0010
Признак 2	1100	12	1010
Признак 3	1110	14	1001
Признак 4	0111	7	0100
Признак 5	1001	9	1101

2) ***1 шаг.*** Формирование начальной популяции.

Определено пять признаков, пусть особь содержит любые 2 из них (два первых - значения первого критерия, три последних второго), случайным образом сгенерируем 10 особей, каждая особь длиной 8 бит:

Особь 1: 00111110 *Особь 6:* 00111110

Особь 2: 11001110 *Особь 7:* 11000111

Особь 3: 00111001 *Особь 8:* 00110111

Особь 4: 11001001 *Особь 9:* 10101010

Особь 5: 00110111 *Особь 10:* 01010101

2 шаг. Оценка особей популяции (используется фитнесс-функция равная сумме бит в особи).

Особь	Сумма бит в особи	Приспособленность особи
1	5	1, 389
2	5	1, 389
3	4	1, 112
4	4	1, 112
5	5	1, 389

6	5	1, 389
7	5	1, 389
8	5	1, 389
9	4	1, 112
10	4	1, 112

Среднее значение суммы бит в популяции = 3,6.

3 шаг. Отбор (используется метод отбора – рулетка с принципом элитизма). Строим рулетку (сектора пропорциональны приспособленности, рис. 7) и запускаем ее 8 раз (выбираем 4 пары, рис. 9):

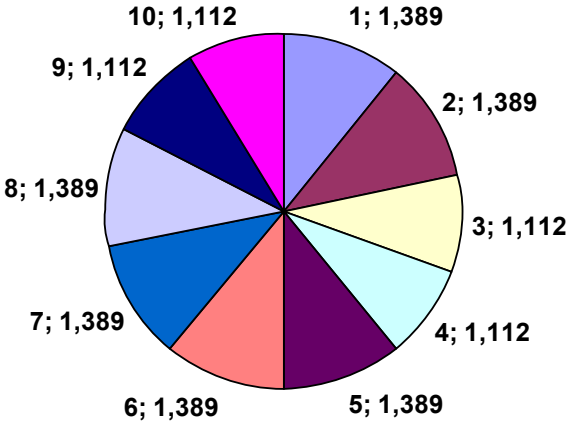


Рис. 7. Рулетка для задачи генетического алгоритма

Запуски рулетки (случайным образом):

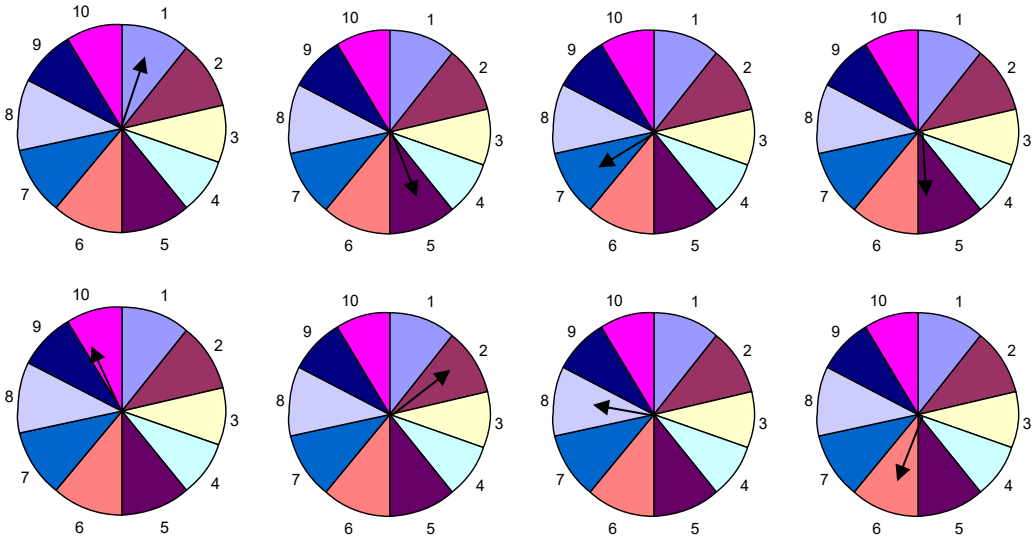


Рис. 8. Запуски рулетка для задачи генетического алгоритма

Таким образом, образовались следующие пары:

1 и 5, 7 и 5, 10 и 2, 8 и 6.

4 шаг. Скрещивание (используется оператор – двухточечный кроссовер).

Выбираем две точки разрыва (случайным образом, но числа должны различаться хотя бы на 2 и не быть равными 1 или длине особи): 2 и 5 и применяем оператор к выбранным парам особей:

Особь 1: 00|111|110 → *Особь 2.1:* 00|110|110
Особь 5: 00|110|111 → *Особь 2.2:* 00|111|111

Особь 7: 11|000|111 → *Особь 2.3:* 11|110|111
Особь 5: 00|110|111 → *Особь 2.4:* 00|000|111

Особь 10: 01|010|101 → *Особь 2.5:* 01|001|101
Особь 2: 11|001|110 → *Особь 2.6:* 11|010|110

Особь 6: 00|111|110 → *Особь 2.7:* 00|110|110
Особь 8: 00|110|111 → *Особь 2.8:* 00|111|111

5 шаг. Мутация (используется оператор – одноточечная мутация).

Определим вероятность мутации 30 % и бит – третий, подвергающийся мутации.

Особь	Случайное число	Особь	Мутированная особь
1	5	00111110	00011110
2	33	11001110	
3	67	00111001	
4	78	11001001	
5	90	00110111	
6	12	00111110	00011110
7	45	11000111	
8	53	00110111	
9	74	10101010	
10	29	01010101	01110101

6 шаг. Формирование новой популяции

Особь 2.1: 00110110
Особь 2.2: 00111111
Особь 2.3: 11110111
Особь 2.4: 00000111
Особь 2.5: 01001101
Особь 2.6: 11010110
Особь 2.7: 00110110
Особь 2.8: 00111111
Особь 2.9: 00011110
Особь 2.10: 00011110
Особь 2.11: 01110101
Особь2.12: 00111110

1-8 – наследники, 9-11 – мутировавшие особи, 12 - сохраняем одну особь с максимальной приспособленностью – принцип элитизма.

7 шаг. Популяция достаточно разнообразна – нет признаков сходимости. Так как рассматривается лишь одна эпоха генетического алгоритма – выход из алгоритма.

Варианты задач

1. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, деленная на максимум суммы всех бит среди особей популяции; метод отбора – рулетка; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – одиночная мутация.
2. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, деленная на минимум суммы всех бит среди особей популяции; метод отбора – турнирный отбор; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – транслокация.
3. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – единица, деленная на минимум суммы всех бит среди особей популяции; метод отбора – ранговый отбор; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
4. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, умноженная на минимум суммы всех бит среди особей популяции; метод отбора – отбор усечением; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – одноточечная мутация.

5. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – единица, деленная на максимум суммы всех бит в особи в популяции; метод отбора – пропорциональный отбор; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
6. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, деленная на количество бит в особи; метод отбора – рулетка с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
7. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество бит в особи; метод отбора – пропорциональный с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – одноточечная мутация.
8. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – ранговый с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – одноточечная мутация.
9. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – турнирный с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – транслокация.

10. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – отбор усечением с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – транслокация.
11. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, деленная на максимум суммы всех бит особи в популяции; метод отбора – рулетка; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – одиночная мутация.
12. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на максимум суммы всех бит особи в популяции; метод отбора – турнирный отбор; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
13. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – единица, деленная на минимум суммы всех бит особи в популяции; метод отбора – ранговый отбор; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
14. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит, умноженная на минимум суммы всех бит особи в популяции; метод отбора – отбор усечением; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – транслокация.
15. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом,

начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – единица, деленная на максимум суммы всех бит среди особей популяции; метод отбора – пропорциональный отбор; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – транслокация.

16. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество бит в особи; метод отбора – рулетка с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – одноточечный кроссовер; оператор мутации – транслокация.
17. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество бит в особи; метод отбора – пропорциональный с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – инверсия.
18. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – ранговый с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – транслокация.
19. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом, начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – турнирный с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – равномерный кроссовер; оператор мутации – одноточечная мутация.
20. Описать функционирование одной эпохи генетического алгоритма на примере произвольной задачи (не менее пяти признаков закодировать случайным образом,

начальная популяция содержит не менее 10 особей). Использовать следующие параметры генетического алгоритма: фитнесс-функция – сумма всех бит особи, деленная на количество особей в популяции; метод отбора – отбор усечением с использованием принципа элитизма; оператор скрещивания – двухточечный кроссовер; оператор мутации – одноточечная мутация.

Тема 5. Нечёткие вычисления.

Основные вопросы темы

1. Теория нечётких множеств.
2. Понятие нечеткого множества.
3. Функция принадлежности.
4. Операции с нечеткими множествами.
5. Нечеткие отношения.
6. Лингвистическая переменная.
7. Нечеткие высказывания.
8. Нечеткая импликация.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1 изложен в учебнике [1] на с. 79-81.

Вопрос 2-4 изложен в учебнике [1] на с. 81-84.

Вопросы 6-8 изложены в учебнике [1] на с. 84-91.

Дополнительные материалы по теме представлены в [6].

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Как задаётся нечёткое множество?
2. Какие значения может принимать функция принадлежности?
3. Как определяется нечеткая переменная?
4. Как определяется лингвистическая переменная?
5. Какие виды нечётких высказываний существуют?
6. Что такое фаззицикация и дефаззификация?
7. Какие методы применяются на этапе аккумуляции?
8. Какие схемы нечёткого вывода существуют?
9. Каковы достоинства и недостатки нечётких систем?

10. Какие методы определения функций принадлежности существуют?

Контрольные тесты

1) **Множество точек, для которых функция принадлежности равна 1, называется?**

Выберите один ответ:

- a. Нет правильного ответа
- b. альфа -срезом
- c. носителем
- d. ядром

2) **Объединение нечетких множеств A и B определяет какая из формул?**

1) $\max\{m_B(u), m_A(u))$

2) $\min\{m_B(u), m_A(u))$

3) $1\text{-}m_A(u)$

4) 1- min{ mB(u), mA(u))

Выберите один или несколько ответов:

- a. 1
- b. нет правильного ответа
- c. 3
- d. 2
- e. 4

3) **Пусть μA(u), μB(u) – функции принадлежности нечетких множества A и B на универсальном множестве U. Пусть также C – нечеткое множество с функцией принадлежности μC(u), которое является объединением A и B. Определить значение принадлежности u∈U нечеткому множеству C, если μA(u)=0,5 и μB(u) = 0?**

1) $m_C(u) = \max\{m_B(u), m_A(u)) = 0{,}5$

2) $m_C(u) = \min\{m_B(u), m_A(u)) = 0$

3) $m_C(u) = 1\text{- }\min\{ m_B(u), m_A(u)) = 1$

4) Нет правильного ответа

Выберите один ответ:

- a. 4
- b. 2
- c. 3
- d. 1

4) Функция принадлежности может принимать значения..?

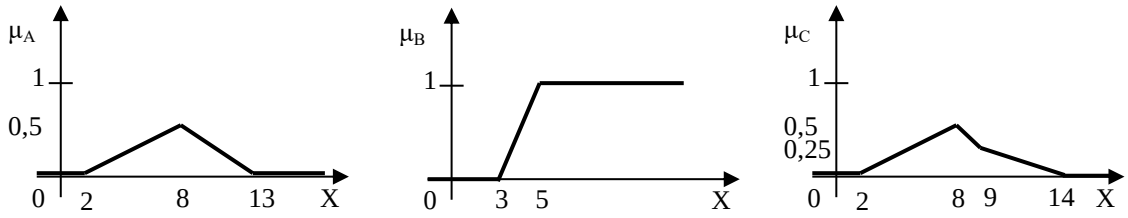
Выберите один ответ:

- a. [0 ,1]
- b. [0 , ∞]
- c. Нет правильного ответа
- d. [-∞, +∞]

Задания для практических занятий и самостоятельной работы:

Пример решения задачи

Задача. Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cap (A \cup C \cup B)$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



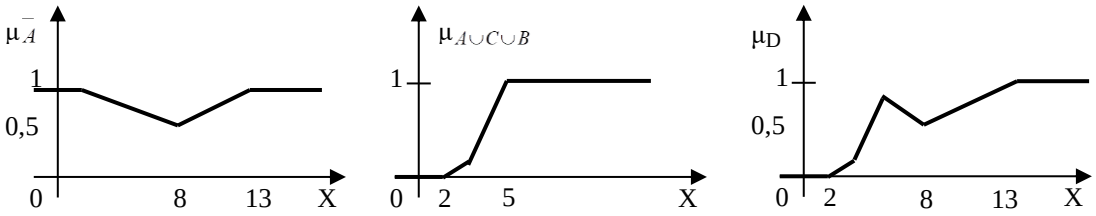
Описание процесса решения. Для построения функции принадлежности нового множества необходимо:

1) Определить последовательность выполнения операций в формуле.
2) Построить на отдельных графиках промежуточные множества, согласно определенной последовательности действий. Свести промежуточные множества на одном графике и определить итоговую функцию принадлежности.
3) Используя определенный в задаче метод, определить аналитически степень принадлежности элемента, входящего в ядро итогового множества.
4) Проверить аналитические вычисления по построенному графику функции принадлежности.

Решение.

1) Множество D = $\overline{A} \cap (A \cup C \cup B)$, значит, последовательность операций будет следующей: $\overline{A}$, $A \cup C \cup B$, $\overline{A} \cap (A \cup C \cup B)$.

2) Построим согласно этой последовательности операций графики функций принадлежности:



3) Ядро множества D состоит из элементов из интервала (2,13). Выберем элемент 8.

$\mu_A(8) = 0.5;$

$\mu_B(8) = 1;$

$\mu_C(8) = 0.5;$

$\mu_{\overline{A}}(8) = 1 - \mu_A(8) = 1 - 0.5 = 0.5;$

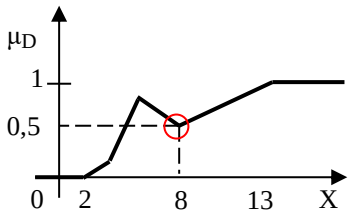
$\mu_{\overline{C}}(8) = 1 - \mu_C(8) = 1 - 0.5 = 0.5;$

$\mu_{A \cup C}(8) = \min\{1, \mu_C(8) + \mu_A(8)\} = \min\{1, 0.5 + 0.5)\} = 1;$

$\mu_{A \cup C \cup B}(8) = \min\{1, \mu_{A \cup C}(8) + \mu_B(8)\} = \min\{1, 1 + 1)\} = 1;$

$\mu_{\overline{A} \cap (A \cup C \cup B)}(8) = \max\{0, \mu_{\overline{A}}(8) + \mu_{A \cup C \cup B}(8) - 1\} = \max\{0, 0.5 + 1 - 1\} = 0.5.$

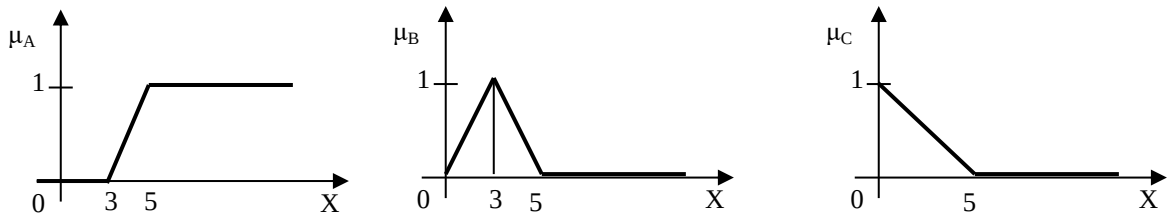
4) $\mu_D(8) = 0.5;$



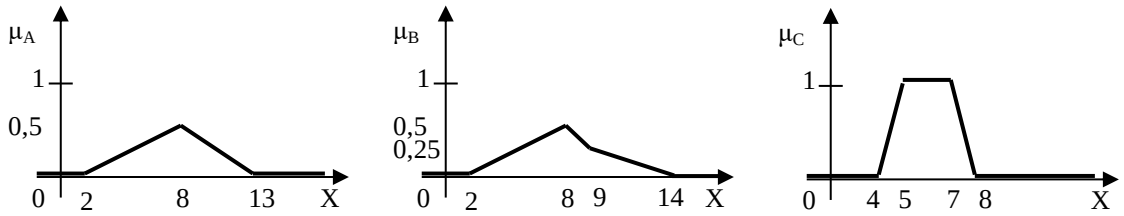
.

Варианты задач

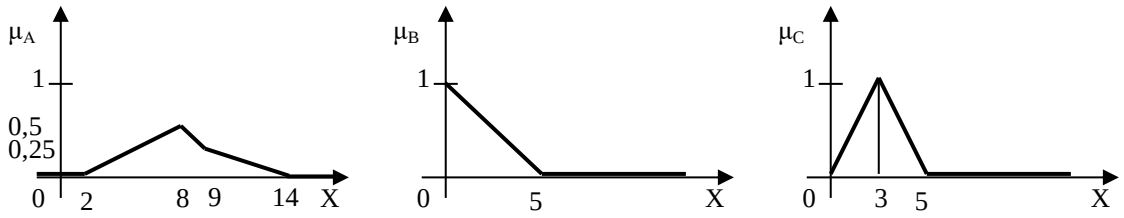
1) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup B \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.



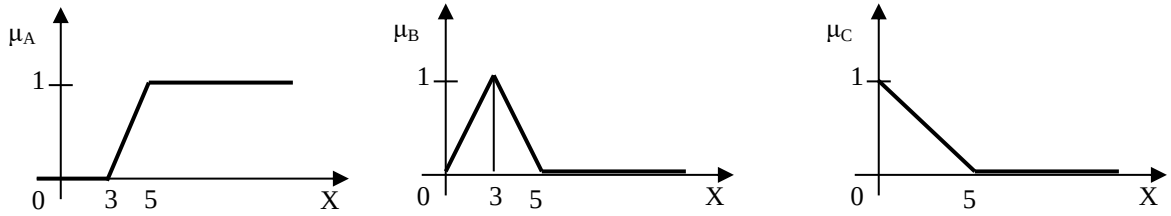
2) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup B \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.



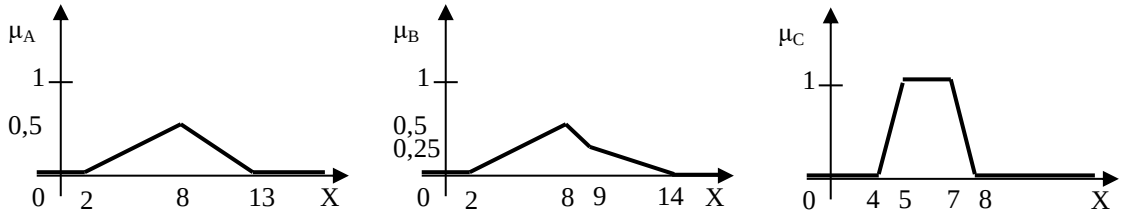
3) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup B \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



4) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup \overline{B} \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.

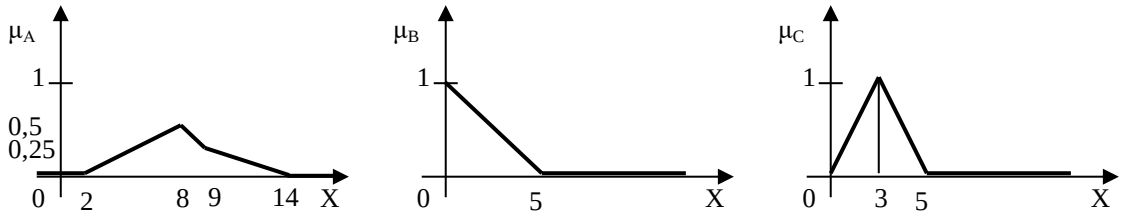


5) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup \overline{B} \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.

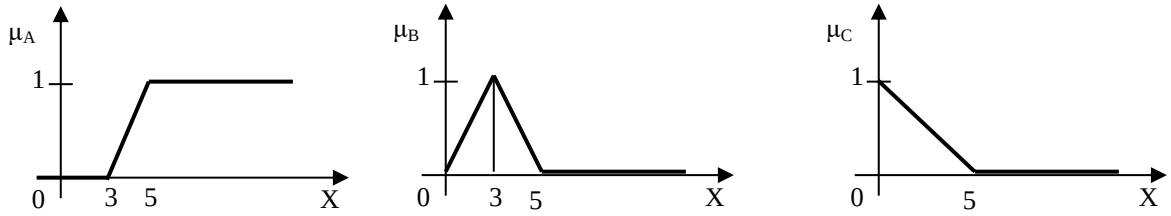


6) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cup \overline{B} \cap C$ и

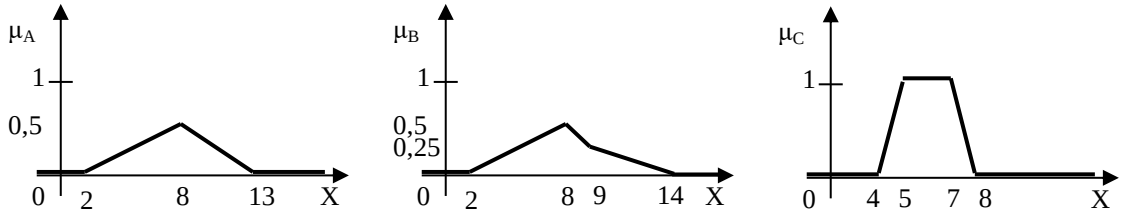
определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



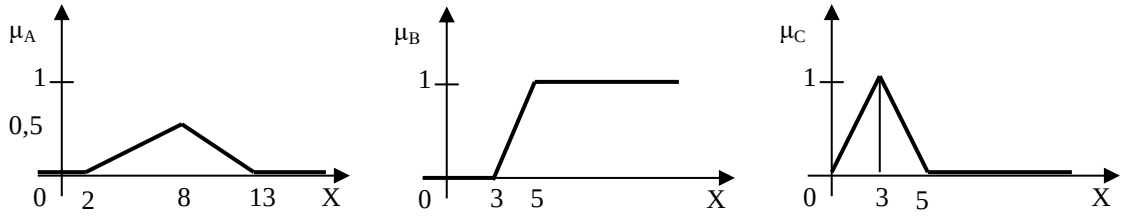
7) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cap B \cup \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.



8) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cap B \cup \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.

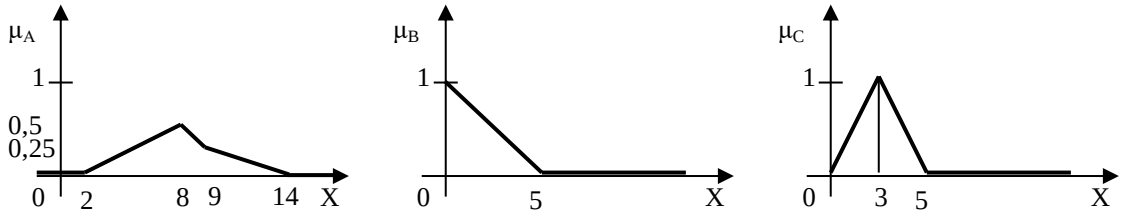


9) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $A \cap \overline{B} \cup \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.

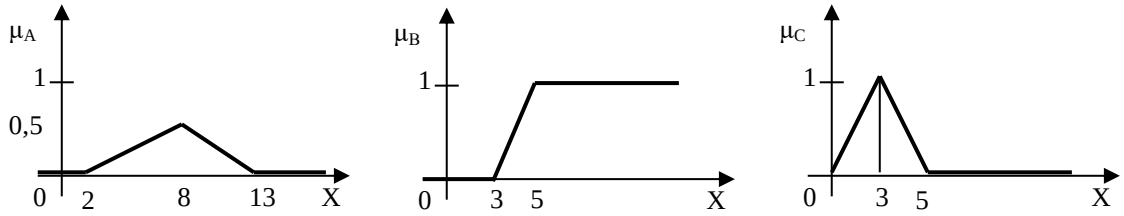


10) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cup B \cap C$ и

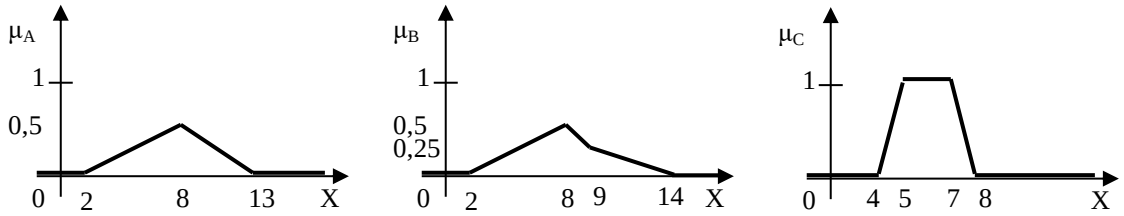
определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.



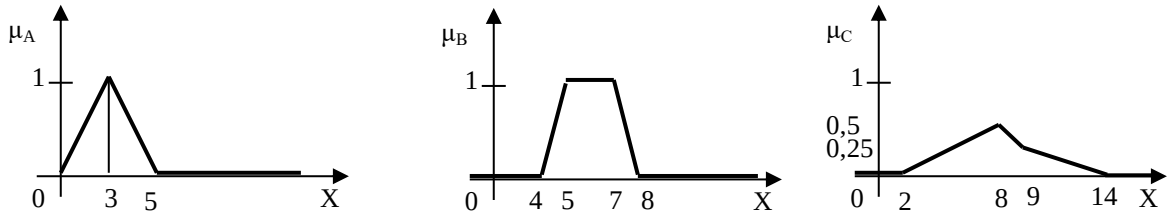
11) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cup B \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.



12) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cup B \cap C$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.

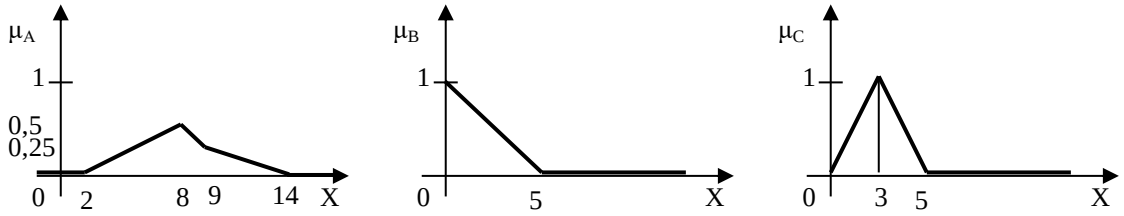


13) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $(\overline{A} \cup B) \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.

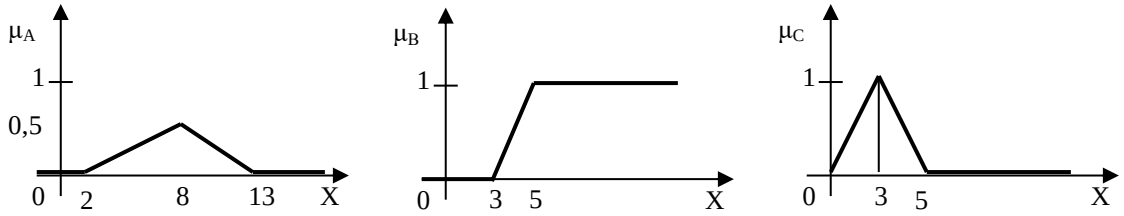


14) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $(\overline{A} \cup B) \cap \overline{C}$ и

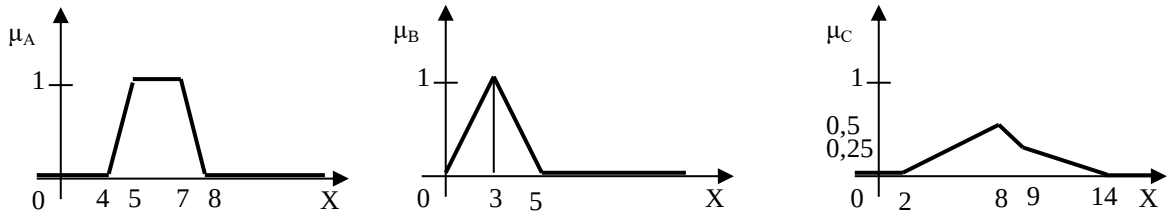
определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.



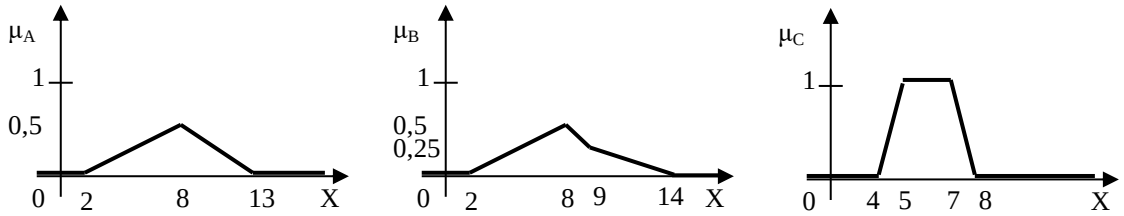
15) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $(\overline{A} \cup B) \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



16) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cap (C \cup B) \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя максиминный способ.

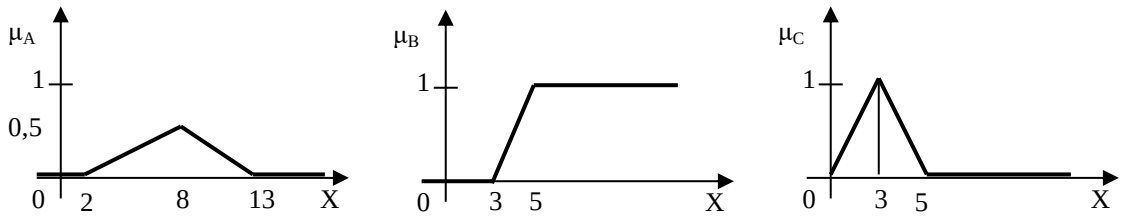


17) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cap (C \cup B) \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.

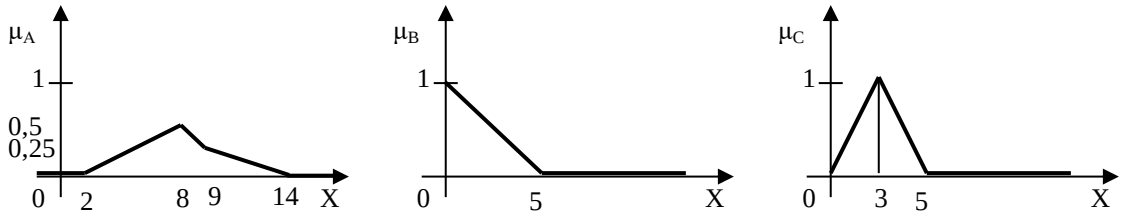


18) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cap (C \cup B) \cap \overline{C}$ и

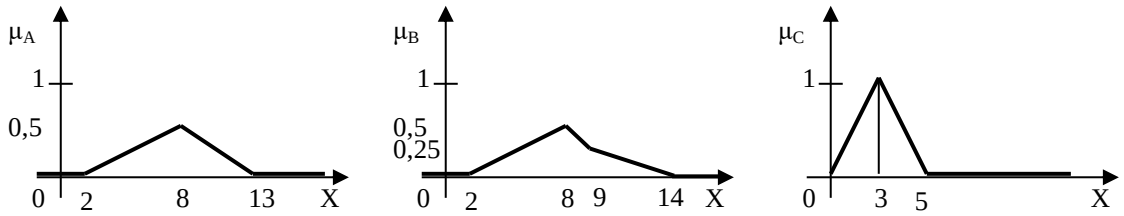
определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



19) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cup \overline{B} \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя алгебраический способ.



20) Дано 3 нечетких множества A, B, C (заданы их функции принадлежности). Построить функцию принадлежности нечеткого множества D = $\overline{A} \cup \overline{B} \cap \overline{C}$ и определить степень принадлежности одного элемента множеству D, используя метод ограничений.



Тема 6.Нейронные сети.

Основные вопросы темы

1. Понятие нейрона.
2. Модель математического нейрона.
3. Персептрон Розенблатта. Правила Хебба.
4. Алгоритм обучения по дельта-правилу.
5. Обучение многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки.
6. Классификация нейронных сетей.

7. Задачи, решаемые нейронными сетями.
8. Глубинное обучение.
9. Свёрточные нейронные сети.
10. Рекуррентные нейронные сети.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1 изложен в учебнике [1] на с. 50-53.

Вопрос 2 изложен в учебнике [1] на с. 51.

Вопрос 3 изложен в учебнике [1] на с. 52.

Вопрос 4 изложен в учебнике [1] на с. 55-56.

Вопрос 5 изложен в учебнике [1] на с. 57-58

Вопрос 6 изложен в учебнике [1] на с. 53-55.

Вопрос 7 изложен в учебнике [1] на с. 59-60.

Дополнительный материал по вопросам представлен в [4] главе 4 и в [7].

Вопросы для самоподготовки

Рекомендуется после изучения материалов лекций и специальной литературы подготовить ответы на вопросы:

1. Что такое нейрон?
2. Что такое искусственная нейронная сеть?
3. Какие нейронные сети относятся к глубинным?
4. Что собой представляет процесс обучения?
5. Какие существуют проблемы обучения?
6. Какие достоинства и недостатки у НС?
7. Чем отличается обучение с учителем от обучения без учителя?
8. Какие задачи решают искусственные НС?
9. По каким параметрам можно классифицирования искусственные НС?
10. Какие функции используют в качестве функций активации нейронов?
11. Как инициализируют синаптические веса НС?
12. Что из себя представляет пакетная нормализация?
13. Как выполняется операция свёртка в сверточной НС?
14. Как используется градиент в обучении НС?

Контрольные тесты

1) Искусственные нейронные сети— модели машинного обучения, использующие комбинации распределенных простых операций, зависящих

от обучаемых параметров, для обработки входных данных. Какого вида ИНС не существует?

Выберите один или несколько ответов:

- a. соревновательные
- b. прямого распространения
- c. наивные
- d. реактивные
- e. рекуррентные

2) Что из ниже перечисленного относится к персептрону?

Выберите один или несколько ответов:

- a. нейронная сеть с обратными связями
- b. многослойная нейронная сеть
- c. однослойная нейронная сеть
- d. создан У. Маккалоком и В. Питтом
- e. создан Ф. Розенблаттом
- f. нейронная сеть прямого распространени

3) Какие из перечисленных сетей являются рекуррентными?

Выберите один ответ:

- a. нет правильного ответа
- b. персептрон
- c. сеть Хопфилда
- d. сеть радиальных базисных функций

4) Как называется задача, решаемая ИНС и направленая на предсказание значения той или иной непрерывной числовой величины для входных данных?

Выберите один ответ:

- a. Классификация
- b. Кластеризация
- c. Переобучение

d. Регрессия

5) Какую нейронную сеть обучают с помощью дельта-правила?

Выберите один или несколько ответов:

a. сеть Хопфилда

b. нейронную сеть с обратными связями

c. однослойную нейронную сеть

d. нейронную сеть прямого распространения

6) Какую нейронную сеть обучают с помощью алгоритма обратного распространения ошибки?

Выберите один ответ:

a. многослойную нейронную сеть с обратными связями

b. нет правильного ответа

c. многослойную нейронную сеть прямого распространения

d. Однослойную нейронная сеть

7) Какие задачи не решают нейронные сети?

Выберите один или несколько ответов:

a. управление

b. аппроксимация

c. классификация

d. память, адресуемая по содержанию

e. маршрутизация

f. кодирование

8) Какую функцию не может решить однослойная нейронная сеть?

Выберите один ответ:

a. логическое «не»

b. логическое «исключающее или»

c. логическое «или»

9) Какой из видов машинного обучения основывается на взаимодействии обучаемой системы со средой?

Выберите один ответ:

- a. Обучение с подкреплением
- b. Обучение без учителя
- c. Глубинное обучение
- d. Обучение с учителем

10) В какие игры нейросеть еще не научилась обыгрывать человека?

Выберите один ответ:

- a. Го
- b. Бридж
- c. Шахматы
- d. «Марио»

Задания для практических занятий и самостоятельной работы

Пример решения

Задача. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ-правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: гиперболический тангенс (k=1) и пороговую функцию (T=0,7). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций эквивалентности и дизъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.

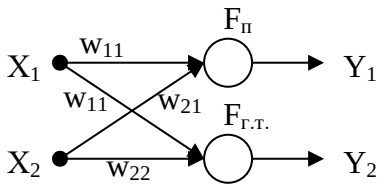
Описание процесса решения. Для обучения нейронной сети по Δ -правилу необходимо:

1) Графически отобразить структуру нейронной сети. Определить размерность матрицы синаптических весов.
2) Определить обучающую выборку, представив ее в табличном виде.
3) Выбрать входные данные, на которых будет рассматриваться итерация цикла обучения.
4) Следуя алгоритмы обучения по Δ –правилу, просчитать одну итерацию цикла и представить новые синаптические веса в матричном виде.

Решение.

1) По заданию нейронная сеть состоит из двух нейронов, значит, входов у однослойной нейронной сети будет 2 и выходов 2, а синаптических весов 4.

Первый нейрон имеет пороговую функцию активации, второй – гиперболический тангенс.



2) По заданию нейронная сеть бинарная, поэтому на ее входы могут подаваться только нули и единицы, так как входа 2, то возможных комбинаций входных значений будет 4 (обучающая выборка будет состоять из 4 векторов). Выход первого нейрона согласно заданию соответствует оператору эквивалентности, а второго – дизъюнкции. Поэтому таблица с обучающей выборкой будет выглядеть следующим образом:

X1	**X2**	**D1**	**D2**
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

3) Пусть в качестве вектора обучения будет рассматриваться 3-ая строка таблицы.

4) Следуя алгоритмы обучения по Δ-правилу выполним 6 шагов

1 шаг: зададим матрицу весов случайным образом из интервала [0,1]:

Wij(1)	**1**	**2**
1	0.7	1
2	0.5	0.2

2 шаг: вектор X={1,0}, вектор D ={0,1}.

3 шаг: вычисление выходных значений нейронной сети (вектор Y).

$T = 0.7;$

$S_1 = x_1 \cdot w_{11} + x_2 \cdot w_{21} = 1 \cdot 0.7 + 0 \cdot 0.5 = 0.7;$

$$Y_1 = \begin{cases} 1, & при\ \ S_1 \geq T \\ 0, & при\ \ S_1 < T \end{cases} = \begin{cases} 1, & при\ \ 0.7 \geq 0.7 \\ 0, & при\ \ 0.7 < 0.7 \end{cases} = 1.$$

$k = 1,$

$S_2 = x_1 \cdot w_{12} + x_2 \cdot w_{22} = 1 \cdot 0.9 + 0 \cdot 0.2 = 0.9,$

$$Y_2 = th\left(\frac{S_2}{k}\right) = \frac{e^{0.9} + e^{-0.9}}{e^{0.9} - e^{-0.9}} \approx 1{,}39.$$

4 шаг:

$$\varepsilon_1 = (d_1 - y_1) = (0 - 1) = -1,$$
$$\varepsilon_2 = (d_2 - y_2) = (1 - 1.39) = -0.39.$$

5 шаг: задаем η - коэффициент обучения от 0 до 1 и изменяем веса:

$$\eta = 0.8,$$
$$w_{11}(2) = w_{11}(1) - 0.8 \cdot \varepsilon_1 \cdot x_1 = 0.7 - 0.8 \cdot (-1) \cdot 1 = 1.5,$$
$$w_{21}(2) = w_{21}(1) - 0.8 \cdot \varepsilon_1 \cdot x_2 = 0.5 - 0.8 \cdot (-1) \cdot 0 = 0.5,$$
$$\theta_1(2) = \theta_1(1) - 0.8 \cdot \varepsilon_1 = 0.7 - 0.8 \cdot (-1) = 1.5,$$
$$w_{12}(2) = w_{12}(1) - 0.8 \cdot \varepsilon_2 \cdot x_1 = 0.9 - 0.8 \cdot (-0.39) \cdot 1 = 1.212,$$
$$w_{22}(2) = w_{22}(1) - 0.8 \cdot \varepsilon_2 \cdot x_2 = 0.2 - 0.8 \cdot (-0.39) \cdot 0 = 0.2.$$

Wij(2)	**1**	**2**
1	1.5	1.212
2	0.5	0.2

6 шаг: вычислим среднеквадратичную ошибку (можно выбрать другие методы оценки ошибки)

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{H} (d_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^{2} \varepsilon_i^{\,2} = \varepsilon_1^{\,2} + \varepsilon_2^{\,2} = (-1)^2 + (-0.39)^2 = 1.1521.$$

H- количество нейронов.

Так как мы рассматриваем одну итерацию цикла обучения в любом случае выходим из цикла.

Варианты задач

1. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей пороговую функцию активации (T=0,7). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций дизъюнкции и импликации (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
2. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей линейную функцию активации (k=0,6). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций конъюнкции и дизъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
3. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей сигмоидальную функцию активации (k=1). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций импликации и конъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.

4. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функцию активации гиперболический тангенс (k=1). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций эквивалентности и импликации (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
5. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: гиперболический тангенс (k=2) и пороговую функцию (T=0,5). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций эквивалентности и конъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
6. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: сигмоидальную (k=1) и линейную (k=0,6). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций импликации и конъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
7. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: линейную (k=0,7) и пороговую (T=0,75). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций конъюнкции и эквивалентности (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
8. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: пороговую (T=0,8) и сигмоидальную (k=1). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций конъюнкции и импликации (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
9. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: гиперболический тангенс (k=2) и линейную (k=0,8). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций дизъюнкции

и эквивалентности (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.

10. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной неоднородной нейронной сети, состоящей из 2 нейронов и имеющей функции активации: гиперболический тангенс (k=2) и сигмоидальную (k=0,9). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для операций импликации и дизъюнкции (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
11. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей функцию активации гиперболический тангенс (k=3). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для X1&X2→X3, X1&X2 и X2→X3 (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
12. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей сигмоидальную функцию активации (k=1). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для X1→X2&X3, X1&X2 и X1&X3 (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
13. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей линейную функцию активации (k=0,9). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для X3→X1&X2, X2&X3, X2→X3 (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
14. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной бинарной однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей пороговую функцию активации (T=0,4). В качестве обучающей выборки использовать таблицу истинности для (X2→X1)&X3 (не использовать первую строчку таблицы). Синаптические веса задать случайным образом.
15. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей линейную функцию активации (k=0,9). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).
16. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей сигмоидальную

функцию активации (k=0,8). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).

17. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей пороговую функцию активации (T=0,8). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).
18. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой однородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей функцию активации – гиперболический тангенс (k=1). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).
19. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой неоднородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей функции активации: сигмоидальную (k=1), линейную (k=0,8) и пороговую (T=0,5). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).
20. Просчитать одну итерацию цикла обучения по Δ -правилу однослойной аналоговой неоднородной нейронной сети, состоящей из 3 нейронов и имеющей функции активации: гиперболический тангенс (k=1), сигмоидальную (k=0,8) и пороговую (T=0,6). Синаптические веса и обучающую выборку задать случайным образом (не нули).

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Порядок выполнения лабораторных работ может быть произвольным и определяется уровнем освоения компетенций обучающегося.

Тема 3.Онтологии и Semantic Web

Задание лабораторной работы

Цель работы: получение практических навыков построения и использования онтологий.

Задание: Используя программу Protege и язык программирования Python (библиотеку OwlReady2):

1) создать онтологию согласно полученному варианту в программе Protege, онтология должна содержать:
   - иерархию классов (не менее 15);
   - назначенные классам простые свойства Data Properties (не менее 10);
   - назначенные классам свойства-отношения Object Properties (не менее 5) с указанием вида связи между индивидами (функциональная, симметричная и т.д.);
   - индивиды Individuals (не менее 10), с заполненными значениями свойств унаследованного класса;
   - аксиомы, наложенные на свойства и классы в Equivalent to и др. (не менее 5);
   - правила (не менее 5);
2) используя плагин OntoGraf (вкладка Window/Tabs/OntoGraf), получить визуальное отображение онтологии в виде графа;
3) онтология должна охватывать всю предметную область (требование полноты), и быть достаточно детализированной;
4) используя плагин SQWRLTab, построить запросы к онтологии (не менее 3);
5) запустить машину вывода (Resoner) и проверить результаты выполнения правил;
6) используя язык Python и библиотеку OwlReady2 написать программу, которая:
   a. создает новый класс / атрибут в онтологии, по данным, которые ввел пользователь,
   b. выполняет поиск по данным пользователя,
   c. выполняет запросы и правила,

d. сохраняет изменения в онтологии.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию и номер группы учащегося, задание
2. Описание онтологий:
    a. структуры;
    b. описание классов;
    c. свойства;
    d. индивиды;
3. Описание программы (алгоритм работы, код);
4. Графическое отображение онтологий.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Owlready2 (https://pypi.org/project/Owlready2/) - это библиотека (пакет) для ориентированного на онтологии программирования в Python. Используя библиотеку, можно загрузить онтологии как объекты Python, изменять их, сохранять, выполнять настравиемый поиск по объектам онтологии, выполнять SPARQL-запросы, создавать и выполнять SWRL-правила с помощью логических машин вывода (HermiT и Pellet), импортировать онтологии из форматов NTriples, RDF/XML, OWL/XML, экспортировать онтологии в форматы NTriples,RDF/XML.

Owlready обеспечивает прозрачный доступ к онтологиям OWL. Подробно с документацией библиотеки можно ознакомится https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/#.

Для понимания работы с онтологиями из среды Python, рассмотрим дополнительно онтологические языки построения запросов SPARQL и правил SWRL (их команды используются как параметры операторов библиотеки Owlready2) и их использование в инструменте построения онтологий Protege.

Общий алгоритм построения онтологии

Процесс реализации онтологии можно представить в виде алгоритма (Рисунок 1), но процесс реализации итерационный. Под итеративным процессом понимается неоднократный проход по онтологии с целью её уточнения, то есть на начальном этапе строится черновой вариант, далее добавляются детали, уточнения, пересматривается предыдущий вариант. При отсутствии существующих онтологий процесс запускается «с нуля».

Формирование списка основных описываемых терминов и понятий. На начальной стадии важно составить перечень всех терминов и понятий, необходимых для решения задачи и которыми оперируют эксперты в данной предметной области, не боясь

произвести дублирование и перекрытие между понятиями. Элементы онтологии должны быть близки к объектам (физическим или абстрактным).

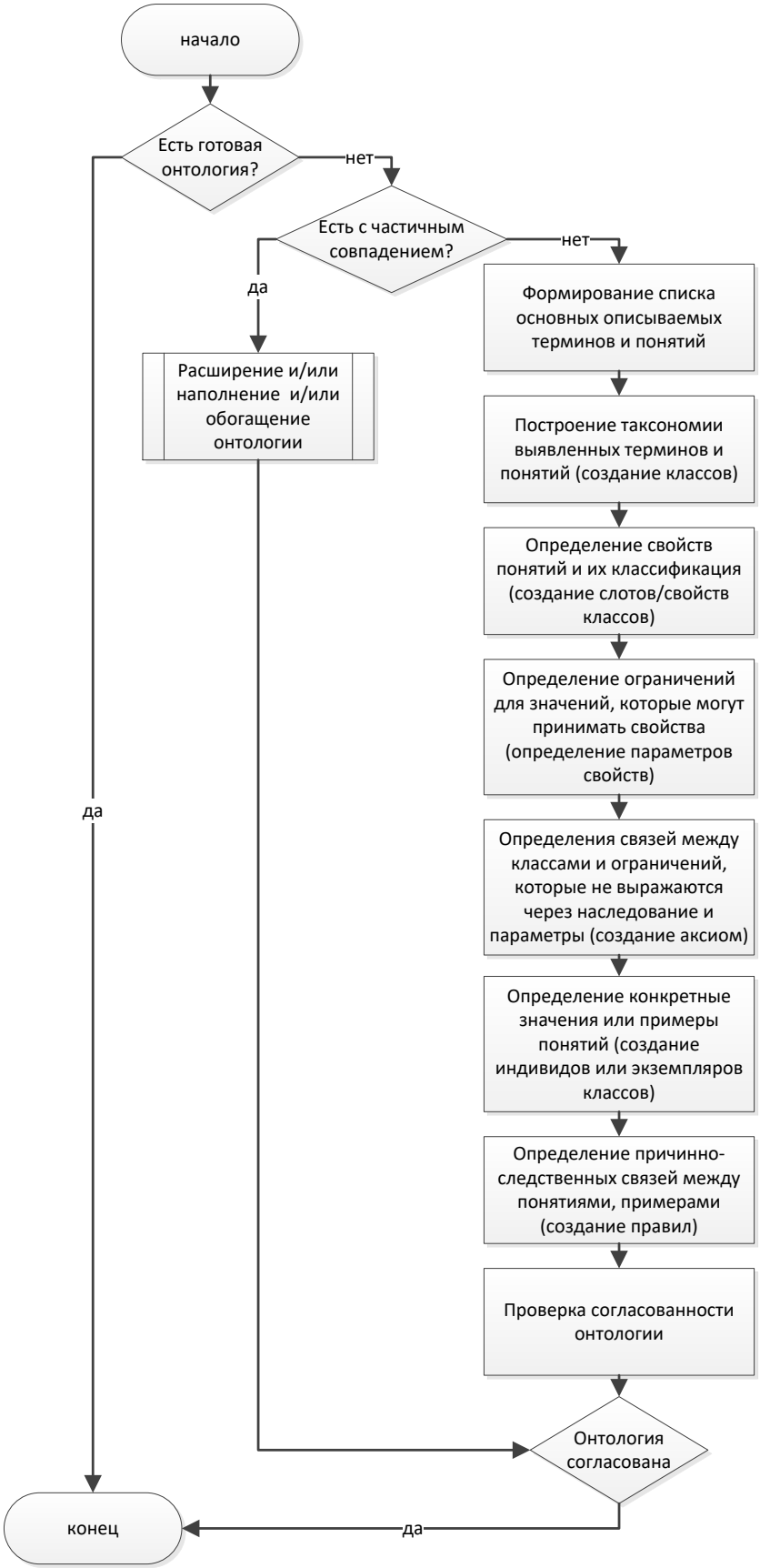


Рисунок 1 – Общий алгоритм построения онтологии

Построение таксономии выявленных терминов и понятий (создание классов). Онтология – это иерархическая структура. Существует несколько подходов определения иерархии:

- процесс создания сверху-вниз (от самых общих понятий домена и последующее детализирование объектов в иерархии);
- процесс создания снизу-вверх (от определения самых детализированных и специфических классов (концов дерева иерархии) с последующей их группировкой в более общие понятия);
- процесс создания с середины (прежде чем искать наиболее общие и наиболее частные понятия, нужно определить наиболее важные понятия, которые будут использоваться для достройки иерархий путём обобщения и специализации);
- комбинированный (от понятных объектов к их группам и потом к более специфическим объектам).

Все понятия (или концепты) делятся на ряд классов (по семантической зависимости)[1] для них можно сопоставить элементы онтологии, которые их выражают (Таблица 1).

Таблица 1 – Соответствие элементов онтологии зависимостям и понятиям предметной области

Зависимость	Понятия	Элемент онтологии
от отображения вида или рода предметов	видовые и родовые	Классы и подклассы (в виде иерархии)
от отображения части или целого предметов	части и целые	Классы, подклассы (могут быть как в виде одной иерархии так и в виде независимых иерархий), слоты/свойства
от количества отображаемых предметов	на единичные и общие понятия	Индивиды и классы
от отображения предмета или свойства	на конкретные понятия и абстрактные понятия	Индивиды или вид класса (абстрактный или конкретный)

При построении иерархии необходимо помнить про принцип наследования в онтологии, объекты, находящиеся на одной ветки, являются детализацией выше располагающегося узла и имеет одну и ту же природу (относятся к одному классу). Поэтому объекты наследуются от одного класса «Thing» или создаётся несколько

[1] Ивлев Ю.В. Логика: учебник для вузов. – М.: «Логос», 1997. –272с.

иерархий. Неиерархическая взаимосвязь между терминами предметной области выражается через их свойства.

В связи с существующей вариативностью, в построение онтологии остаётся место субъективному и онтологии, построенные разными когнитологими или разными алгоритмами или по разным источникам знаний будут отличаться.

Определение свойств понятий и их классификация (создание слотов / свойств классов). Каждый класс в иерархии имеет набор свойств. Эти свойства могут быть разной природы:

- внутренние свойства (неразрывно связаны с объектом);
- внешние свойства (описывают данный объект исходя из каких-то внешних предположений, связей);
- части объекта (физические или абстрактные), если он структурирован;
- отношения между экземплярами данного класса;
- отношения между экземплярами разных классов из разных ветвей иерархии.

При формировании свойств возможно изменение таксономии (иерархии), так как часть изначально определённых классов могут перейти в свойства, а добавляемые свойства могут оказаться подклассами. Для определения, чем является термин, подклассом или свойством нужно учитывать, что подкласс может:

- иметь свойства, которые не имеет суперкласс;
- иметь другие ограничения на свойства, в отличие от ограничений в суперклассе;
- принимать участие в других взаимодействиях между классами, в отличие от суперкласса.

Значение свойства может быть атомарным (простым типом) или индивидом другого или этого же самого класса.

Определение ограничений для значений, которые могут принимать свойства (определение параметров свойств). Определение ограничений на характеристики объектов идёт параллельно с процессом определения самих свойств. Для определения свойств используют фацеты или типы ограничений (Таблица 2).

Таблица 2 – Ограничения свойств

Тип ограничения	Описание
Допустимые значения	Перечень значений или аксиома (логическое правило, определяющее принадлежность к классу)
Тип значения	Числовой, строковый, булевый, нумерованный, подобен понятию

	домена в реляционных базах данных, слоты–экземпляры с учётом домена слота, т.е. список разрешённых классов
Количество допустимых значений	Функциональные свойства (Functional) – если свойство является функциональным, то для данного индивида (экземпляра) может существовать не более одного индивида, который имеет отношение к первому индивиду через это свойство.
	Обратные функциональные свойства (Inverse functional) – если свойство является обратным функциональному свойству, то это значит, что свойство является обратным функциональным, может быть указана мощность домена
Транзитивность (Transitive)	если свойство транзитивное и свойство связывает индивида a и индивида b, а также индивида b связывает с индивидом c, то мы можем вывести, что индивид a связан с индивидом c через это свойство.
Рефлексивность	Рефлексивные свойства (Reflexive) – свойство p называется рефлексивным, когда индивид a должен быть связан с собой.
	Иррефлексивные свойства (Irreflexive) – если свойство p иррефлексивное, то оно может быть охарактеризовано как свойство, которое связывает индивида a с индивидом b, где индивид a и индивид b обязательно разные.
Симметричность	Симметричные свойства (Simmetric) – если свойство p симметричное, и свойство связывает индивида a с индивидом b, то индивид b связан также с индивидом a через свойство p.
	Асимметричные свойства (Asimmetric) – если свойство p асимметричное, и свойство связывает индивида a с индивидом b, то индивид b не может быть связан с индивидом a через свойство p.

Определения связей между классами и ограничений, которые не выражаются через наследование и параметры (создание аксиом). Аксиомы - высказывания, которые всегда истинны. Иерархия онтологии тоже может быть описана через аксиомы (наследования), свойства и их ограничения тоже представляются аксиомами (Таблица 3). Но на данном шаге подразумевается создание общих аксиом (в использованием сложных / составных концептов). Они могут быть включаются в онтологию:

- для определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументы отношений;
- для проверки корректности информации, описанной в онтологии;

– для вывода новой информации.

Таблица 3 – Основные типы аксиом

Объект	Аксиомы	Описание
Классы	Тождественности	Равенство множеств интерпретаций классов
	Наследования	Вхождение множества интерпретаций класса в другой класс
	Несвязности	Множества интерпретаций классов не пересекаются
	Перечисления	Задание класса путём перечисления всех его экземпляров
Свойства	Соответствуют типам ограничений таблицы Таблица 2	
Индивиды	Похожесть	две ссылки URI ссылаются на один и тот же индивид
	Различие	две ссылки URI ссылаются на разные индивиды
	Различие списков	предоставляет средство для определения списка попарно различных индивидов

Определение конкретные значения или примеры понятий (создание индивидов или экземпляров классов). В онтологию вводятся конкретные объекты классов и задаются значения слотам в этих экземплярах. Они описывают конкретные объекты предметной области, данные и факты. Для разных задач одни и те же объекты предметной области могут быть как классом, так и индивидуумом, зависит от степени детализации онтологии и от принципов классификации, выбранных при построении таксономии.

Определение причинно-следственных связей между понятиями, примерами (создание правил). Аксиоматика непосредственно привязывается к классам, не все отношения можно задать таким образом, особенно, если они зависят от элементов других классов и имеют отношение к нескольким классам. В этом случаем можно использовать правила. Правила не являются элементом онтологии, они являются её расширением. В связи с этим существует две стратегии объединения онтологии и правил:

– семантическая интеграция, известная (однородный или гомогенный подход) подразумевает, что нет различий между предикатами правил и предикатами онтологий, правила можно использовать для определения классов и свойств онтологии (примерами данного подхода являются SWRL и DLP);
– строгое семантическое разделение или гибридный подход (интеграция со строгим семантическим разделением между двумя слоями) подразумевает, что правила не могут определять классы и свойства онтологии за исключением некоторых специальных отношений (примером данного подхода является

Answer Set Programming).

Синхронизация или согласование онтологии. Онтология предметной области может содержать противоречия, если предметная область слабоформализуема. В этом случае онтология не будет согласована. Но если подразумевается, что онтология не должна содержать противоречий, то отсутствие такой аксиоматики можно проверить использую машину семантического вывода.

Редактор онтологий Protege

Protégé - свободный, открытый редактор онтологий и фреймворк для построения баз знаний, имеет открытую расширяемую архитектуру, позволяет сохранять онтологии в разных форматах.

Таблица 4 - Характеристики Protege

Разработчик	Stanford Center for Biomedical Informatics Research
Написана на	Java
Операционная система	кроссплатформенность
Аппаратная платформа	Java Virtual Machine
Последняя версия	5.5.0 (14 марта 2019)
Создаваемые форматы файлов	RDF/XML, Turtle и JSON-LD
Лицензия	Mozilla Public License
Сайт	protege.stanford.edu

Документацию по редактору см. http://protegeproject.github.io/protege/.

Подключение плагина в Protégé

Расширяемость Protégé реализована на базе плагинов - независимо компилируемых программных модулей, динамически подключаемых к основной программе и предназначенных для расширения и/или использования её возможностей.

Для подключения плагина достаточно его скопировать в папку plugins и выбрать в меню «Windows/Tabs/Имя плагина» (**Рисунок 2**).

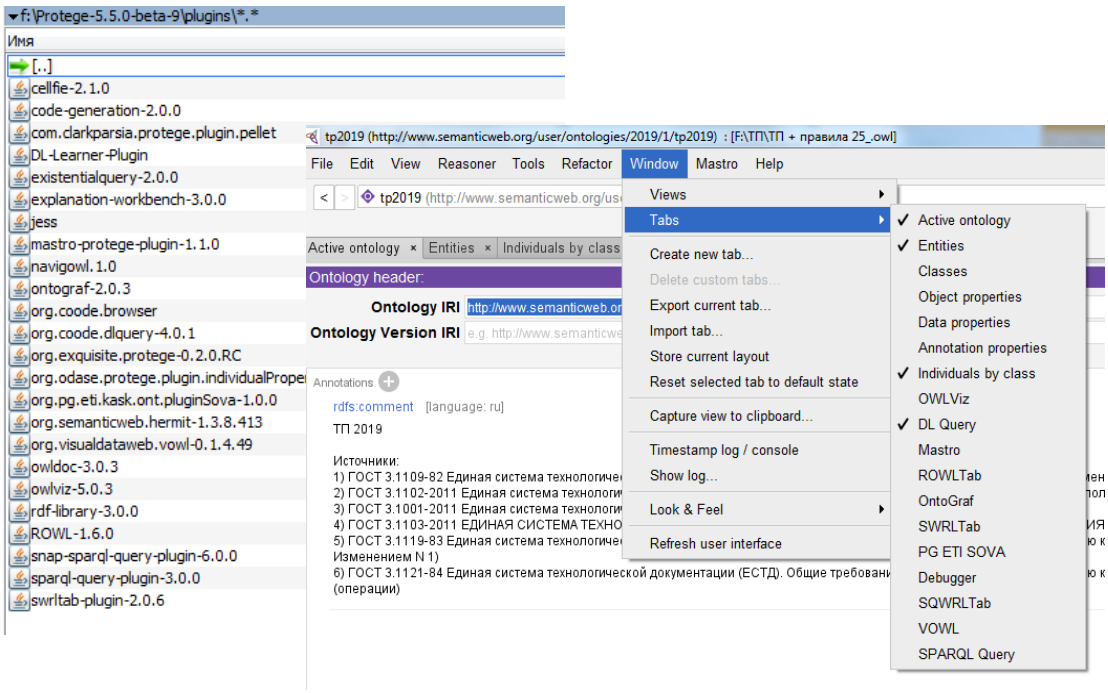


Рисунок 2 – Подключение плагина

Создание классов

Раздел «Сущности» (Entities) позволяет описывать субъекты и объекты (**Рисунок 3**).

Классы — абстрактные группы, коллекции или наборы объектов. Они могут включать в себя экземпляры, другие классы, либо же сочетания и того, и другого. Классы описывают понятия предметной области.

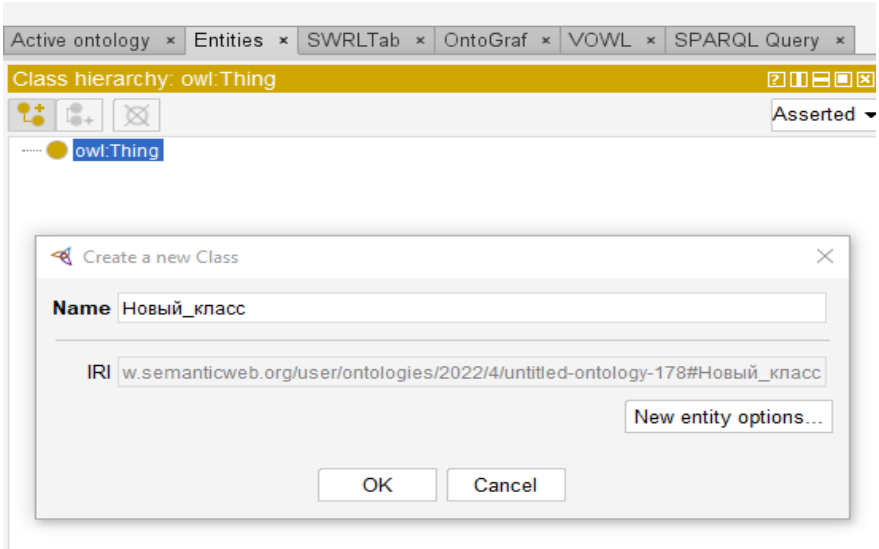


Рисунок 3 – Панель классов

При создании класса необходимо опрелелить его имя, IRI (автоматически) и описание (Рисунок 4):

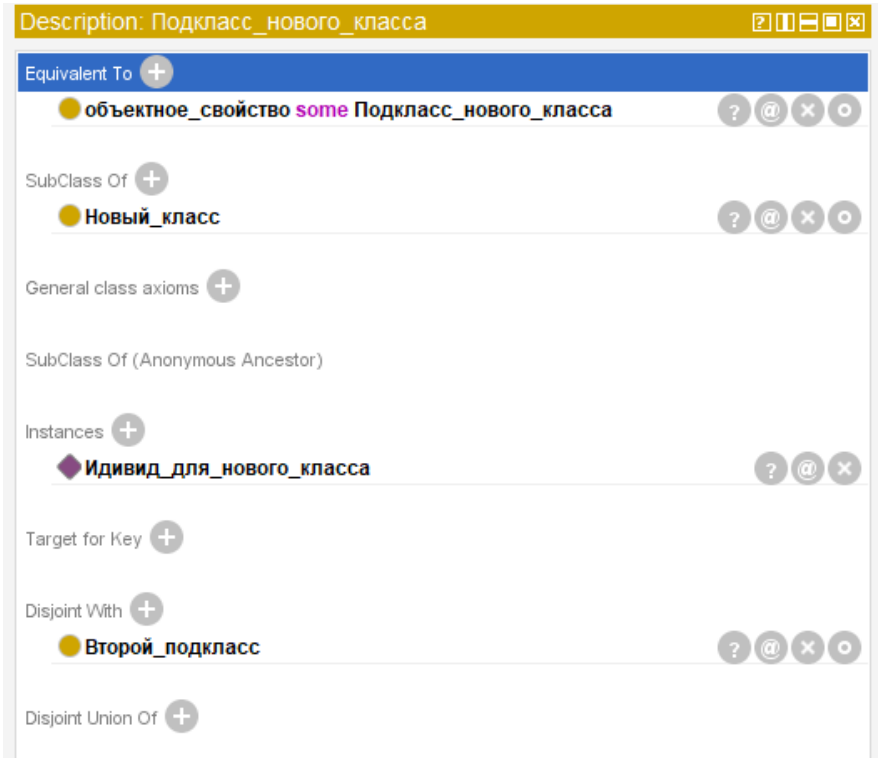


Рисунок 4 – Свойства класса

- Определение через ограничения (эквиваленто Equivalent to), каждая строка содержит выражение класса, эквивалентное текущему выбранному классу, задается через команды (Таблица 5);
- Классы-родители / чьим подклассом является класс (при создании иерарфии задается автоматически, можно указать множественное наследование SubClass of), каждая строка является суперклассом текущего выбранного класса;
- общие аксиомы класса, каждая строка показывает общую аксиому класса, которая содержит текущий выбранный класс в своей подписи (т. е. упоминает текущий выбранный класс).
- экземпляры классов / индивиды (Individuals) это объекты классов (задаются автоматически при выборе у индивида соответсвующего класса в поле Types);
- цель для ключа (Target for key) — задает смешанный список свойств объекта и данных, которые действуют как ключ для экземпляров текущего выбранного класса. Ключи — это новая функция в OWL 2, состоящая из набора свойств (кокой набор свойст вожет идентифицировать индивида единственным образом);

– непересекающиеся классы (Disjoint with) - каждая строка указывает список выражений класса, с которыми этот класс не пересекается (у них нет общих индивидов);
– непересекающийся союз (Disjoint Union Of) — указывает, что этот класс является основным классом в аксиоме класса DisjointUnion (класс является объединением непересекающихся подклассов).

Таблица 5 - Список команд для построения аксиом (Equivalent to)

Команда	Пример	Значение
some	hasPet some Dog	Этот вид выражения класса состоит из свойства (в данном случае hasPet) и выражения класса, известного как наполнитель (в данном случае наполнителем является Dog). Индивидуумы, которые являются экземплярами класса, для которого задается ограничение, имеют отношение по свойству hasPet к индивиду, который является экземпляром класса Dog.
value	hasPet value Tibbs	Класс, для которого задается ограничение, имеет свойство (в данном случае hasPet) которое принимает значение индивида.
only	hasPet only Cat	Класс, для которого задается ограничение, имеет свойство (в данном случае hasPet) которое принимает значение только одного индивида из класса (причем может быть и 0 индивидов, но не более одного), т.е. у индивида данного класса не может быть 2 или более кота.
min	hasPet min 3 Cat	Ограничение минимального количества элементов, т.е. индивид, определяемого класса, может иметь минимальное значение свойств, в данном случае не меньше 3 котов.
max	hasPet max 5 Dog	Ограничение максимального количества элементов, т.е. индивид, определяемого класса, может иметь максимальное значение свойств, в данном случае не больше 5 котов.
exactly	hasPet exactly 2 GoldFish	Точное ограничение кардинальности, т.е. индивид, определяемого класса, должет иметь точное количесво индивидов заданного класса, причем дополнительно свойчто может принимать и другие классы (вданном случае ровно 2 золотые рыбки, но может иметь и котов).
and	Person and (hasPet some	Логическое и

	Cat)	
or	(hasPet some Cat) or (hasPet some Dog)	Логическон или
not	not (hasPet some Dog)	Логическое не

Использование класса онтологии (взаимосвязь с другими) можно постотреть во вкладке «Usage» (Рисунок 5).

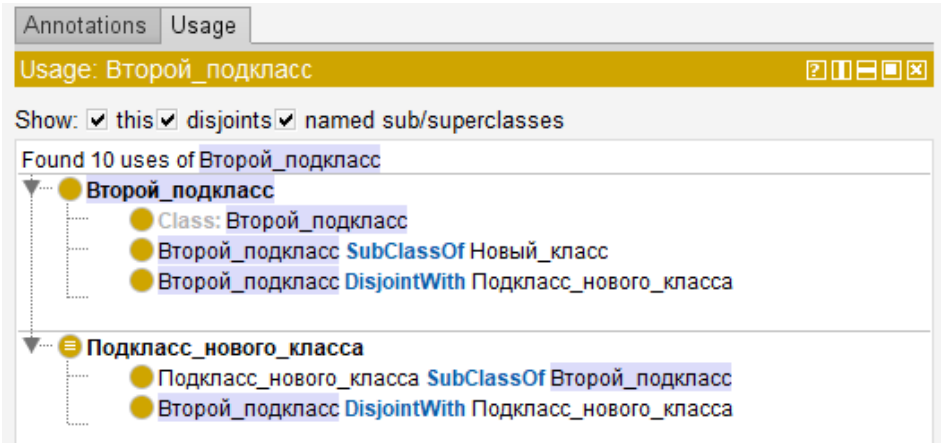


Рисунок 5 – Использование класса

Создание дата-свойст

Свойства (object properties или data properties), похоже на свойства классов в ООП, однако в онтологии свойства имеют независимую природу.

Отличия свойств классов онтологий от свойств классов в ООП заключается в следующем:

- свойства определяются независимо от классов и могут связываться с ними с помощью RDF-троек в произвольном, но не лишенном смысла порядке,
- экземпляры одного и того же класса могут обладать разными наборами свойств.

Дата-свойства определяют некоторые фактические характеристики индивидов (экземпляров классов), т. е. субъектом RDF-тройки будет индивид, а объектом значение характеристики в виде строки, числа, даты и т. п.

Свойства в онтологии, как и классы, могут описываться иерархией (Рисунок 6), а также содержат поля описания:

- определение через ограничения (эквиваленто Equivalent to), для дата-свойства доступна опция полной эквивалентности другому свойству;

– родительское дата-свойство (subProperty of), заполняется автоматически, доступно множественное наследование;
– домены (domains) – перечень классов, к которым относится определяемое свойство,
– диапазоны (ranges) - тип данных, которое модет принимать значение свойства,
– непересекаемые свойства (эти свойства не содержат одинаковых значений).

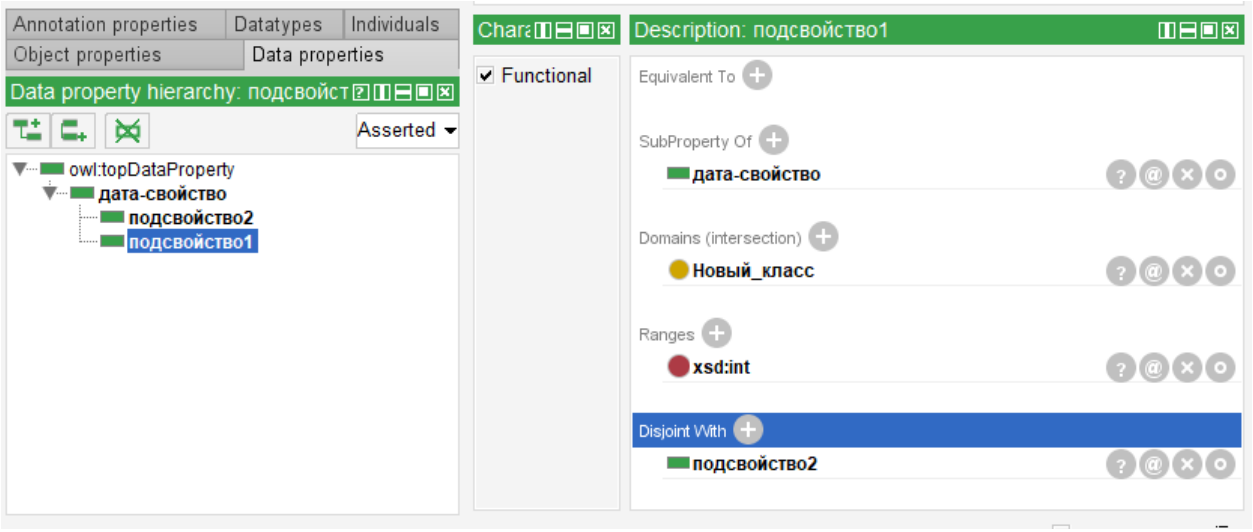


Рисунок 6 – Задание дата-свойства

Кроме этого для дата-свойства доступна характеристика (Functional). Если свойство является функциональным (галочка поставлена), то для данного индивида (экземпляра) может существовать не более одного значения.

Создание объектных свойств

Объектные свойства определяют некоторые отношения между двумя индивидами (экземплярами классов), т. е. субъектом и объектом RDF-тройки будут индивиды.

Объектные свойства тоже могут быть иерархичными и для них доступны те же элементы описания, что и для дата-свойств, но с небольшими изменениями:

– определение через ограничения (эквивалентно Equivalent to), для объектного свойства доступна опция инверсии другому свойству;
– родительское объектное свойство (subProperty of), заполняется автоматически, доступно множественное наследование;
– домены (domains) – перечень классов, к которым относится определяемое свойство,
– диапазоны (ranges) - перечень классов, из которых будут браться индивиды-значения,

– непересекаемые свойства (эти свойства не содержат одинаковых значений).

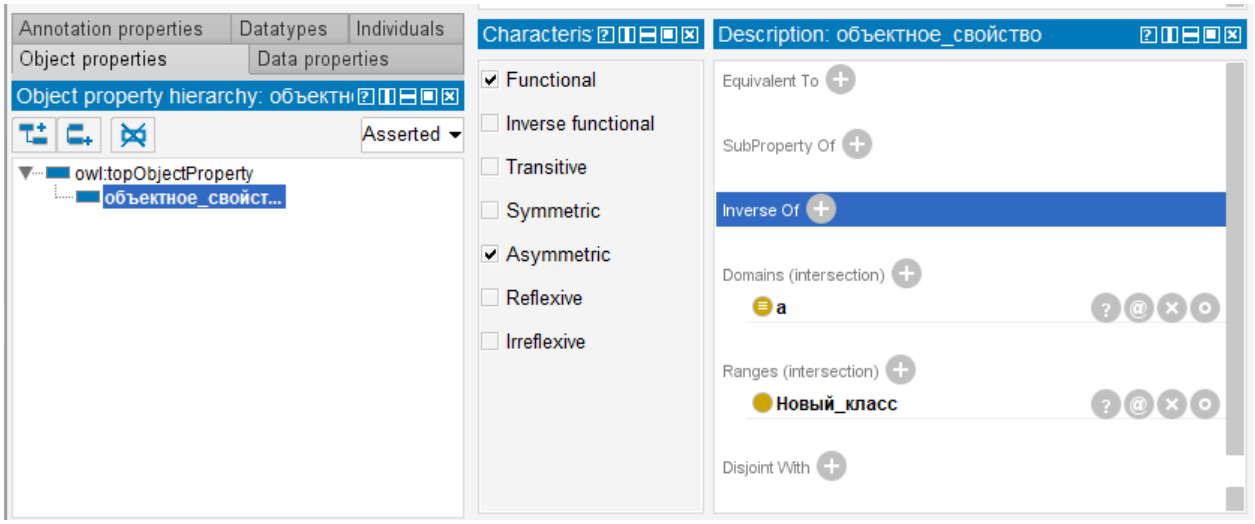


Рисунок 7 – Задание объектного свойства

Кроме этого для объектного свойства доступны характеристики:

– **функциональные свойства** (Functional) – если свойство является функциональным, то для данного индивида (экземпляра) может существовать не более одного индивида, который имеет отношение к первому индивиду через это свойство;

– **обратные функциональные свойства** (Inverse functional) – если свойство является обратным функциональному свойству, то это значит, что свойство является обратным функциональным;

– **транзитивные свойства** (Transitive) – если свойство транзитивное и свойство связывает индивида a и индивида b, а также индивида b связывает с индивидом c, то мы можем вывести, что индивид a связан с индивидом c через это свойство;

– **симметричные свойства** (Simmetric) – если свойство p симметричное, и свойство связывает индивида a с индивидом b, то индивид b связан также с индивидом a через свойство p;

– **асимметричные свойства** (Asimmetric) – если свойство p асимметричное, и свойство связывает индивида a с индивидом b, то индивид b не может быть связан с индивидом a через свойство p;

– **рефлексивные свойства** (Reflexive) – свойство p называется рефлексивным, когда индивид a должен быть связан с собой;

– **иррефлексивные свойства** (Irreflexive) – если свойство p иррефлексивное, то оно может быть охарактеризовано как свойство, которое связывает индивида a с индивидом b, где индивид a и индивид b обязательно разные.

Создание индивидов

Экземпляры классов в онтологии называются индивидами. Аналогичным понятием в объектно-ориентированных моделях является объект, но в RDF оно зарезервировано за одним из элементов RDF-тройки. В RDF-тройке индивид указывается в качестве субъекта, класс — объекта. Связь между индивидом и классом, представителем которого он является, задается предикатом «rdf:type».

- типы (types) — отображает список выражений класса, прямым экземпляром которых является выбранный индивидуум;
- список похожих (Same Individual as) - отображает список индивидов, с которыми выбранный индивид такой же (одинаковые);
- список отличных (different individuals) отображает список индивидов,которые отличны от текущего.

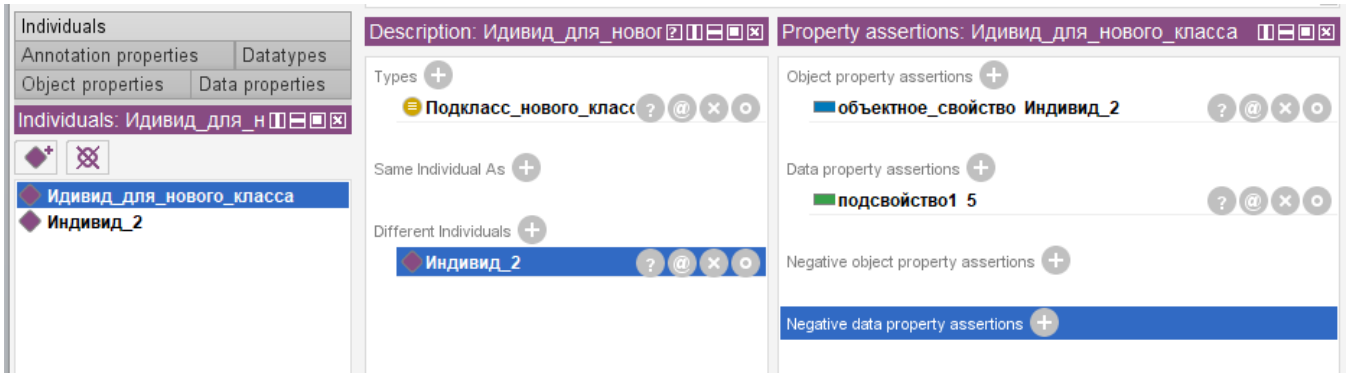


Рисунок 8 – Задание индивида

Далее об индивиде задается списак утверждений, они бывают положительные и отрицательные и для их задания используют свойств (см. **Таблица 6**, **Рисунок 8**).

Таблица 6 – Пример утверждений для индивида

Тип утвержения / свойств	Дата-свойство	Объектное свойство
Положительное	Вес 50	Имеет питомца Ваську
Отрицательное	Вес не 100	Не Имеет питомца Тузик

Согласование онтологии (запуск Reasoner)

Созданные классы, свойства и индивиды представляют из себя набор аксиом, которые могут и противоречить друг другу. Для проверки согласованности всех введенных в онтологию утверждений используется машина вывода (Reasoner).

Семанти́ческий механи́зм рассужде́ний (англ. semantic reasoner), семанти́ческая машина формирования рассуждений (англ. reasoning engine) или движо́к пра́вил

(англ. rules engine) — это часть программного обеспечения, способная вывести логические умозаключения из набора адекватно формализованных базовых знаний или аксиом.

Правила вывода обычно определяются с помощью языка онтологий и часто языков описательной логики.

Многие семантические механизмы рассуждений используют логику первого порядка для выполнения рассуждений; вывод обычно происходит путём прямой и обратной цепочек рассуждений.

Reasoner позволяет проверять правильность модели, и вычислять результаты логических выражений, оперировать именами классов, свойств и сущностей, и «задавать модели вопросы», абстрагируя пользователя от подробностей внутреннего строения модели.

В Protégé можно подключить разные машины вывода (они реализованы через плагины). Для согласования нужно выбрать конкретный резонер (реализация алгоритма вывода в них различны и могут поддерживаться разные типы логик), а затем выбрать пункт «Start Reasoner». В зависимости от условий запуска результат может быть следующим:

- запустился прогрессбар (онтология большая), ждите окончания процесса;
- новых окон не появилось (онтология маленькая, процесс выполнился быстро).

Если после прогресс бара или сразу не появилось никаких окон, значит онология согласована, проверьте, теперь в меню пункт «Start Reasoner» недоступен, но доступен «Synchronize…».

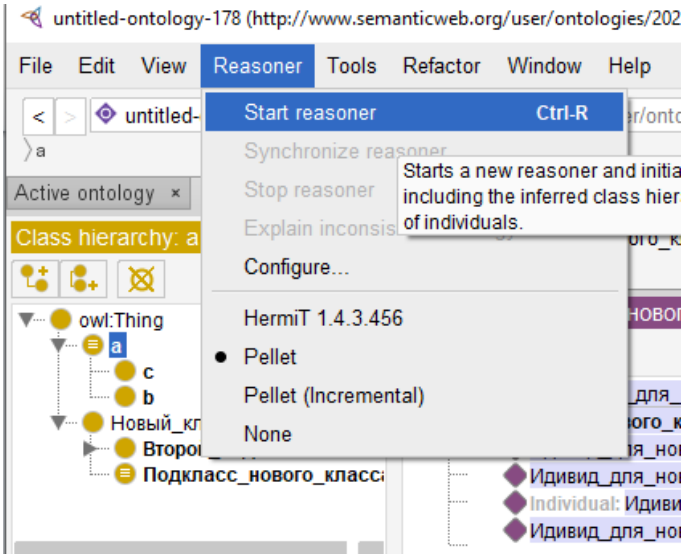


Рисунок 9 – Запуск машины вывода

Если появилось окно с ошибкой, значит, аксиомы противоречивы и в сообщении указывается элемент, который противоречит. После закрытия окна с ошибкой в онтологии противоречащие элементы будут отмечены красным.

Машина вывода не только выполняет проверку соглавсования аксиом, но и производит вывод на их основе, т.е. «достраивает» онтологию. Предсказанные элементы выделяются желтым (см. на примере правил ниже).

Визуализация

Онтология представляет собой ориентированный граф с разными типами дуг и узлов. Для визуализации онтологии можно использовать плагины ontoGraf (встроенный, **Рисунок 10**) и VOWL(требует установки, **Рисунок 11**).

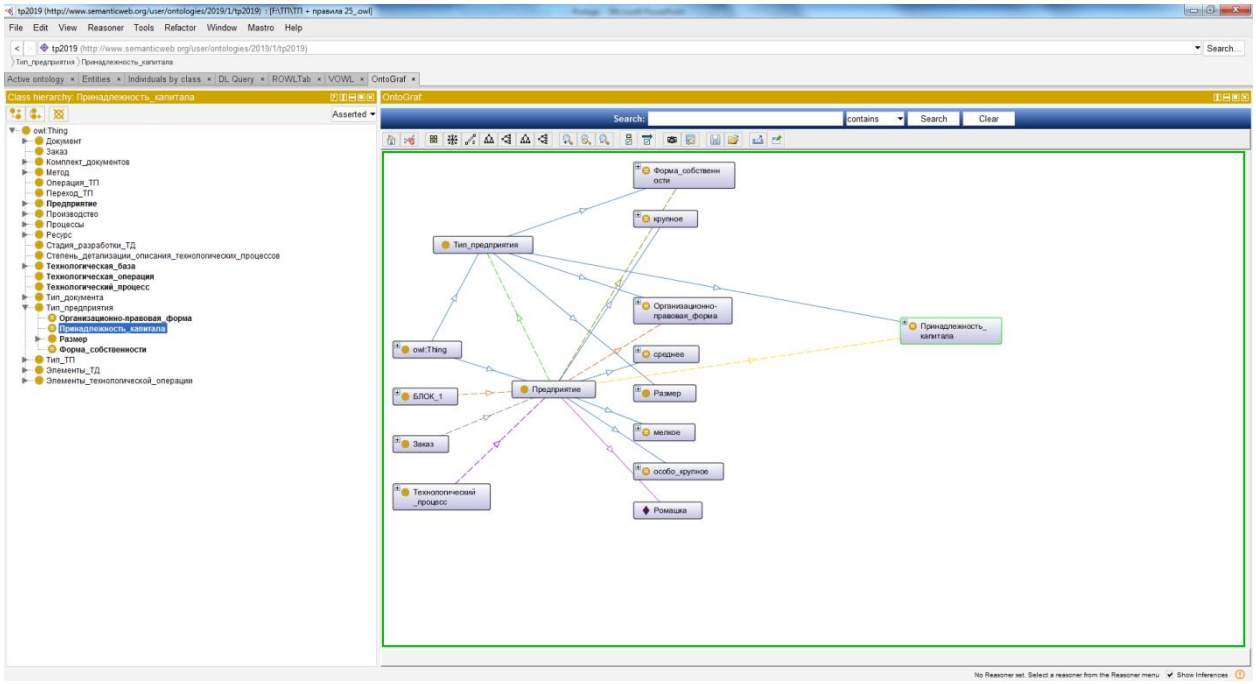


Рисунок 10 -Визуализация онтологии (граф)

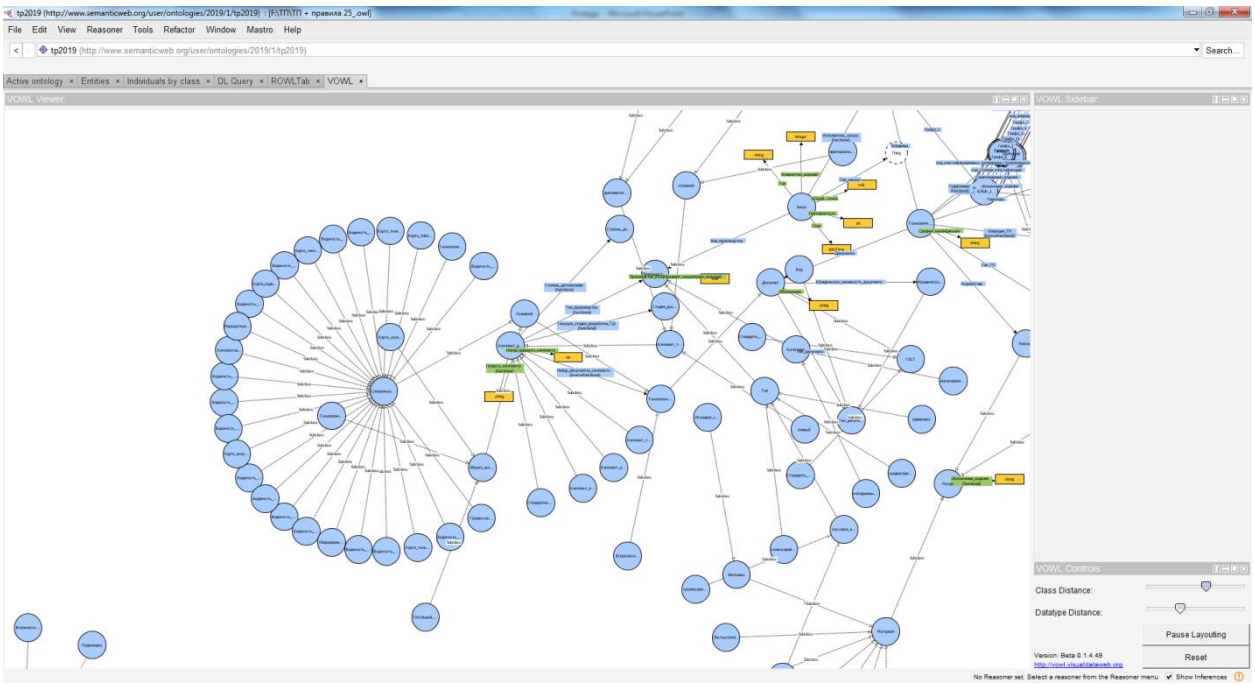


Рисунок 11 -Визуализация онтологии (RDF тройки)

Запросы SPARQL

По аналогии с базами данных для онтологий можно выполнить запросы с целью извлечения знаний, содержащихся в них.

SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) - язык запросов к RDF данным и протокол связи с RDF-хранилищами, выстроен по аналогии с SQL (языка запросов к реляционным базам данных), SPARQL-запрос представляет собой набор графовых шаблонов, с которыми сравниваются имеющиеся RDF-данные.

Общая схема SPARQL-запроса SELECT ([ ] – необязательный элемент, {} – часть синтаксиса):

```
[PREFIX]
# префиксные объявления - служат для указания сокращений универсальных идентификаторов ресурса (URI), используемых в запросе
[FROM ... ]
# источники запроса - определяют какие RDF-графы запрашиваются
SELECT  [DISTINCT | REDUCED]...
# DISTINCT – выводить без повторов
# REDUCED – выводить все, используется по умолчанию
# состав результата - определяет возвращаемые элементы данных (переменные – результирующие столбцы)
WHERE
```

```
# шаблон запроса - определяет, что запрашивать из набора данных
      {
      [FILTER]
      # ограничение на значения переменных
      OPTIONAL
      # допущение отсутствия значения для переменной в RDF-тройке
      UNION
      # объединение результатов нескольких частей запроса
      (объединение дизъюнкцией)
      }
[ORDER BY ... ]
# модификаторы запроса - ограничивают, упорядочивают,
преобразуют результаты запроса
[OFFSET <n>]
# предписывает исключить из выборки n первых решений
[LIMIT <n>]
# ограничивает количество выдаваемых решений
```

Подроднее см. https://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/.

SPARQL поддерживает не только запросы, но и модификацию.

Для задания условий в запросах требуется обращаться к элементам онтологии по полному имени или с использованием префиксов, а для задания условий на отношения между элементами указывать свойства RDF/RDFS (**Таблица 7**), которые определены для классов RDF/RDFS (**Таблица 8**), примеры применение этих свойст рассмотрены ниже в примере запросов.

Таблица 7 – Свойства RDF/RDFS

Свойство	Описание
rdf:type	Субъект является экземпляром класса
rdfs:subClassOf	Субъект является подклассом класса
rdfs:subPropertyOf	Субъект является подсвойством свойства
rdfs:domain	Домен свойства субъекта
rdfs:range	Диапазон свойства субъекта
rdfs:label	Человекочитаемое название субъекта
rdfs:comment	Текстовое описание ресурса

rdfs:member	Член ресурса субъекта
rdf:first	Первый элемент списка
rdf:rest	Оставшийся за первым элементом "хвост" списка
rdfs:seeAlso	Дополнительная информация о субъекте
rdfs:isDefinedBy	Определение ресурса субъекта
rdf:value	Свойство, используемое для структурированных значений
rdf:subject	Субъект RDF-утверждения
rdf:predicate	Предикат RDF-утверждения
rdf:object	Объект RDF-утверждения

Таблица 8 - Базовые классы RDF/RDFS

Класс	Описание
rdfs:Resource	Класс-ресурс, включает "всё"
rdfs:Literal	Класс литеральных значений (например, текстовых строк или чисел)
rdf:langString	Класс строковых литералов, интерпретация которых зависит от выбранного языка или системы кодирования
rdf:HTML	Класс HTML-литералов
rdf:XMLLiteral	Класс XML-литералов
rdfs:Class	Класс классов
rdf:Property	Класс RDF-свойств
rdfs:Datatype	Класс типов данных RDF
rdf:Statement	Класс утверждений RDF
rdf:Bag	Класс контейнеров с неупорядоченными элементами
rdf:Seq	Класс контейнеров с упорядоченными элементами
rdf:Alt	Класс контейнеров с элементами-альтернативами
rdfs:Container	Класс RDF-контейнеров
rdfs:ContainerMembership	Класс свойств "членства" в контейнерах: rdf:_1, rdf:_2, ..., все они являются подсвойствами свойства rdfs:member
rdf:List	Класс RDF-списков

Правила SWRL

SWRL (Semantic Web Rule Language) - это язык, созданный для организации логического вывода на OWL (Web Ontology Language) онтологии. Логика работы правил осуществляется с хорновскими дизъюнктами. Дизъюнктом Хорна называют выражение типа a1∧a2∧...∧aN→b.

У SWRL есть следующие недостатки:

- не поддерживает отрицание и дизъюнкцию,
- неразрешим,
- для него не существует родных механизмов суждений (reasoners), не размечены четко отношения с другими формализмами.

Несмотря на недостатки, SWRL достаточно выразителен и может использовать следующие типы утверждений.

1**. Утверждения о принадлежности к классу.** Записывается в следующей форме: *Класс(Индивид)*. В качестве аргумента может использоваться переменная, которая обозначается «?», импликация обозначается в правиле «->». Например:

```
Мужчина ( ?x ) -> Человек ( ?x )
```

Это правило утверждает, что любой экземпляр класса Мужчина является и экземпляром класса Человек (можно получить и средствами OWL).

2. **Утверждения о существовании связи (объектное свойство) или значении дата-свойства.** Записывается в следующей форме: *свойство(индивид, значение_свойства)*, практический смысм утверждения будет в правиле, если хотя бы один аргумент будет переменной. Например:

```
являетсяСыном ( Петр, ?x )
```

Можно комбинировать с встроинными функциями (**built-ins**):

```
имеетВозраст ( ?x , ?y ) ∧ swrlb:greaterThanOrEqual ( ?y, 16 )
```

3. **Условие раздельности или совпадения двух индивидов.** Для проверки различия двух индивидов используют специальные функции:

```
differentFrom ( ?x, ?y )
sameAs ( ?x, ?y )
```

Условие будет истинно (sameAs), если переменные ?x и ?y оказались равны одному и тому же объекту.

4. **Условие о принадлежности значения переменной определенному типу данных.** Например:

```
xsd:int ( ?x )
```

5. **Встроенные условия (built-ins).** Для задания более широкого диапазона условий используют так называемые встроенные функции различных типов: для сравнения, математические, для логических значений, для строк, для даты, времени, для URI, для списков. Подробнее см. http://www.daml.org/2004/04/swrl/builtins.html.

Например:

```
swrlb:greaterThanOrEqual.
```

Пример работы с онтологией в Protege

Для разбора примеров запросов и правил создадим небольшую абстрактную онтологию (**Рисунок 12**), в которой определим классы: f, a, b,c -, индивиды: d,h, - и объектное свойство g и дата-свойство e.

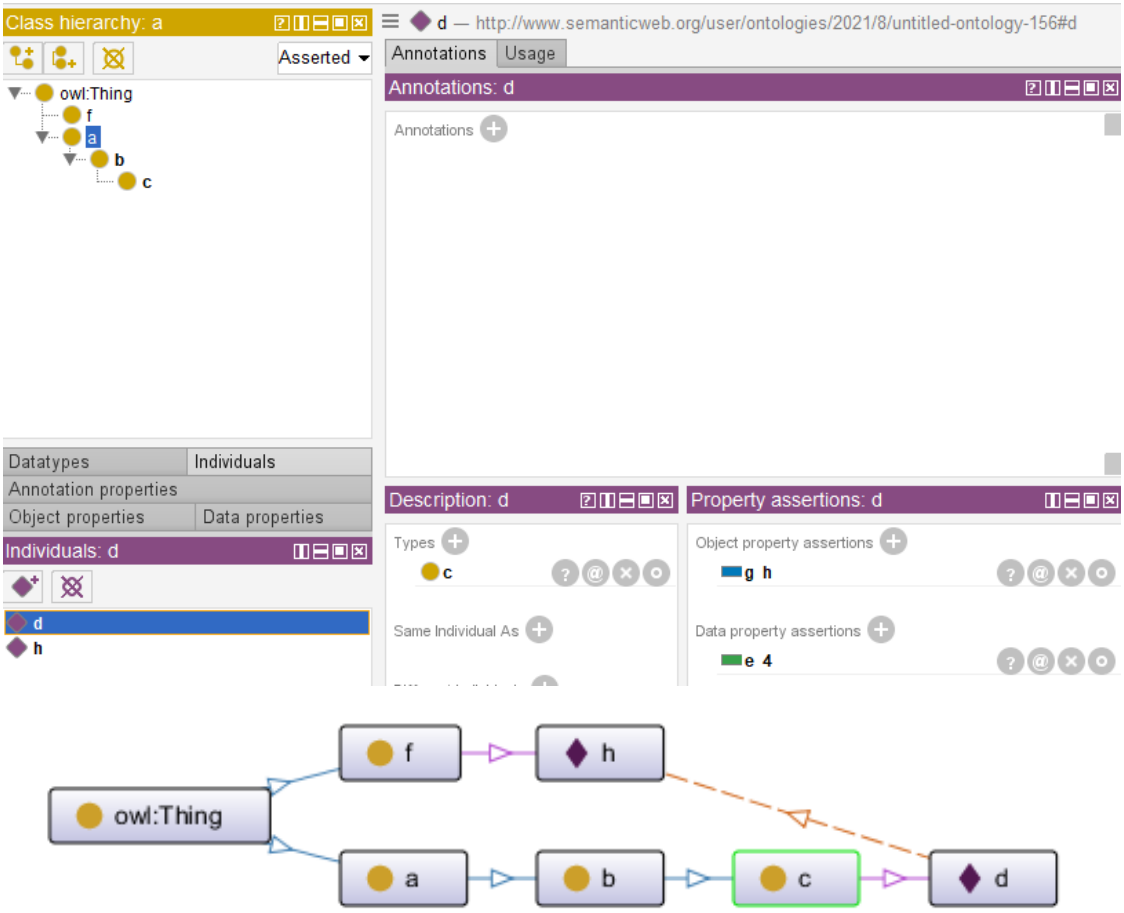


Рисунок 12 – Онтология для разбора запросов и правил

Для выполнения запросов к онтологии выберете плагин SPARQL Query (**Рисунок 13**).

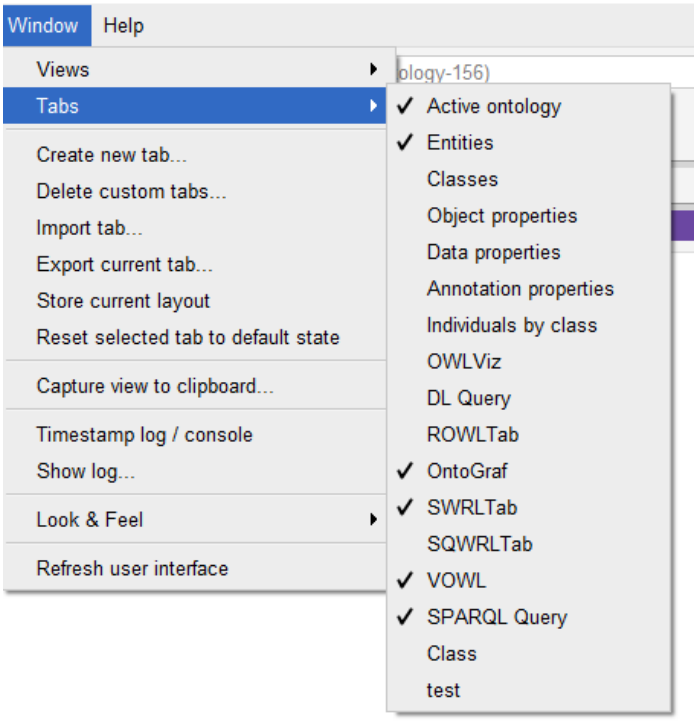


Рисунок 13 – Меню плагинов

Откроется окно с запросом по умолчанию. Выполните его для проверки работы плагина. Если в вашей онтологии есть классы и полклассы, то после нажатия кнопки «Execute» получите результат.

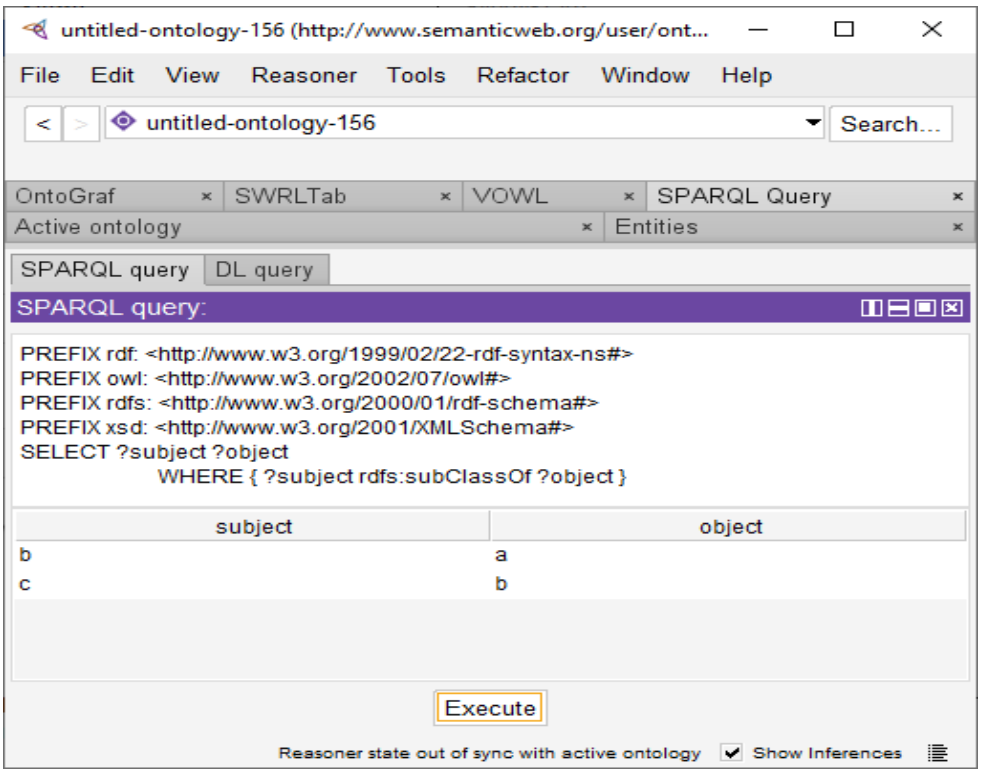


Рисунок 14 – Запрос по умолчанию

Примеры других запросов представлены ниже.

1) Выдаёт строки, начиная со второй, подклассы и родительские классы

```
SELECT ?subject ?object
       WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
offset 2
```

2) Выдаёт строки упорядоченные по переменной ?subject в обратном порядке

```
SELECT ?subject ?object
       WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
order by  desc(?subject)
```

3) Выдаёт 1 строку

```
SELECT ?subject ?object
       WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
       limit 1
```

4) Выдаёт строки без повторений

```
SELECT DISTINCT ?subject ?object
       WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
order by  desc(?subject)
```

5) Выдаёт строки 3 уровня иерархии наследования

```
SELECT ?x ?y ?z
      WHERE {
?y rdfs:subClassOf ?x.
?z rdfs:subClassOf ?y.
}
```

6) Выдаёт строки, в которых переменная ?z равна классу «c»

```
PREFIX my_ont:
<http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled-
ontology-156#>
SELECT ?x ?y ?z
      WHERE {
?y rdfs:subClassOf ?x.
?z rdfs:subClassOf ?y.
FILTER (?z=my_ont:c).
}
```

7) Выдаёт индивиды, у которых задан атрибут «e» и значение этого атрибута

```
PREFIX my_ont:
<http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled-
ontology-156#>
SELECT ?y ?e
      WHERE {
?y my_ont:e  ?e.
}
```

8) Выдаёт индивиды, у которых задан атрибут «e» и его значение больше 3

```
PREFIX my_ont:
<http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled-
ontology-156#>
SELECT ?y ?e
      WHERE {
?y my_ont:e  ?e.
FILTER (?e>3)
```

```
}
```

9) Выдаёт индивиды, у которых задан атрибут «g» и его равно индивиду «h»

```
PREFIX my_ont:
<http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled-
ontology-156#>
SELECT ?y
      WHERE {
?y my_ont:g  my_ont:h.
}
```

10) Выдаёт индивиды типа «c»

```
PREFIX my_ont:
<http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled-
ontology-156#>
SELECT ?y
      WHERE {
?y rdf:type my_ont:c.
}
```

11) Выдаёт подкласс, родительский класс и индивид этого подкласса в обратном порядке отсортированном по полю подкласса, причём наличие индивида необязательно

```
SELECT ?subject ?object ?e
      WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object
OPTIONAL { ?e  rdf:type ?subject  }
}
order by  desc(?subject)
```

12) Выдает подкласс и родительский класс + те же строки еще раз

```
SELECT ?subject ?object
      WHERE {
{ ?subject rdfs:subClassOf ?object }
union
{ ?subject rdfs:subClassOf ?object }
}
```

Правила SWRL

Для построения правил SWRL дыберите плагин SWRL Tab. В открывшимся окне нажмите кнопку «New», появится окно с 4 полями (**Рисунок 15**):

- name – имя правила (задается произвольно);
- comment – поясняющий комментарий к правилу;
- status – статус правила, если код правильный, то в поле «Status» будет значение «OK», иначе сообщение об ошибке,
- последнее поле – код правила.

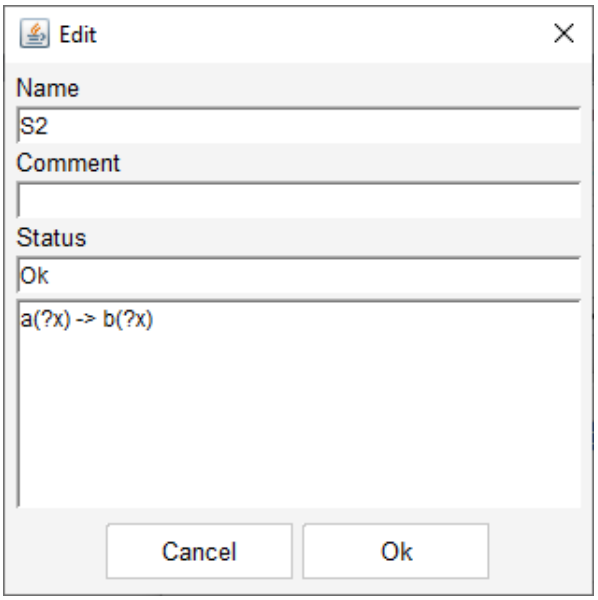


Рисунок 15 – Окно редактирования правила

Для выполнения правил надо запустить Reasoner после их создания. Если Reasoner уже был запущен, то синхронизируйте онтологию. Для отображения изменений в свойствах, поставьте галочку «Data Property Assertion» в пункте настроек Reasoner / Configure … (**Рисунок 16**).

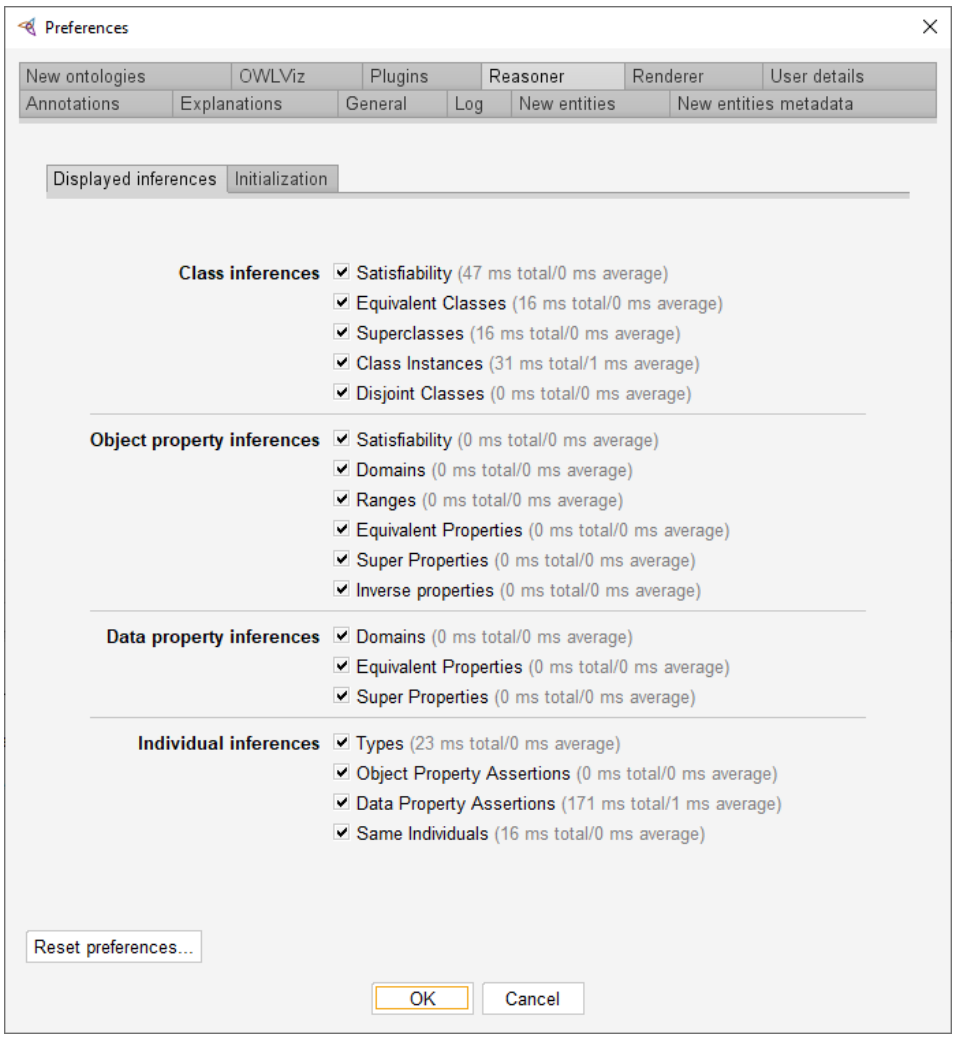


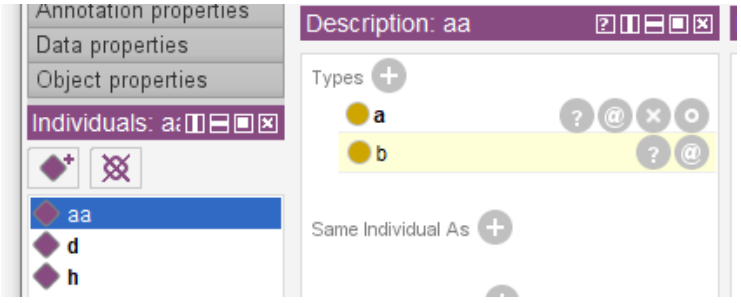
Рисунок 16 – Окно настройки машины вывода

Примеры правил и их результатов приведены ниже (жёлтым цветом выделены полученные результаты).

1) ***Используется утверждение принадлежности к классу***

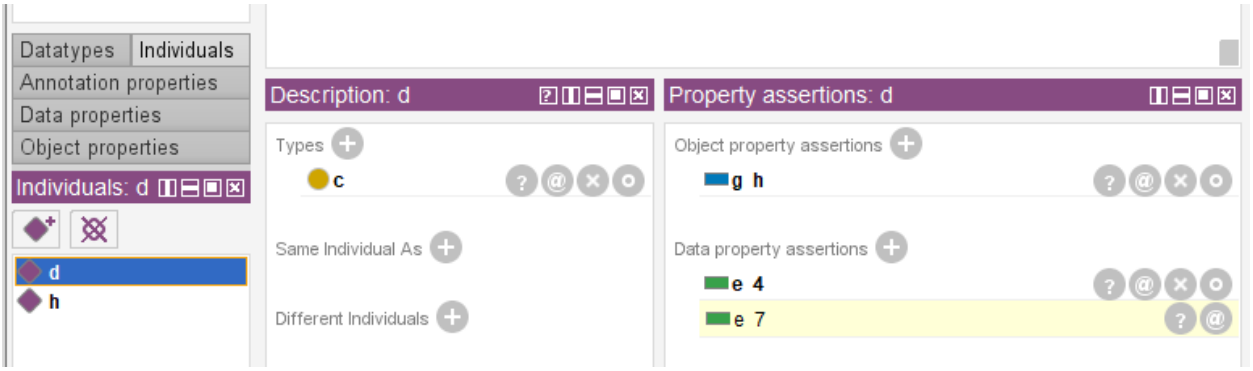
```
a(?x) -> b(?x)
```

Для проверки правила создаём индивид в классе a



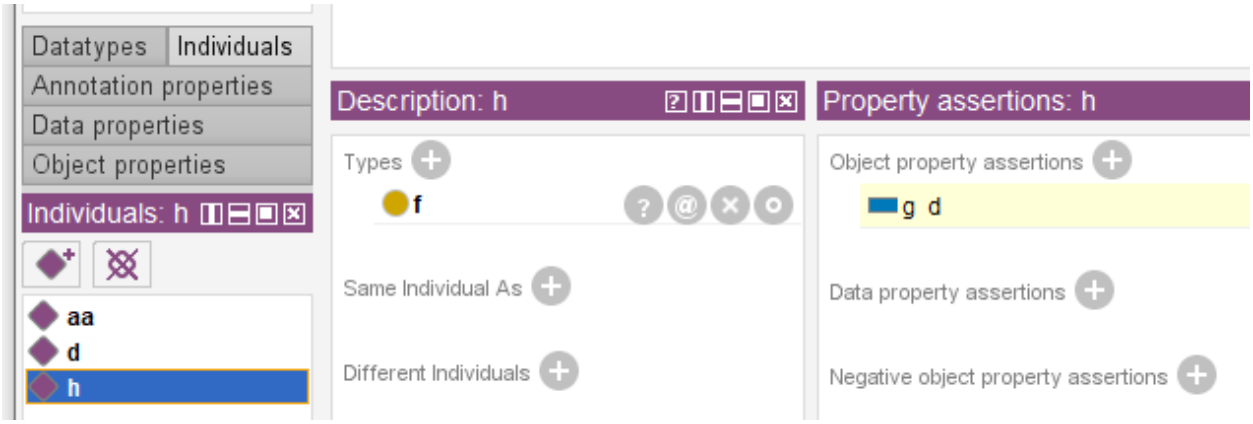
2) ***Используется утверждение со свойствами, проверяется наличие свойства Object Property и устанавливается значение Data Property***

```
c(?x) ^ g(?x, ?y) ->e(?x, 7)
```



3) ***Используется утверждение со свойствами и проверкой его значения(=4), назначение индивиду свойства Object Property***

```
e(?x, 4) ^ g(?x, ?z) -> g(?z, ?x)
```



Используется утверждение с конкретным индивидом.

```
c(d) -> e(d, 9)
```

4) ***Используется утверждение со свойством, новым значением и функцией.***

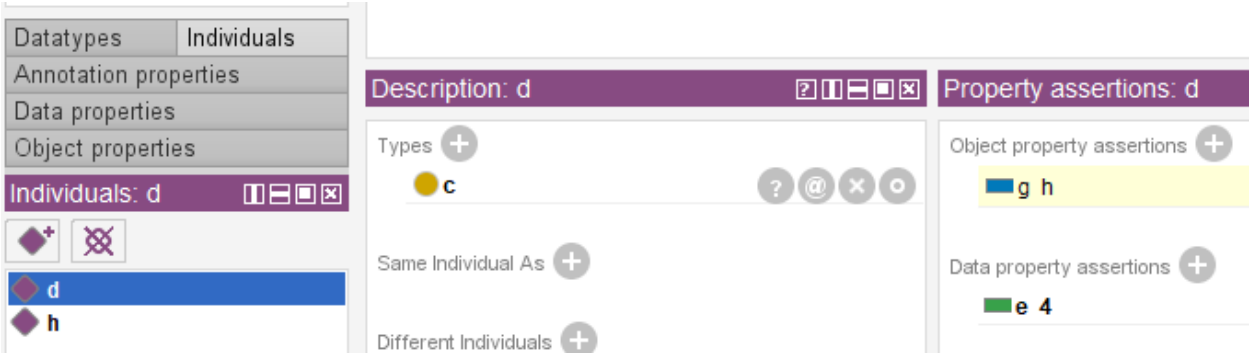
```
c(?x)^e(?x,?y)^swrlb:add(?z, 4,10) -> e(?x,?z)
```

С swrlb:add(?z, 4,10) сработает, если заменить на swrlb:add(?z, 4, ?y), то будет работать вечно и попытается назначить бесконечное количество значений в свойстве (не поддерживает модификацию). Не получиться выполнить операцию и вернуть значение в правило, правила SWRL могут добавлять дополнительную информацию в элементы, но не действуют как язык программирования.

SWRL поддерживает только монотонные выводы и, следовательно, не может использоваться для циклического перебора данных в онтологии.

5) ***Используется утверждение со функцией, и назначение объектного свойства.***

```
c(?x) ^ f(?y) ^ e(?x, ?x1) ^ e(?y, ?y1) ^ swrlb:lessThan(?y1, ?x1) -> g(?x, ?y)
```



Работа с онтологией на Python (Библиотека Owlready2)

Owlready2 реализует классы и методы для работы с онтологимя в приложениях Python.

Рассмотрим основные классы, которые соответсвуют той же схеме работы с онтологией, которая была рассмотрена выше в Protégé. Тогда общую схему работу с классами библиотеки можно представить следующим образом (**Рисунок 17**).

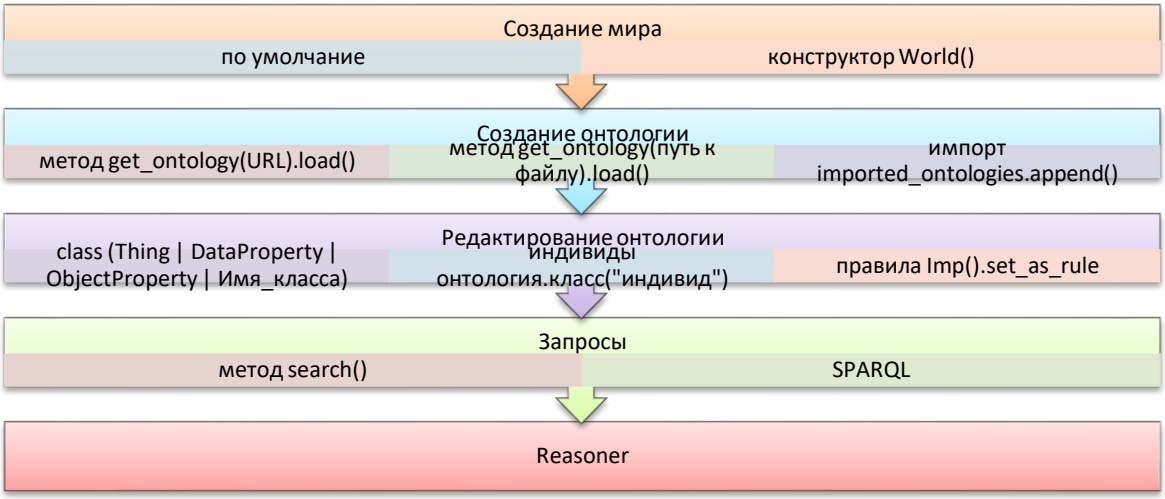


Рисунок 17 – Схема работы с классами библиотеки

Устоновка и импорт библиотеки

Для установки библиотеки Owlready2 используйте команду (если используете ее в блокноте поставьте ! в начале строки):

```
!pip install Owlready2
```

Для импорта объектов библиотеки импользуйте команду inport.

```
# импорт библиотеки
from owlready2 import *
```

Загрузка онтологии

Загрузка онтологии в программу (представление объектов и классов онтологиии в виде обътов Python) возможно из двух метс:

- локольный репозиторий (файлы с диска);
- закрузка с сетевого ресурса по адресу.

Для создания локальной копии / загрузки онтологии используется функцция get_ontology. Данная функция возвращает онтологию по IRI и при необходимости создает новую пустую онтологию. Метод .load() загружает онтологию из локальной копии или из Интернета (по URL). Можно вызывать .load() несколько раз, загружена онтология будет только один раз.

В настоящее время Owlready2 читает файлы онтологий в форматах: RDF/XML, OWL/XML, NTriples (хотя существуют и другие форматы, **Таблица 9**), при этом формат определяется автоматически (предпочтительными форматами являются RDF/XML и NTriples).

Таблица 9 – Форматы хранения онтологий

Имя Синтаксиса	Спецификация	Статус	Цель
RDF/XML	Отображение в RDF-графах RDF/XML	Обязательный	Взаимообмен (может быть записан и считан любым программным обеспечением совместимым с OWL 2)
OWL/XML	Сериализация XML	Дополнительный	Упростить обработки, используя инструменты XML
Functional Syntax	Структурная Спецификация	Дополнительный	Упростить обнаружение формальной структуры онтологий
Manchester Syntax	Манчестерский Синтаксис	Дополнительный	Упростить чтение/запись онтологий DL
Turtle	Mapping to RDF Graphs, Turtle	Дополнительный, Не от OWL-WG	Упростить чтение/запись RDF-триплетов

Пример:

```
# указываем локольный репозитарий хранения онтологии (путь к файлу) и загружаем ее
onto = get_ontology("d:\\a.owl").load()

# загрузка по URL
onto=get_ontology("http://www.lesfleursdunormal.fr/static/_downloads/pizza_onto.owl").load()
```

Результатом выполнения метода загрузки является объект – онтология, обращаясь к которому можно получить доступ к объектам онтологии. У объекта есть набор атрибутов и методов (**Рисунок 18**), методы возвращают генераторы объектов онтологии (например, <generator object _GraphManager.classes at 0x7f854a677728>). Генераторы позволяют перебирать значения без создания списка, что может улучшить производительность, но если необходимо просмотреть объекты, то их можно перобразовать в списки.

Пример:

```
# получаем список классов онтологии
list(onto.classes())
# получаем список индивидов онтологии
list(onto.individuals())
# получаем список объектных свойств онтологии
list(onto.object_properties())
# получаем список объектных свойств онтологии
list(onto.object_properties())
# получаем список дата-свойств онтологии
list(onto.data_properties())
```

Рисунок 18 – Структура класса онтологии

Получить элементы онтологии или обратиться к ним можно не только через перечисленные методы, но и используя метод поиска search(), используя переменные с указателями на объекты онтологии, используя идентификаторы, выполняя запросы (**Рисунок 19**, далее будут рассмотрены остальные варианты).

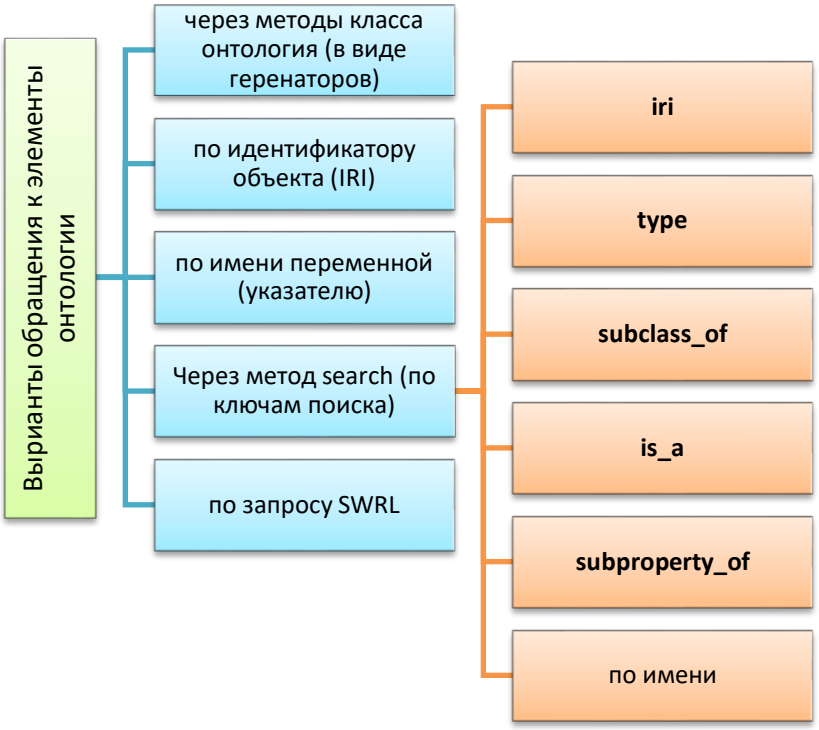


Рисунок 19 – Способы обращения / получения элементов онтологии

Кроме методов, класс онтологии содержит и атрибуты:

- base_iri – базовый идентификатор (IRI);
- imported_ontologies (список импортированных онтолгогий).

Онтологии можно объединять (слияние) и в библиотеке Owlready2 эта возможнось реализуется как импорт, аналогично импорту модулей. Для добавления онтологии используется метод append().

Пример:

```
onto.imported_ontologies.append(owlready_ontology)
```

Подробнее см. https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/onto.html#accessing-the-content-of-an-ontology.

Создание и удаление элементов онтологии

При создании класса или свойства онтологии необходимо указать пространство имен (онтологию) в которой создается элемент. Для этого можно использовать два способа:

- непосредстаннное указание пространства имен как атрибута (namespace = переменная);
- использование конструкции with с указанием переменой.

При создании класса онтологии необходимо его объявить, указать в скобках родительский класс (суперкласс) и указать пространство имен.

Пример:

```
# создаем новый класс и указываем пространство имен
class new_b3(Thing):
     namespace = onto

# создаем новый класс и выводим сообщение
with onto:
     class new_a1(onto.a):
         print("класс new_a наследник a")

# используем pass - Оператор-заглушка, равноценный отсутствию операции.
with onto:
class D3(Thing):
    pass
```

При создании свойства требуется объявить класс для этого свойства (свойство в онтологии независимо он классов и поэтому для него исползуется ской класс Pyton), указать тип свойсва (супер калсс ObjectProperty или DataProperty) и при необходимости другие атрибуты (описание свойства).

Пример:

```
# создание дата-свойства с указанием типа значений
with onto:
     class h1(DataProperty):
        range = [str]
# создание объектного свойства с классами, которые являются доменом и диатазоном свойства
with onto:
     class class_1(Thing):
         pass
     class class_2(Thing):
         pass
     class property_1(ObjectProperty):
         domain    = [class_1]
```

```
        range     = [class_2]
```

Для диапазона дата-свойства поддерживаются следующие типы данны: *int, float, bool, str (string), owlready2.normstr (normalized string, a single-line string), owlready2.locstr (localized string), datetime.date, datetime.time, datetime.datetime.*

Для задания характеристик свойств нужно указывать их при объявлении класса.

```
# объявляем свойство функциональным
with onto:
    class property_2(DataProperty, FunctionalProperty):
        domain    = [class_1]
        range     = [float]
# объявляем свойство транзитивным
with onto:
    class property_3(DataProperty, TransitiveProperty):
        domain    = [class_1]
        range     = [float]
```

Для задания определений класса через equivalent_to используется одноименный метод и одноименные операнды (как в Таблица 5):

- **some** : Property.some(Range_Class),
- **only** : Property.only(Range_Class),
- **min** : Property.min(cardinality, Range_Class),
- **max** : Property.max(cardinality, Range_Class),
- **exactly** : Property.exactly(cardinality, Range_Class),
- **value** : Property.value(Range_Individual / Literal value),
- **has_self** : Property.has_self(Boolean value).

Для создания сложных условий используются логические операторы: **&** - «и», **|** - «или», **Not()** - «не».

Пример:

```
with onto:
    class class_3(class_2):
        equivalent_to = [Class_2 & property_1.min(2, class_1)]
```

Для создания индивида необходимо обратиться к классу, к которому будет относиться индивид, и указать имя индивида в курглых скобках.

Пример:

```
# создаем индивид
ind3 = onto.new_a("ind_3")
```

Для задания значений свойств индивида нужно использовать перемнную, указывающую на индивид, имя свойства (его класс) и присвоить значение в квадратных скобках, которое будет принимать свойство, у объектного – индивид, в случае дата-свойства – число, строку, дату и т.д.

Пример:

```
# назначение индивиду значения (индивида) объектного свойства
ind3. property_1=[onto.h]

# назначение индивиду значения (числа) свойства (Data Propertie)
ind3.h1=[3]
```

Для удаления элемента онтологии используется один метод destroy_entity.

Пример:

```
# удаление класса
destroy_entity(onto.new_b3)

# удаление индивида
destroy_entity(ind3)

# удаление свойства
destroy_entity(onto.h1)
```

Поиск элементов онтологии

К любому элементу онтологии можно обратиться, если известен его IRI. Для этого используется псевдословарь IRIS (IRI указывается в квадратных скобках).

Пример:

```
# получаем объект по его идентификатору (IRI)
IRIS["http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled
-ontology-156#b"]
```

Для простых запросов к онтологии можно использовать метод search(). Поиск с помощью этого метода осуществляется по ключам. Поддерживаются следующие ключи:

- iri – поиск по IRI,
- type – поиск индивидов по принадлежности к классу,
- subclass_of - поиск подклассов заданного класса,
- is_a – поиск и индивидов и подклассов заданного класса,
- subproperty_of – поиск подсвойсва заданного свойства,
- любое имя свойства объекта, данных или аннотации.

Ключи могут задаваться маской (с использованием «*») или полным значением.

Пример:

```
# ищем объекты онтологии по шаблону его идентификатора
onto.search(iri = "*b")

# ищем объекты онтологии по шаблону для значения свойства объекта
onto.search(g = "*")

# ищем объекты онтологии по конкретному значению дата-свойства объекта
onto.search(e = 4)
```

Запросы SPARQL

Начиная с версии 0.30, Owlready предлагает два метода выполнения запросов SPARQL: собственный механизм SPARQL и RDFlib.

Рассмотрим собственный механизм выполнения запоосов. Для этого реализован метод sparql() объекта World, который возвращает генератор (поэтому требуется преобразование в список при выводе результата). Список содержит одну строку для каждого найденного результата с одним или несколькими столбцами (в зависимости от запроса).

Объект World это некое изолировнное рабочее пространсво для онтологий. Owlready2 может поддерживать несколько изолированных миров (например, если необходимо загрузить несколько версий одной и той же онтологии, до и после работы машины вывода).

По умолчанию при загрузке онтологии используется один мир, к нему можно обратиться default_world. Если требуется создать отдельный мир, то можно вызвать контруктор и грузить онтологию в созданный мир.

Пример:

```
my_world = World()
onto = my_world.get_ontology("http://test.org/onto/").load()
```

Сами запросы были рассмотрены выше, запрос является параметром, который передается в следующем виде """ запрос """.

Пример:

```
# строим запрос к онтологии на SPARQL
list(default_world.sparql("""
        SELECT ?subject ?object
        WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
    """))
```

Правила SWRL

Для создания правил в Owlready2 используется класс Imp(«Подразумевается») Самый простой способ создать правило — определить его с помощью синтаксиса SWRL (как и в Protégé), используя метод класса Imp set_as_rule(). При создании правила требуется также как и при создании классов онтологии указывать пространство имен.

Пример:

```
# создание правила
with onto:
    rule = Imp()
    rule.set_as_rule("""a(?x), g(?x, ?y) -> e(?x, 5)""")
```

Синтаксис созданного правила можно посмотреть, преобразовав его в строку.

Пример:

```
# просмотр правила
str(rule)
```

Работа с Resoners

Owlready2 поддерживает два reasoners: HermiT (использует метод sync_reasoner) и Pellet (использует метод sync_reasoner_pellet). При запуске требуется указывать пространсво имен.

Пример:

```
# запуск HermiT
with onto:
     sync_reasoner()
```

```
# запуск Pellet
with onto:
    sync_reasoner_pellet()
```

Мешина вывода используется для согласования онтологии и предсказания новых аксиом (свойств элементов онтологии или новых элементов).

Для получения результатов согласования можно использовать метод inconsistent_classes, который выведен генератор, содержащий несогласованные классы.

Пример:

```
# возвращает несогласованные классы
list(onto.inconsistent_classes())
```

Для работы с правилами, которые влияют на свойства, требуется использовать Pellet с соответсвующими настройкамии.

```
# запуск Pellet для вывода по правилам
# только Pellet поддерживает вывод по значению свойства данных
sync_reasoner_pellet(infer_property_values = True,
infer_data_property_values = True)
```

Подробнее см. https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/reasoning.html.

Сохранение изменений в отнологии

Для сохранения онтологии используется метод save(). Без указания параметров онтология сохраняется в тот же файл (предсказанные значения с помощью машины вывода в ней сохранены не будут). Для сохранения онтологии в новый файл в качестве параметра указывается путь, кроме того, можно выбрать формат сохранения онтологии (rdf/xml / ntriples).

Пример:

```
onto.save()

# сохранение онтологии в новом файле с заданным форматом
onto.save(file = "d:\\aaa.owl", format = "rdfxml")
```

Пример работы с онтологией в Owlready2

```
!pip install Owlready2

# импорт библиотеки
```

```
from owlready2 import *

# указываем локольный репозитарий хранения онтологии (путь к файлу) и загружаем ее
onto = get_ontology("d:\\a.owl").load()

# получаем список классов онтологии
list(onto.classes())
# получаем список индивидов онтологии
list(onto.individuals())
# получаем список объектных свойств онтологии
list(onto.object_properties())
# получаем список объектных свойств онтологии
list(onto.object_properties())
# получаем список дата-свойств онтологии
list(onto.data_properties())

# создаем новый класс и указываем пространство имен
class new_b3(Thing):
     namespace = onto
# создаем новый класс и выводим сообщение
with onto:
     class new_a1(onto.a):
         print("класс new_a наследник a")

# создаем индивид
ind3 = onto.new_a("ind_3")

# создание дата-свойства с указанием типа значений
with onto:
     class h1(DataProperty):
        range = [str]

# назначение индивиду значения (индивида) объектного свойства
ind3.g=[onto.h]
```

```
# назначение индивиду значения (числа) свойства (Data Propertie)
ind3.e=[3]

# удаление класса
destroy_entity(onto.new_b3)
# удаление индивида
destroy_entity(ind3)
# удаление свойства
destroy_entity(onto.h1)

# получаем объект по его идентификатору (IRI)
IRIS["http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/8/untitled
-ontology-156#b"]

# ищем объекты онтологии по шаблону его идентификатора
onto.search(iri = "*b")

# ищем объекты онтологии по шаблону для значения свойства
объекта
onto.search(g = "*")

# ищем объекты онтологии по конкретному значению дата-свойства
объекта
onto.search(e = 4)

# строим запрос к онтологии на SPARQL
list(default_world.sparql("""
        SELECT ?subject ?object
        WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }
    """))

# запуск HermiT
with onto:
     sync_reasoner()

# возвращает несогласованные классы
```

```
list(onto.inconsistent_classes())

# создание правила
with onto:
    rule = Imp()
    rule.set_as_rule("""a(?x), g(?x, ?y) -> e(?x, 5)""")

# просмотр правила
str(rule)

# запуск Pellet для вывода по правилам
# только Pellet поддерживает вывод по значению свойства данных
sync_reasoner_pellet(infer_property_values = True,
infer_data_property_values = True)

onto.search(e = 5)

# сохранение онтологии в новом файле с заданным форматом
onto.save(file = "d:\\aaa.owl", format = "rdfxml")
```

Варианты для выполнения лабораторной работы

1. Информационные системы
2. Интеллектуальные информационные системы
3. Компьютерные сети
4. Языки программирования
5. Модели представления знаний
6. Классификация нейронных сетей
7. Классификация экспертных систем
8. Классификация систем поддержки принятия решений
9. Электронно-вычислительные машины (компьютеры)
10. Направления искусственного интеллекта
11. Операционные системы
12. Классификация наук
13. Направления исследований в информатике

14. Протоколы Интернет
15. Свободный вариант, студент сам предлагает предметную область (связанна с информатикой) и согласовывает с преподавателем.

Тема 4.Эволюционное моделирование

Задание лабораторной работы

Цель работы: получение практических навыков использования генетических алгоритмов на языке Python с использованием библиотеки DEAP.

Задание: используя программу Jupiter Notebook, язык программирования Python, библиотеку DEAP, NumPy, Matplotlib и др. реализовать генетический алгоритм согласно варианту.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию и номер группы учащегося, задание, вариант.
2. Описание построенного генетического алгоритма и его операторов.
3. Протокол прогона ГА: особи популяций, лучшие особи, приспособленность особей, максимальное значение приспособленности, минимальное значение приспособленности.
4. График изменения параметров ГА.
5. Выполнить 3 прогона с разными параметрами генетического алгоритма, сравнить результаты и определить лучший вариант параметров (который быстрее привёл к результату / дал лучший результат).
6. Код.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Элементы библиотеки DEAP для генетического алгоритма

Библиотека DEAP (Distributed Evolutionary Algorithms in Python) содержит распределённые эволюционные алгоритмы в Python.

Для реализации этих эволюционных алгоритмов, требуется использовать пакеты библиотеки, среди которых можно выделить ядро, реализующее базовые классы и инструменты для алгоритмов, и пакеты, реализующие различные эволюционные методы (Рисунок 20, Таблица 10).

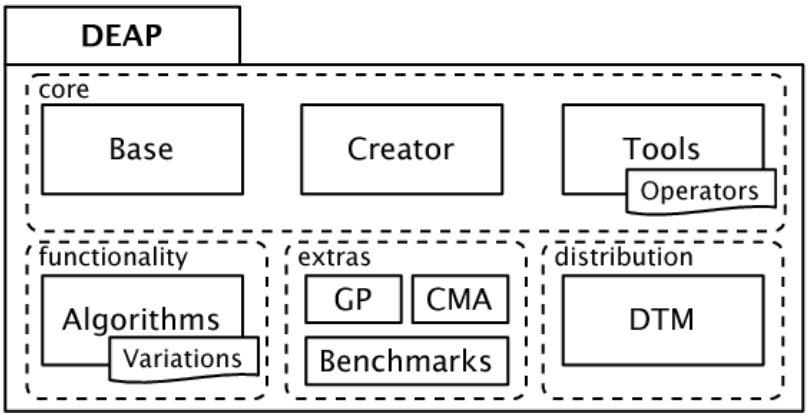


Рисунок 20 – Схема классов библиотеки[2]

Таблица 10 - Модули библиотеки для реализации ГА

Модуль	Описание
deap.creator	Содержит класс `deap.creator.create, необходим для создания новых классов` с именем name, наследующий классы из пакета base. Новый класс может иметь аразные трибуты.
deap.base	Пакет содержит базовые классы. 1) deap.base.Toolbox - набор инструментов для эволюционных методов (на основе классов пакета tools), 2) `deap.base.Fitness - п`ригодность / приспособленность (показатель качества решения) особи. 3) *class* `deap.base.Tree (для версии DEAP 0.8.2)` Базовый класс N-арного дерева. Дерево инициализируется из содержимого списка. Первый элемент списка является корнем дерева, затем следующие элементы являются узлами. Каждый узел может быть либо списком, либо отдельным элементом. В случае списка это рассматривается как поддерево, иначе лист.
deap.tools	Модуль инструментов содержит операторы для эволюционных алгоритмов. Набор операторов, которые он содержит, доступен на панели инструментов, также модуль содержит служебные инструменты для фиксации данных о функционировании алгоритмов.
deap.algorithms	Модуль алгоритмов содержит основные реалиации эволюционных методов, при этом используются операторы, зарегистрированные в соответсвующем объекте Toolbox. Обычно используются следующие ключевые слова: mate () для кроссовера, mutate () для мутации, select ()

[2] https://www.semanticscholar.org/paper/DEAP%3A-a-python-framework-for-evolutionary-Rainville-Fortin/7627ef0d9975dc50f81f6894f976336c31bb6a38

	для выбора.

Реализация генетического алгоритма

Определение приспособленности особей и вида особи (индивида)

Необходимо определить класс для приспособленности и особи (индивида), для этого нужно использовать пакет deap.creator и класс Creator:

`deap.creator.create`(*name*, *base*[, *attribute*[, ...]])

Первый параметр *name* задаёт имя класса. Базой (родителем) для пользовательского класса приспособленности является base.Fitness (можно определить другой класс, если он реализован программистом).

При использовании алгоритмов deap в качестве третьего атрибута необходимо задать параметр *weights*. Нужно определить тип задачи оптимизации (максимум / минимум и однокритериальная / многокритериальная). В зависимости от этого определяется параметр weights (Таблица 11). Веса могут также использоваться, чтобы варьировать важность критериев оптимизации друг относительно друга (чем больше вес, тем важнее критерий), т.е. для задание многоцелевой функции оптимизации. Это означает, что весами могут быть любые действительные числа, и только знак используется для определения того, выполняется ли максимизация или минимизация.

Таблица 11 – Примеры определения параметра weights

Тип задачи оптимизации	**Значения параметра weights**
Однокритериальная на минимум	weights=(-1.0,)
Однокритериальная на максимум	weights=(1.0,)
Многокритериальная оптимизация (2 критерия)	weights=(-1.0, 1.0)

Пример:

1) Однокритериальная оптимизация на максимум

```
from deap import creator
creator.create("F", base.Fitness, weights=(1.0,))
```

2) Однокритериальная минимизация с именем FitnessMin.

```
from deap import creator
creator.create("FitnessMin", base.Fitness, weights = (- 1.0,))
```

3) Этот код создаёт соответствие, которое минимизирует первую цель и максимизирует вторую.

```
from deap import creator
creator.create ("FitnessMulti", base.Fitness, weights = (- 1.0, 1.0))
```

Для определения вида особи используется этот же класс, созданный ранее класс приспособленности становится значением параметра *fitness*.

В качестве особи может использоваться массив, причём его элементы могут быть разного типа. Для определения типа массива можно использовать параметр *typecode* (Таблица 12).

Таблица 12 – Коды типов

Код типа	Тип в python	Минимальный размер в байтах
'b'	int	1
'B'	int	1
'h'	int	2
'H'	int	2
'i'	int	2
'I'	int	2
'l'	int	4
'L'	int	4
'q'	int	8
'Q'	int	8
'f'	float	4
'd'	float	8

Пример:

1) Особь - простой список, содержащий вещественные числа

```
creator.create("Individual_1", list, fitness=creator.F)
```

2) Особь – массив из пакета array

```
import array
creator.create("Individual_2", array.array, typecode='b',
fitness=creator.FitnessMin)
```

3) Особь – массив из пакета numpy

```
import numpy
creator.create("Individual_3", numpy.ndarray, fitness=creator.FitnessMulti)
```

Регистрация операторов генетического алгоритма

Для определения параметров и операторов ГА используется класс base.Toolbox(), создаётся объект этого класса с помощью метода base.Toolbox(). В нем регистрируются операторы ГА:

`register`(*alias*, *method*[, *argument*[, ...]]).

Методу даётся псевдоним и указываются аргументы. Основные операторы ГА это:

- Инициализация (генерация особи)
- Формирование популяции
- Отбор родителей
- Скрещивание или кроссовер
- Мутация
- Миграция (для островной модели)

Для каждого оператора существуют разные методы и в модуле представлены варианты их реализаций (Таблица 13), кроме того программист может определить свои методы и задать их в качестве параметра функции `register`.

Таблица 13 – Список методов для реализации операторов ГА

Инициали-зация	**Отбор**	**Скрещивание**	**Мутация**
initRepeat()	selTournament()	cxOnePoint()	mutGaussian()
initIterate()	selRoulette()	cxTwoPoint()	mutShuffleIndexes()
initCycle()	selNSGA2()	cxUniform()	mutFlipBit()
	selNSGA3()	cxPartialyMatched()	mutPolynomialBounded()
	selSPEA2()	cxUniformPartialyMatched()	mutUniformInt()
	selRandom()	cxOrdered()	mutESLogNormal()
	selBest()	cxBlend()	
	selWorst()	cxESBlend()	
	selTournamentDCD()	cxESTwoPoint()	
	selDoubleTournament()	cxSimulatedBinary()	
	selStochasticUniversalSampling()	cxSimulatedBinaryBounded()	
	selLexicase()	cxMessyOnePoint()	
	selEpsilonLexicase()		**Миграция**
	selAutomaticEpsilonLexicase()		migRing()

Инициализация

Если значения генов выбираются случайно и могут повторяться, то можно использовать *initRepeat()*, т.е. случайная перестановка допустимых значений генов.

Если необходимо создать особь, значение генов в которой не повторяются, то можно использовать *initIterate()*.

Если необходимо генерировать хромосомы с заданной структурой (например 2 числа, одно целое другое вещественное, или 2 символа: первый цифра, второй латинская буква,

третий – русская) и известно сколько хромосом должно быть в особи (сколько раз повторяться сочетания), то можно использовать функцию *initCycle()*.

Пример:

1) Инициализация значениями 0 или 1, причём длина особи = 10.

```
import random
from deap import tools
toolbox = base.Toolbox()
toolbox.register("attr_bool", random.randint, 0, 1)
toolbox.register("individual",     tools.initRepeat,     creator.Individual_1,
toolbox.attr_bool, 10)
```

2) Особи из 5 ген, которые принимают значения от 0 до 10.

```
import random
from deap import tools
…
toolbox.register("indices", random.sample, range(10), 5)
toolbox.register("individual",    tools.initIterate,    creator.Individual_1,
toolbox.indices)
```

3) Циклическая инициализация в особи 4 пары чисел, в паре первое число целое в промежутке от 5 до 10, второе вещественное, в интервала от 0.1 до 0.7

```
import random
from deap import tools
toolbox = base.Toolbox()
toolbox.register("attr_int", random.randint, 5, 10)
toolbox.register("attr_flt", random.uniform, 0.1, 0.7)
toolbox.register("individual",     tools.initCycle,     creator.Individual_1,
(toolbox.attr_int, toolbox.attr_flt), n=4)
```

Отбор

Существует много стратегий отбора, в модуле tools реализовано 14 (Таблица 13), рассмотрим 5 из них (Таблица 14), для которых нужен следующий набор параметров:

- *individuals – особи*;
- k – количество отбираемых особей;
- *fit_attr – атрибут, по которому осуществляется отбор;*
- tournsize - количество участников тура (для турнирного отбора).

Таблица 14 – Пример операторов отбора для ГА

Функция	**Параметры**	**Вид**	**Описание**
deap.tools.selTournament	(*individuals, k, tournsize, fit_attr='fitness'*)	Турнирный отбор	из популяции, содержащей m особей, выбирается случайным образом t особей и выбирается наиболее приспособленная (между выбранными особями проводится турнир), эта операция повторяется m раз
deap.tools.selRoulette	*(individuals, k, fit_attr='fitness')*	Отбор рулеткой	вид пропорционального отбора, когда особи отбираются с помощью n «запусков» рулетки (колесо рулетки содержит по одному сектору для каждого члена популяции, размер i-ого сектора пропорционален соответствующей величине $P_s(i)$)
deap.tools.selRandom	*(individuals, k)*	Выбор случайных k особей	Случайная отбор
deap.tools.selBest	(*individuals, k, fit_attr='fitness'*)	Выбор лучших k особей	Отбор усечением
deap.tools.selWorst	(*individuals, k, fit_attr='fitness'*)	Выбор худших k особей	Отбор усечением наоборот

Подробнее см. https://deap.readthedocs.io/en/master/api/tools.html.

Пример:

```
toolbox.register("select", tools.selTournament, tournsize=3)
```

Скрещивание

В модуле tools представлена реализация 12 видов операторов кроссовера (Таблица 13). Рассмотрим подробнее 4 из них (

Таблица 15), для них требуются переменные:

- *ind1 – первый родитель*
- *ind2 – второй родитель*
- *indpb – вероятность (для равномерного кроссовера)*

Таблица 15 – Пример операторов кроссовера

Функция	**Параметры**	**Тип кроссовера**	**Описание**	**Пример**
cxOnePoint()	(*ind1*, *ind2*)	Одноточечный	выбирается одна точка разрыва и родительские хромосомы обмениваются одной из получившихся частей	**Родитель 1:** 1001011|01001 **Родитель 2:** 0100011|00111 **Потомок 1:** 1001011|00111 **Потомок 2:** 0100011|01001
cxTwoPoint()	(*ind1*, *ind2*)	Двухточечный	выбираются две точки разрыва и родительские хромосомы обмениваются сегментом, который находится между двумя этими точками	**Родитель 1:** 100|101101|001 **Родитель 2:** 010|001100|111 **Потомок 1:** 100|001100|001 **Потомок 2:** 010|101101|111
`deap.tools.cxUniform`	(*ind1*, *ind2*, *indpb*)	Равномерный	каждый бит первого потомка случайным образом наследуется от одного из родителей, второму потомку достается бит другого родителя	**Родитель 1:** 100101101001 **Родитель 2:** 010001100111 Вероятность: 90 % Случайные числа (100): 2, 24, 8, 93, 55, 13, 67, 43, 99, 61, 5, 89 **Потомок 1:** 100001100001 **Потомок 2:** 010101101111
`deap.tools.cxOrdered`	(*ind1*, *ind2*)	Упорядоченный	1) Выбор двух точек разрыва. 2) Обмен центральными частями 2) Обход всех незадействованных генов в особи, начиная со второй точки разрыва (гены значения которых не в середине, остаются на месте, повторяющиеся (были в середине), заменяются следующим неповторяющимся значением из этой же особи).	**Родитель 1:** 123|4567|89 **Родитель 2:** 375|2814|96 **Потомок 1:** 567 281493 **Потомок 2:** 281456793 9 – остался на месте, остальные сдвинулись

Подробнее см. https://deap.readthedocs.io/en/master/api/tools.html.

Пример:

```
toolbox.register("mate", tools.cxTwoPoint)
```

Мутация

Существует много методов мутации, в модуле tools реализовано 6 (Таблица 13), рассмотрим 3 из них (Таблица 16), для которых нужен следующий набор параметров:

- *individual – особь,*
- *mu – среднее или последовательность средних для гауссовой аддитивной мутации,*
- *sigma – стандартное отклонение или последовательность стандартных отклонений для гауссовой аддитивной мутации,*
- *indpb – вероятность мутации,*
- *eta – степень скопления мутаций: высокая создаст мутанта, похожего на своего родителя, маленькая эта даст больше отличий,*
- *low – значение или последовательность значений, являющаяся нижней границей пространства поиска,*
- *up – значение или последовательность значений, являющаяся верхней границей пространства поиска.*

Таблица 16 – Пример операторов мутации

Функция	**Параметры**	**Описание**
`deap.tools.mutGaussian`	(*individual*, *mu*, *sigma*, *indpb*)¶	добавляет случайное число, заданное гауссовым распределением с нулевым средним для каждого компонента входного вектора (применяется для вещественного типа)
`deap.tools.mutFlipBit`	(*individual*, *indpb*)	Меняет на противоположное значение бит с определённой вероятностью (применяется к логическому типу)
`deap.tools.mutPolynomialBounded`	(*individual*, *eta*, *low*, *up*, *indpb*)	Полиномиальная мутация

Подробнее см. https://deap.readthedocs.io/en/master/api/tools.html.

Пример:

1) Гауссовская мутация

```
toolbox.register("attr", random.random)
toolbox.register("mutate", tools.mutGaussian, mu=0.0, sigma=0.2, indpb=0.2)
```

2) Инверсия бит

```
toolbox.register("attr", random.randint, 0, 1)
toolbox.register("mutate", tools.mutFlipBit, indpb=0.05)
```

3) Полиномиальная мутация

```
toolbox.register("attr", random.random)
toolbox.register("mutate", tools.mutPolynomialBounded, eta=10.0, low=0.1,
up=1, indpb=0.4)
```

Определение популяции

Популяция может быть представлена в виде массива особей, матрицы, роя (алгоритма роя), подпопуляций (для островной модели). Необходимо определить имя в наборе инструментов Toolbox, тип для популяции (список или массив с определённой размерностью), объект, который описывает особи (индивиды), и функцию генерации популяции (это может быть например tools.initRepeat как и для генерации особи).

Пример:

```
toolbox.register("population", tools.initRepeat, list, toolbox.individual)
```

Определение инструментов контроля функционирования генетического алгоритма

Для фиксации эволюционных изменений в популяциях можно использовать готовые глассы из модуля tools (Таблица 17).

Таблица 17 – Пример классов для хранения данных о функционировании ГА

Класс		Описание
`deap.tools.Statistics`	([*key*]) – необязательный параметр, идентификатор для доступа к сохраняемым значениям, значение, возвращаемое ключом, может быть многомерным объектом	собирает статистику по списку произвольных объектов, объект хранения регистрируется с помощью метода *register*
`deap.tools.Logbook`	нет	Объект - эволюционные записи в виде хронологического списка

		словарей. Данные могут быть получены с помощью метода select.
`deap.tools.HallOfFame`	(*maxsize*, *similar=<built-in function eq>*) *Maxsize* – максимальное количество особей в зале славы *similar* - Оператор эквивалентности между двумя особями (необязательный параметр)	Зал славы содержит лучшую особи популяции в процессе эволюции, особи лексикографически отсортированы, первый элемент Зала славы особь с максимальной приспособленностью.

Подробнее см. https://deap.readthedocs.io/en/master/api/tools.html.

Пример:

1) Статистика и зал славы

```
hof = tools.HallOfFame(1)
stats = tools.Statistics(lambda ind: ind.fitness.values)
stats.register("avg", numpy.mean)
stats.register("std", numpy.std)
stats.register("min", numpy.min)
stats.register("max", numpy.max)
```

2) Книга логов

```
log = Logbook()
log.record(gen=0, mean=5.4, max=10.0)
log.record(gen=1, mean=9.4, max=15.0)
log.select("mean")
log.select("gen", "max")
```

Запуск генетического алгоритма

Первый шаг генетического алгоритма - формирование начальной популяции. Он выполняется зарегистрированным в наборе инструментов методом (вызов) и его значение присваивается новой переменной.

Пример:

```
pop = toolbox.population(n=300)
```

Далее необходимо определить стратегию или модель функционирования генетического алгоритма. В модуле algorithms есть готовые реализации стратегий, которые можно использовать (Таблица 18), кроме этого можно запрограммировать работу генетического алгоритма по требуемой модели, используя операторы python (см. 2 пример). Для использования готовых стратегий необходимо учитывать следующие параметры:

- *population - популяция,*
- *toolbox – набор инструментов,*
- *cxpb – вероятность кроссовера,*
- *mutpb – вероятность мутации,*
- *ngen – количество поколений,*
- *stats – статистика по ГА (необязательный параметр),*
- *halloffame – «зал славы», лучшие особи в поколениях(необязательный параметр),*
- *verbose – включать ли лог в статистику(необязательный параметр),*
- *mu – количество особей, выбираемых для следующего поколения,*
- *lambda_- количество потомков, порождаемых в каждом поколении.*

Таблица 18 – Варианты моделей (стратегий) ГА

Функция	**Параметры**	**Описание**
deap.algorithms.eaSimple	(*population*, *toolbox*, *cxpb*, *mutpb*, *ngen*[, *stats*, *halloffame*, *verbose*])	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
deap.algorithms.eaMuPlusLambda	(population, toolbox, mu, lambda_, cxpb, mutpb, ngen[, stats, halloffame, verbose])	Только первый ребёнок добавляете в популяцию, второй отбрасывается. Потомок не подвергается мутации (мутируют родители). В (μ+λ)-стратегиях селекция производится из (μ+λ) особей - объединённой популяции родителей и потомков. Необходимо регистрировать функции: toolbox.mate(), toolbox.mutate(), toolbox.select() и toolbox.evaluate().
deap.algorithms.eaMuCommaLambda	(population, toolbox, mu, lambda_, cxpb, mutpb, ngen[, stats, halloffame, verbose])	Только первый ребёнок добавляете в популяцию, второй отбрасывается. Потомок не подвергается мутации (мутируют родители). В (μ, λ)-стратегиях в каждой итерации происходит генерация λ потомков, из которых

		выбирается μ особей. Необходимо регистрировать функции: toolbox.mate(), toolbox.mutate(), toolbox.select() и toolbox.evaluate().
deap.algorithms.eaGenerateUpdate	(*toolbox*, *ngen*[, *stats*, *halloffame*, *verbose*])	Алгоритм генерирует особи с помощью функции toolbox.generate() и изменяет / обновляет их с помощью toolbox.update(). Необходимо регистрировать функции: toolbox.generate(), toolbox.evaluate()

Пример:

1) Простая эволюционная стратегия, используются оба потомка.

```
pop, log = algorithms.eaSimple(pop, toolbox, cxpb=0.5, mutpb=0.2, ngen=40,
stats=stats, halloffame=hof, verbose=True)
```

2) Стратегия (μ+λ).

```
MU, LAMBDA = 100, 100
pop, log = algorithms.eaMuPlusLambda(pop,toolbox,mu=MU,lambda_=LAMBDA,
cxpb=0.7, mutpb=0.3, ngen=NGEN, stats=stats, verbose=True, halloffame=hof)
```

Просмотр результатов функционирования генетического алгоритма

Результаты логов, статистики, зала славы можновывести на печать или на график (см. примеры ниже).

Пример реализации генетического алгоритма

1) Реализация ГА на базе модели eaSimple.

```
import random
import numpy
from deap import algorithms, base, creator, tools
def evalOneMax(individual):
    return sum(individual),

creator.create("FitnessMax", base.Fitness, weights=(1.0,))
creator.create("Individual", list, fitness=creator.FitnessMax)
toolbox = base.Toolbox()
toolbox.register("attr_bool", random.randint, 0, 1)
toolbox.register("individual",      tools.initRepeat,      creator.Individual,
toolbox.attr_bool, 100)
toolbox.register("evaluate", evalOneMax)
toolbox.register("mate", tools.cxTwoPoint)
toolbox.register("mutate", tools.mutFlipBit, indpb=0.05)
toolbox.register("select", tools.selTournament, tournsize=3)
toolbox.register("population", tools.initRepeat, list, toolbox.individual)
hof = tools.HallOfFame(1)
stats = tools.Statistics(lambda ind: ind.fitness.values)
stats.register("avg", numpy.mean)
stats.register("std", numpy.std)
stats.register("min", numpy.min)
stats.register("max", numpy.max)
```

```
pop = toolbox.population(n=300)
pop, log = algorithms.eaSimple(pop, toolbox, cxpb=0.5, mutpb=0.2, ngen=40,
stats=stats, halloffame=hof, verbose=True)
print(pop, log, hof)
```

2) Реализация ГА без модели (с помощью цикла), использование статистики и зала славы, вывод на график показателей функционирования ГА.

```
# pip install deap
# https://deap.readthedocs.io/en/master/
# Библиотека построения графиков
import matplotlib.pyplot as plt
# библиотека работы со случайными величинами
import random
# библиотека для работы с массивами
import numpy
# библиотека генетического алгоритма
from deap import base, creator,tools
#создаем классы FitnessMax на основе класса base.Fitness и Individual на
основе списка
creator.create("FitnessMax", base.Fitness, weights=(1.0,))
creator.create("Individual", list, fitness=creator.FitnessMax)
#Инициализировать панель инструментов
toolbox = base.Toolbox()
toolbox.register("attr_bool", random.randint, 0, 1)
toolbox.register("individual",      tools.initRepeat,      creator.Individual,
toolbox.attr_bool, 10)
toolbox.register("population", tools.initRepeat, list, toolbox.individual)
# функция оценки
def evalOneMax(individual):
    return sum(individual),
#Зарегистрировать оператора оценки (фитнес-функцию)
toolbox.register("evaluate", evalOneMax)
# кроссовер
toolbox.register("mate", tools.cxTwoPoint)
# мутация
toolbox.register("mutate", tools.mutFlipBit, indpb=0.05)
# отбор
toolbox.register("select", tools.selTournament, tournsize=3)
n=20
l=numpy.zeros(n, dtype=float)
ll=numpy.zeros(n, dtype=float)
# создаем объект история
history=tools.History()
# Decorate the variation operators
toolbox.decorate("mate", history.decorator)
toolbox.decorate("mutate", history.decorator)
def main():
    #генерируем популяцию, в скобках количество особей в популяции
    pop = toolbox.population(n=30)
    history.update(pop)
    # расчитываем массив приспособленности
    fitnesses = list(map(toolbox.evaluate, pop))
    # присваиваем значение приспособленности соответсвующим особям
    for ind, fit in zip(pop, fitnesses):
        ind.fitness.values = fit
    fits = [ind.fitness.values[0] for ind in pop]
    #параметы скрещивания и мутации
    CXPB, MUTPB = 0.5, 0.2
    g = 0
    # Функционирование ГА
    while g < n-1:
        g = g + 1
        print("-- Поколение %i --" % g)
```

```
        # выбираем особи следующего поколения
        offspring = toolbox.select(pop, len(pop))
        # клонируем, чтобы образовывать пары
        offspring = list(map(toolbox.clone, offspring))
        # применяем кроссовер
        for child1, child2 in zip(offspring[::2], offspring[1::2]):
            if random.random() < CXPB:
                # скрещиваем 2 особи
                toolbox.mate(child1, child2)
                # удаляем скрещенные особи
                del child1.fitness.values
                del child2.fitness.values
        # применяем мутацию
        for mutant in offspring:
            if random.random() < MUTPB:
                toolbox.mutate(mutant)
                # удаляем невутированный вариан особи
                del mutant.fitness.values
        # Проверка валидности значения приспособленности
        invalid_ind = [ind for ind in offspring if not ind.fitness.valid]
        fits = map(toolbox.evaluate, invalid_ind)
        for ind, fit in zip(invalid_ind, fits):
            ind.fitness.values = fit
        # заменяем популяцию на новое поколение
        pop[:] = offspring
        history.update(pop)
        # расчет приспособленности новой популяции
        fits = [ind.fitness.values[0] for ind in pop]
        length = len(pop)
        mean = sum(fits) / length
        sum2 = sum(x*x for x in fits)
        std = abs(sum2 / length - mean**2)**0.5
        l[g] = mean
        ll[g] = g
        print("  Минимальная приспособленность %s" % min(fits))
        print("  Максимальная приспособленность %s" % max(fits))
        print("  Среднее знаяение %s" % mean)
        print("  Std %s" % std)
# просмотр лучшей особи
        best_ind = tools.selBest(pop, 1)[0]
        print("Лучшая особь %s, %s" % (best_ind, best_ind.fitness.values))

main()
plt.plot(ll,l,linewidth=2.0)
```

Варианты для выполнения лабораторной работы

	Целевая функция	Вид особи	Приспособленность	Отбор	Кроссовер	Мутация	Стратегия
1	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (array), значения: от 0 до 1 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 5 ген особи	Турнирный отбор	Одноточечный	Полиномиальная мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
2	Минимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением чётных генов	Отбор рулеткой	Упорядоченный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
3	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции	Выбор случайных k особей	Двухточечный	Гауссовская мутация	(μ, λ)
4	Минимум, однокритериальная	Тип: первый параметр булевый, длина особи: 7	Количество элементов =1 (истина)	Выбор лучших k особей	Равномерный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
5	Минимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (array), значения: от 0 до 1 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции	Выбор лучших k особей	Равномерный	Гауссовская мутация	(μ+λ)
6	Максимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением нечётных генов	Выбор случайных k	Упорядоченный	Меняет на противоположное значение ген	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и

				особей			потомки.
7	Минимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 2 ген особи	Отбор рулеткой	Двухточечный	Полиномиальная мутация	(μ, λ)
8	Максимум, однокритериальная	Тип: целочисленный в интервале от 0 до 5 могут повторяться, длина особи: 17	сумма значении генов	Турнирный отбор	Равномерный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
9	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (array), значения: от 0 до 1 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 5 ген особи	Турнирный отбор	Двухточечный	Полиномиальная мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
10	Минимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением чётных генов	Выбор лучших k особей	Упорядоченный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
11	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции	Выбор случайных k особей	Равномерный	Гауссовская мутация	(μ, λ)
12	Минимум, однокритериальная	Тип: булевый длина особи: 10	Количество элементов =1 (истина) минус 5 ген	Выбор случайных k особей	Одноточечный	Полиномиальная мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
13	Минимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (array), значения: от 0 до 1 могут	Среднее значение генов особей популяции	Турнирный отбор	Одноточечный	Гауссовская мутация	(μ+λ)

		повторятся, длина особи: 10					
14	Максимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением нечётных генов	Турнирный отбор	Упорядоченный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
15	Минимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 2 ген особи	Турнирный отбор	Равномерный	Гауссовская мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
16	Максимум, однокритериальная	Тип: целочисленный в интервале от 0 до 5 длина особи: 7	1) Количество элементов =1 (истина)	Турнирный отбор	Одноточечный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
17	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (array), значения: от 0 до 1 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 5 ген особи	Выбор случайных k особей	Двухточечный	Гауссовская мутация	(μ, λ)
18	Минимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением чётных генов	Выбор лучших k особей	Упорядоченный	Меняет на противоположное значение ген	(μ+λ)
19	Максимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции	Турнирный отбор	Одноточечный	Гауссовская мутация	(μ, λ)
20	Минимум, однокритериальная	Тип: вещественный в интервале от 0 до, значения не повторяются, длина особи: 14	среднее значение ген	Отбор рулеткой	Двухточечный	Полиномиальная мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.
21	Минимум,	Тип: массив вещественных чисел	Среднее значение генов	Отбор	Одноточечн	Гауссовская	(μ+λ)

	однокритериальная	(array), значения: от 0 до 1 могут повторятся, длина особи: 10	особей популяции	рулеткой	ый	мутация	
22	Максимум, однокритериальная	Тип: список целых чисел, значения: от 0 до 10 не могут повторятся, длина особи: 5	Сумма значений генов особи за исключением нечётных генов	Выбор лучших k особей	Равномерный	Меняет на противоположное значение ген	(μ, λ)
23	Минимум, однокритериальная	Тип: массив вещественных чисел (numpy), значения: от 0 до 13 могут повторятся, длина особи: 10	Среднее значение генов особей популяции делённая на 2 ген особи	Выбор случайных k особей	Одноточечный	Гауссовская мутация	Оба потомка заменяют родителей. Мутировать могут и родители и потомки.

Тема 5.Нечеткие вычисления.

Задание лабораторной работы

Цель работы: получение практических навыков программирования нечётких систем на языке Python с использованием библиотеки Skfuzzy .

Задание: используя программу Jupiter Notebook, язык программирования Python, библиотеку Skfuzzy, NumPy и Matplotlib построить нечёткую базу знаний по варианту (совпадает с вариантом домашней работы, реализовать нечёткую базу знаний из домашней работы).

Работа заключается в построении:

- лингвистических переменных;
- нечётких продукций;
- поверхностей нечёткого вывода;
- использование нечёткой системы для получения конкретных результатов (не менее 3 прогонов с разными входными данными).

Общее количество лингвистических переменных должно быть не меньше 4, правил не менее 3, нечёткая база знаний должна быть полной.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию и номер группы учащегося, задание, вариант
2. Описание предметной области и выбранных правил, в том числе каков результат работы системы, что является входными данными, в чем они измеряются и т.д..
3. Графики функций принадлежностей лингвистических переменных.
4. Поверхности нечёткого вывода.
5. Результаты нечёткого вывода (3 прогона).
6. Код.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Схема построения нечёткого контроллера

Библиотека Skfuzzy содержит набор инструментов Fuzzy Logic для языка Python. Большая часть функциональности находится в подпакетах (см. Таблица 19), но, как numpy, часть основных вынесено функций в базовое пространство имён (см. подробно https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/api/api.html).

Таблица 19 – Модули библиотеки Skfuzzy

Пакет (модуль)	**Описание**
control	Содержит инструменты для проектирования нечётких систем.
defuzzify	Содержит различные алгоритмы дефаззификации
cluster	Содержит нечёткий алгоритм кластеризации c-means
filters	Содержит инструменты для фильтрации данных
fuzzymath	Пакет нечёткой математики, содержащий основные математические операции для нечётких множеств и чётких переменных
image	Содержит основные операции для нечёткой логики на двумерных данных и изображениях.
intervals	Содержит операции для интервалов (сложение, вычитание, деление, умножение и масштабирование).
membership	Содержит генераторы нечёткой функции принадлежности

Для построения нечёткой системы (нечёткого контроллера) используют пакет Control и его классы (см. Рисунок 21).

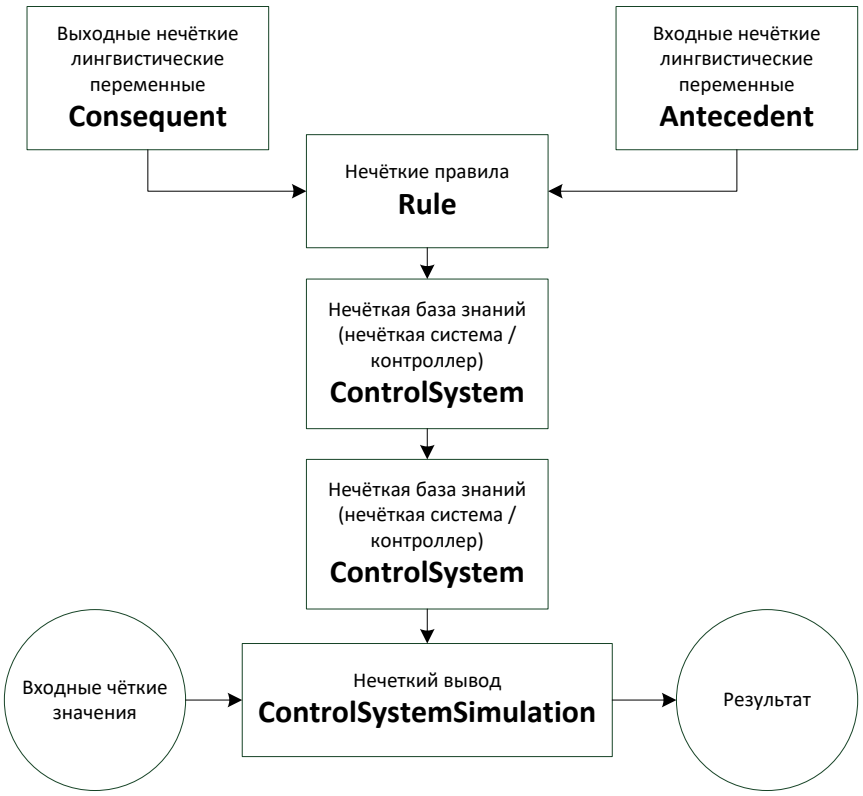


Рисунок 21 – Схема применения классов пакета Control

Определение лингвистических переменных

Определение лингвистической переменной

При описании лингвистической переменной необходимо определить входная она для задачи или выходная.

Входная лингвистическая переменная является антецедентом (предшествующим условием), а выходная – консеквентом (следствием).

Для входной лингвистической переменной используется метод `skfuzzy.control.Antecedent`(*universe*, *label*), для выходной - `skfuzzy.control.Consequent`(*universe*, *label*), где *label – название переменной, universe – универсум (четкое множество, на котором задаётся нечёткая переменная), одномерный конвертируемый в NumPy массив.*

Сам массив можно определит разными способами (см. например https://pyprog.pro/introduction.html).

Задание термов лингвистических переменные (нечётких переменных)

Использование пакета membership. Наиболее популярный способ определения функции нечёткой переменной - использование треугольной или трапециевидной функций, но существуют и другие варианты (Таблица 20).

Таблица 20 – Примеры методы генерации функций принадлежности (см. подробнее https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/api/skfuzzy.membership.html)

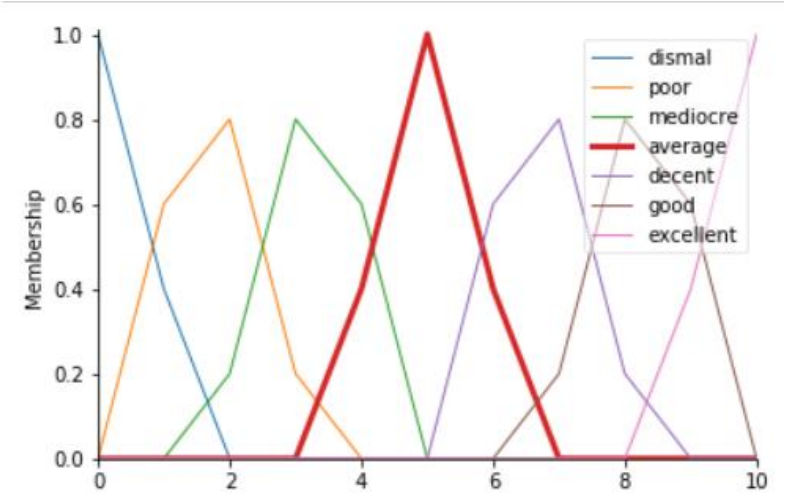
Метод	Описание	Формула
skfuzzy.membership.dsigmf(x, b1, c1, b2, c2)	Разница двух нечётких сигмоидальных функций принадлежности.	y = f1 - f2 f1(x) = 1 / (1. + exp[- c1 * (x - b1)]) f2(x) = 1 / (1. + exp[- c2 * (x - b2)])
skfuzzy.membership.gbellmf(x, a, b, c)	Генератор нечеткого членства обобщенной функции Белла.	y(x) = 1 / (1 + abs([x - c] / a) ** [2 * b])
skfuzzy.membership.piecemf(x, abc)	Кусочно-линейная функция принадлежности	y = 0, min(x) <= x <= a y = b(x - a)/c(b - a), a <= x <= b y = x/c, b <= x <= c
skfuzzy.membership.sigmf(x, b, c)	The basic sigmoid membership function generator.	y = 1 / (1. + exp[- c * (x - b)])
skfuzzy.membership.trapmf(x,	Трапециевидный генератор	См. Рисунок 22, б.

abcd)	функций принадлежности.	
skfuzzy.membership.trimf(x, abc)	Треугольная функция принадлежности	См. Рисунок 22, с.

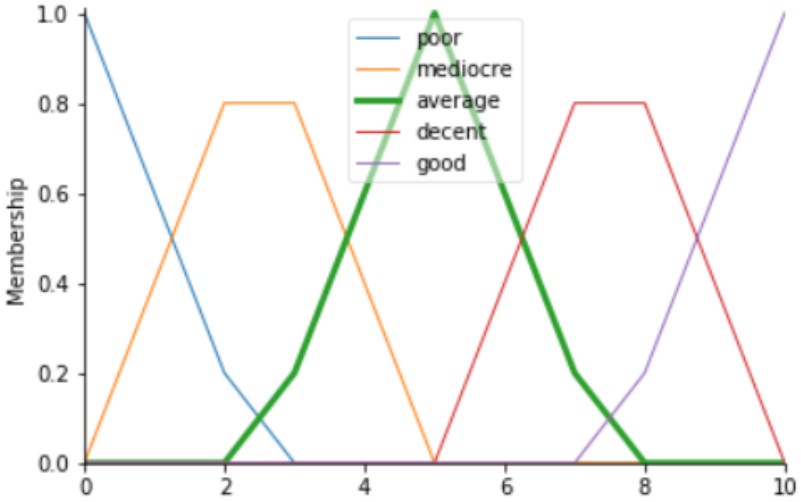
Используются методы генерации, например так:

```
Имя_переменной['имя терма'] = skfuzzy.trimf(tip.universe, [0, 13, 25])
```

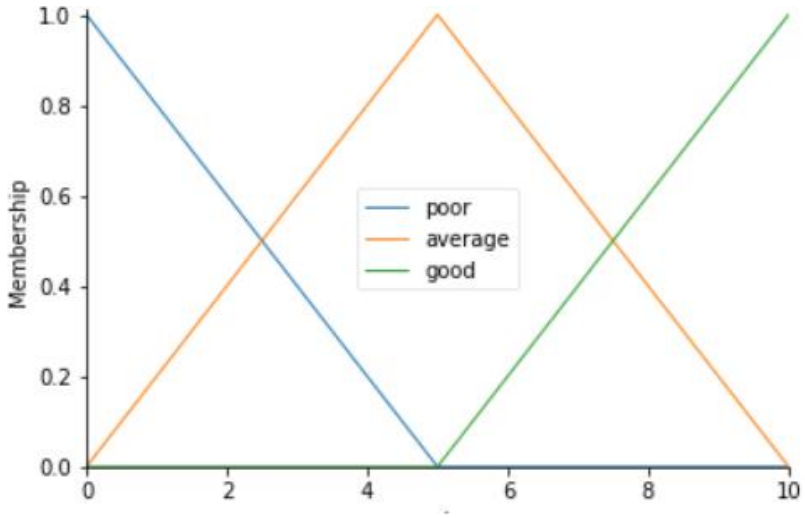
Автоматическое разбиение интервала. При построении функций принадлежности можно использовать автоматическую разбивку интервала на симметричные значения по 3, 5 или 7 термов (Рисунок 22). Имена при этом могут быть заданы автоматически: dismal, poor, mediocre, average, decent, good, excellent при разбиении на 7, - или пользователем. Для задания имён необходимо их определить в виде массива и подать как параметр automf, причем количество элементов массива должно быть также 3, 5, или 7 (например .automf(names= ['nb', 'ns', 'ze', 'ps', 'pb'])) .



а) 7 термов в лингвистической переменной



б) 5 термов в лингвистической переменной



c) 3 терма в лингвистической переменной

Рисунок 22 – Графики функций принадлежности при автоматической разбивке с помощью функции automf

Визуализация лингвистических переменных

Чтобы вывести график функций лингвистической переменной (Рисунок 22,) необходимо вызвать метод view(), для объектов классов `Antecedent` или `Consequent` (Имя_объекта.view()). Причём, если необходимо выделить конкретный терм, то необходимо указать имя терма (Имя_объекта['имя терма'].view()).

Определение нечёткой базы знаний (нечёткого контроллера)

Определение правила

Для задания правил используется Rule:

`skfuzzy.control.Rule`(*antecedent=None, consequent=None, label=None*)

Правило состоит из 2 частей: условия (*antecedent*) и следствия (*consequent*), - и имеет имя (*label*).

В условии и следствии могут использоваться логические операторы (см. Таблица 21)

Таблица 21 – Логические операторы в правилах

Логический оператор	**Обозначение**	**Пример**
Или	|	`.Rule(in_p1['poor']|in_p2['poor'], out_p['low'])`
И	&	`.Rule(antecedent=((in_p1['nb'] & in_p2['nb']) | (in_p1['ns'] & in_p2['nb']) | (in_p1['nb'] & in_p2['ns'])), consequent=out_p['nb'], label='rule nb')`
Не	~	`.Rule(~ in_p['poor'], out_p['high'])`

Правило можно визуализировать в виде графа с помощью метода .view().

Определение нечёткой базы / нечёткого контроллера

Нечёткая база состоит из нечётких правил. Для ее определения используют класс `skfuzzy.control.ControlSystem`(*rules=None*). Если все правила уже известны, то они передаются массивом, но правило в базы можно добавить и позже, используя метод `.addrule`(*rule*).

Использование нечёткой системы

Нечёткий вывод

После создания нечёткой базы (контроллера) его можно использовать для получения результата на конкретных значениях. Для этого необходимо подать на вход контроллера (модели) конкретные значения входных переменных (чёткие числа).

Для этого используется класс `skfuzzy.control.ControlSystemSimulation` и его метод `inputs(`*`input_dict`*`)`. Чтобы задать значение одной входной переменной требуется выполнить присвоение:

```
Имя_объекта.input['метка входной переменной'] = значение
```

Метод compute() класса skfuzzy.control.ControlSystemSimulation реализует нечеткий вывод.

Визуализация нечёткого вывода

Для визуализации результата можно использовать метод визуализации выходной нечеткой переменной с указанием в переменной sim объекта ControlSystemSimulation метод (пример view(sim=tipping)).

Для визуализации полной поверхности нечеткого вывда можно построить трехмерный график в случае зависимости одной выходной переменной от двух входных. Для этого можно использовать библиотеку Matplotlib.org (см. подробнее https://matplotlib.org). Ниже в примере приведён код, реализующий такую визуализацию.

Пример реализации нечёткой системы

Создаём нечёткую системы с 2 входными и одной выходной переменной, 3 правилам.

```
# pip install -U scikit-fuzzy
# подключаем библиотеку для работы с массивами
import numpy as np
# подключаем библиотеку для работы с нечёткими множествами
import skfuzzy as fuzz
from skfuzzy import control as ctrl

#библиотека для построения графика
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Создаем нечеткие переменные, которые будут частью условия (антецеденты)
# Antecedent (вход / датчик) переменная для нечёткой системы управления.
```

```
# skfuzzy.control.Antecedent(массив/список одномерный конвертируемый в NumPy, метка / название)
# Для задания массива функцию arange(стартовое значение, конечное значение, шаг),
# этот массив определяет универсум лингвистической переменной (массив четких значений)

# Задаются 2 входные и 1 выходная лингвистическая переменная
quality = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'quality')
service = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'service')
tip = ctrl.Consequent(np.arange(0, 26, 1), 'tip')

# Разбиваем автоматически массив, для построения функции принадлежности, можно выбрать вариант 3, 5 или 7 термов
quality.automf(3)
service.automf(3)

# Задаем выходную переменную через треугольную функцию
tip['low'] = fuzz.trimf(tip.universe, [0, 0, 13])
tip['medium'] = fuzz.trimf(tip.universe, [0, 13, 25])
tip['high'] = fuzz.trimf(tip.universe, [13, 25, 25])

# визуализируем переменные
quality['average'].view()
service.view()
tip.view()

# ЕСЛИ обслуживание было хорошим или качество еды было хорошим, ТОГДА чаевые будут высокими.
# ЕСЛИ обслуживание было средним, ТО чаевые будут средними.
# ЕСЛИ обслуживание было плохим, а качество еды было плохим, ТОГДА чаевые будут низкими.
rule1 = ctrl.Rule(quality['poor'] | service['poor'], tip['low'])
rule2 = ctrl.Rule(service['average'], tip['medium'])
rule3 = ctrl.Rule(service['good'] | quality['good'], tip['high'])

rule1.view()
rule2.view()
rule3.view()
# Создаем базу из 3 правил
tipping_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3])
# Визуализируем
tipping_ctrl.view()

# Создаем модель расчёта
tipping = ctrl.ControlSystemSimulation(tipping_ctrl)
# Подаем на вход четкие числа
tipping.input['quality'] = 6.5
tipping.input['service'] = 9.8

# запускаем расчет
tipping.compute()

# Печатаем результат
print (tipping.output['tip'])
# выводим результат в виде графика
tip.view(sim=tipping)

# Строим трехмерную плоскость зависимости выходной переменной от 2 входных
# определяем значения по осям в виде массива
upsampled = np.arange(0, 26, 1)
# meshgrid создаем прямоугольную сетку из массива значений x и массив значений y.
x, y = np.meshgrid(upsampled, upsampled)
```

```
# zeros_like() возвращает новый массив из нулей с формой и типом данных указанного массива
z = np.zeros_like(x)

# вычисляем значения z в каждой точке
for i in range(26):
    for j in range(26):
        tipping.input['quality'] = x[i, j]
        tipping.input['service'] = y[i, j]
        tipping.compute()
        z[i, j] = tipping.output['tip']

# Строим по полученным значениям график
# определяем размер рисунка под график
fig = plt.figure(figsize=(25, 25))
# определяем трехмерность графика
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

# создаем 3d поверхность
surf = ax.plot_surface(x, y, z, rstride=1, cstride=1, cmap='viridis', linewidth=0.4, antialiased=True)

# создаем контуры (проекции)
cset = ax.contourf(x, y, z, zdir='z', offset=-2.5, cmap='viridis', alpha=0.5)
cset = ax.contourf(x, y, z, zdir='x', offset=30, cmap='viridis', alpha=0.5)
cset = ax.contourf(x, y, z, zdir='y', offset=30, cmap='viridis', alpha=0.5)

# устанавливаем угол наклона графика и показываем
ax.view_init(50, 200)
```

Варианты для выполнения лабораторной работы

1. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи закупок (соотношения цены, качества, объема закупок и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
2. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи распределения нагрузок спортсмена (соотношение нагрузок, физического состояния, потребляемых калорий и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
3. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи управления транспортным средством (регулировка скорости с учетом передачи, погодных условий, интенсивности потока и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
4. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи управления транспортным средством (управление рулем,

газом, тормозом при въезде в гараж), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).

5. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи регулирования теплоснабжения (соотношение среднесуточной температуры, ветра, размера здания и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
6. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи регулирования реверсного движения на волжском мосту (учитывать время, интенсивность потока, день недели и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
7. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи подбора специй для блюда (соотношение количества и остроты специй, рецептуры, предпочтений едока, объема пищи и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
8. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи подбора объема блюд (учитывать калорийность, вкусовые предпочтения, количество едоков и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
9. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи подачи электроэнергии в условиях экономии (учет времени суток, типа помещений, количества людей, типа оборудования и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
10. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи подбора интенсивности занятий (учитывать начальный уровень подготовки, объем учебного материала, количество человек в группе, необходимый уровень усвоения и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
11. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи расчета потребления бензина (учитывать тип совершаемых маневров, уровень подготовки водителя, состояние автомобиля, тип

автомобиля и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).

12. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи регулирования системы орошения (учитывать время года, количество выпадающих озадков, вид орошаемой культуры и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
13. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи настройки аудиосистемы (мощность колонок, их количество, размер помещения, назначение установки и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
14. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи выбора дозы снотворного (количество препарата, действие препарата, восприимчивость к выбранному препарату, цель и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
15. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи планирования объема производства продукции (с учетом возможной прибыли, необходимых ресурсов, платежеспособности населения, рынка сбыта и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
16. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи регулирования кондиционера (учитывать его мощность, объем помещения, температуру окружающей среды, необходимую температуру в помещении и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
17. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи распределения нагрузки между компьютерами при использовании их в кластерах (учитывать характеристики компьютеров, их количество, количество параллельного кода, характеристики сети и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
18. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи выбора складского помещения (учитывать площадь

склада, количество и размеры продукции, удаленность от места производства и точек реализации, свойства продукции и характеристики помещений и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).

19. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи выбора комплектующих для компьютера (учитывать цену, потребности пользователя, совместимость, сроки использования и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).
20. Построить нечеткую базу знаний (использовать не менее 3 лингвистических переменных) для задачи определения количества линий в службе поддержки (учитывать количество обслуживаемых клиентов, среднюю частоту обращения в службу одного клиента, среднее время обслуживания одной заявки, квалификацию персонала и т.д.), проверить ее на полноту и произвести нечеткий вывод для конкретных значений (выбрать случайным образом).

Тема 6.Нейронные сети.

Задание лабораторной работы

Цель работы: получение практических навыков программирования нейронных сетей на языке Python с использованием библиотеки PyTorch.

Задание: используя программу Jupiter Notebook, язык программирования Python, библиотеку PyTorch построить нейронную сеть по варианту и использовать для получения результата.

Работа заключается в:

- Загрузке / генерации данных для обучения НС;
- Построения НС;
- Обучения НС;
- Проверки Нс на тестовых данных;
- Визуализация результата.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию и номер группы учащегося, задание, вариант
2. Схему НС (ее слоёв)
3. Описание входных данные

4. Описание алгоритма обучения с учетом варианта (функции потерь, оптимизатора и т.д.)
5. Графики динамики обучения НС.
6. Результат тестирования НС.
7. Код.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Пакет torth.nn

Пакет torch.nn используется для создания нейронных сетей. Он содержит контейнеры для НС, в котором определяются слои, функции потерь, активации, различные методы оптимизации для реализации обучения и т.д.

Пакет nn определяет набор модулей, которые примерно эквивалентны слоям нейронной сети. Модуль принимает входные Tensors и вычисляет выходные Tensors, но может также содержать внутреннее состояние, такое как Tensors, содержащее обучаемые параметры.

Алгоритм работы с НС

1 Подготовка данных для обучения /анализа (обучающая выборка), их преобразование.
2 Выбирается тип НС в зависимости от поставленной задачи (прямого распространения, рекуррентная, сверочная и т.д.), выбирается архитектура сети (количество слоёв, нейронов в слоях, типы слоёв, функции активации), строится модель.
3 Определение функции потерь.
4 Определение оптимизатора.
5 Цикл обучения НС (на примере сети прямого распространения)
   - ввод данных и вычисление результата (прямой проход)
   - вычисление потери (насколько далёк результат от правильности).
   - градиентный спуск и коррекция весов (обратный проход).
6 Запуск / тестирование НС (на тестовой выборке).

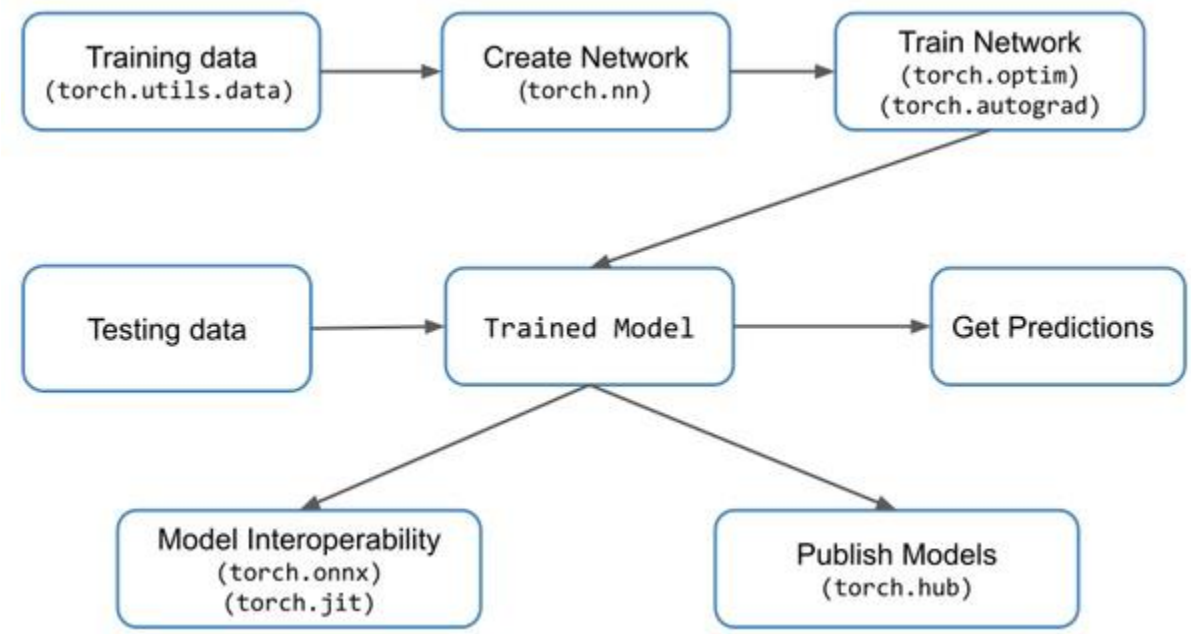


Рисунок 23 – Схема применения модулей PyTorch для обучения НС[3]

Загрузка подготовленного набора данных

PyTorch включает в себя пакет torchvision, который используется для загрузки и подготовки набора данных (https://pytorch.org/docs/master/torchvision/index.html). Он включает в себя две основные функции, а именно Dataset и DataLoader, которые помогают в преобразовании и загрузке набора данных.

Dataset построен поверх тензорного типа данных и используется в основном для пользовательских наборов данных. Набор данных используется для чтения и преобразования точки данных из данного набора данных.

Dataset - абстрактный класс, представляющий набор данных. Пользовательский набор данных должен наследовать Dataset и переопределять следующие методы:

- __len__, чтобы len(dataset) возвращал размер набора данных.
- __getitem__ для поддержки индексации, так что dataset[i] может использоваться для получения i-го экземпляра

Основной синтаксис для реализации упомянут ниже:

```
trainset = torchvision.datasets.CIFAR10(root = './data', train = True,
 download = True, transform = transform)
```

Пример:

1)Загрузка набора данных MNIST

```
import torchvision
```

[3] https://ai-news.ru/2019/07/pytorch_dlya_nachinaushih_osnovy.html

```
train_dataset = torchvision.datasets.MNIST(root='g:\\DataForNN2', train=True, transform=False, download=True)
```

3) Загрузка набора CIFAR10

```
trainset = torchvision.datasets.CIFAR10(root = DATA_PATH, train = True, download = True, transform = False)
```

4) Загрузка набора STL10

```
torchvision.datasets.STL10(DATA_PATH, split='train', folds=None, transform=None, target_transform=None, download=True)
```

Далее необходимо создать объекты train_dataset и test_dataset, которые будут последовательно проходить через загрузчик данных. Чтобы создать такие датасеты из данных MNIST, требуется задать несколько аргументов. Первый — путь до папки, где хранится файл с данными для тренировки и тестирования. Логический аргумент train показывает, какой файл из train.pt или test.pt стоит брать в качестве тренировочного сета. Следующий аргумент — transform, в котором мы указываем ранее созданный объект trans, который осуществляет преобразования. Наконец, аргумент загрузки просит функцию датасета MNIST загрузить при необходимости данные из онлайн источника.[4]

Таблица 22 – Примеры наборов данных для обучения (полный список см. https://pytorch.org/docs/stable/torchvision/datasets.html)

MNIST	Рукописные цифры 1–9. Подмножество набора данных NIST рукописных символов. Содержит обучающий набор из 60000 тестовых изображений и тестовый набор из 10000.
Fashion-MNIST	Набор данных для MNIST. Содержит изображения предметов моды; например, футболка, брюки, пуловер.
EMNIST	На основе рукописных символов NIST, включая буквы и цифры и разделение для задач классификации классов 47, 26 и 10.
COCO	Более 100 000 изображений, классифицированных в повседневные предметы; например, человек, рюкзак и велосипед. Каждое изображение может иметь более одного класса.
LSUN	Используется для крупномасштабной классификации сцен изображений; например, спальня, мост, церковь.
Imagenet-12	Крупномасштабный набор данных визуального распознавания,

[4] https://neurohive.io/ru/tutorial/cnn-na-pytorch/

	содержащий 1,2 миллиона изображений и 1000 категорий. Реализовано с классом ImageFolder, где каждый класс находится в папке.
CIFAR	60 000 цветных изображений с низким разрешением (32 32) в 10 взаимоисключающих классах; например, самолет, грузовик и автомобиль.
STL10	Аналогично CIFAR, но с более высоким разрешением и большим количеством немаркированных изображений.
SVHN	600 000 изображений номеров улиц, полученных из Google Street View. Используется для распознавания цифр в реальных условиях.
PhotoTour	Изучение локальных дескрипторов изображений. Состоит из полутоновых изображений, состоящих из 126 фрагментов, сопровождаемых текстовым файлом дескриптора. Используется для распознавания образов.

Преобразование данных

Функция transform.Compose() находится в пакете torchvision и позволяет выполнять трансформацию набора данных, причём трансформаций может быть несколько и они представляются списком.

Пример:

```
1) Загрузка MNIST с преобразованием
import torchvision
import torchvision.transforms as transforms
# путь куда грузим
DATA_PATH = 'g:\\DataForNN'
# выполняемое преобразование над набором данных
trans = transforms.Compose([transforms.ToTensor(),
transforms.Normalize((0.1307,), (0.3081,))])
# грузим набор данных тренировочный
train_dataset = torchvision.datasets.MNIST(root=DATA_PATH, train=True,
transform=trans, download=True)
# грузим набор данных тестовый
test_dataset = torchvision.datasets.MNIST(root=DATA_PATH, train=False,
transform=trans)
```

В примере устанавливается преобразование, которое конвертирует входной датасет в PyTorch тензор. PyTorch тензор — особый тип данных, используемый в библиотеке для всех различных операций с данными и весами внутри нейросети. Следующий аргумент в списке Compose() — нормализация. Нейронная сеть обучается лучше, когда входные

данные нормализованы так, что их значения находятся в диапазоне от -1 до 1 или от 0 до 1. Чтобы это сделать с помощью нормализации PyTorch, необходимо указать среднее и стандартное отклонение MNIST датасета, которые в этом случае равны 0.1307 и 0.3081 соответственно. У MNIST есть только один канал, но уже для датасета CIFAR с 3 каналами (по одному на каждый цвет из RGB спектра) надо указывать среднее и стандартное отклонение для каждого.

Загрузка данных для тренировки нейронной сети

DataLoader используется, когда есть большой набор данных, и необходимо загрузить данные из Dataset в фоновом режиме, чтобы он был готов и ждал цикла обучения.

DataLoader используется для перемешивания и пакетной обработки данных. Он может использоваться для загрузки данных параллельно с многопроцессорными рабочими. Объект загрузчик данных в PyTorch обеспечивает несколько полезных функций при использовании тренировочных данных:

- Возможность легко перемешивать данные.
- Возможность группировать данные в партии.
- Более эффективное использование данных с помощью параллельной загрузки, используя многопроцессорную обработку.

Синтаксис:

```
trainloader = torch.utils.data.DataLoader(trainset, batch_size = 4,
 shuffle = True)
```

Первый — данные, которые вы хотите загрузить; второй — желаемый размер партии; третий — перемешивать ли случайным образом датасет.

Построение нейронной сети

На базе *nn.Module.* Необходимо наследовать класс *nn.Module* и реализовать методы инициализации *init* и прямого прохода/вычисления *forward.* Синтаксис следующий:

```
# подключаем модуль torch.nn
import torch.nn as nn
# импортируем функции активации
import torch.nn.functional as F
# Model это имя
class Model(nn.Module):
 def __init__(self):
 super(Model, self).__init__()
 …
```

```
 def forward(self, x):
 …
```

Внутри функции *__init__* объявляют слои будущей нейронной сети, они могут быть разными по тиру, в зависимости от того, какую нейронную сеть строим, количество и размерность слоёв определяется здесь же. Размерность следующих друг за другом слоев должна быть согласована, сколько выходов в предшествующем, столько входов в последующем.

Пример:

1)Два линейных слоя (нейронная сеть прямого распространения, в которой слои полносвязные), которые имеют вид **W'x+b**, где W — матрица весов размером *(input, output)* и b — вектор смещения размером *output*. Первый слой размерностью (784, 100), второй (100, 10), т.е. выходной вектор НС размерностью 10:

```
class Model(nn.Module):
def __init__(self):
 super(Net, self).__init__()
 self.fc1 = nn.Linear(784, 100)
 self.fc2 = nn.Linear(100, 10)
```

2)Два слоя двумерной свёртки, первый слой имеет 1 входной канал, 20 выходных и размер ядра 5, второй, 20 входных :

```
class Model(nn.Module):
def __init__(self):
 super(Model, self).__init__()
 self.conv1 = nn.Conv2d(1, 20, 5)
 self.conv2 = nn.Conv2d(20, 20, 5)
```

3) Свёрточная сеть с 2 сверточными слоями и 3 линейными (полносвязными):

```
class Model(nn.Module):
def __init__(self):
 super(Net, self).__init__()
 self.conv1 = nn.Conv2d(1, 6, 3)
 self.conv2 = nn.Conv2d(6, 16, 3)
 self.fc1 = nn.Linear(16 * 6 * 6, 120)
 self.fc2 = nn.Linear(120, 84)
 self.fc3 = nn.Linear(84, 10)
```

4) Свёрточная сеть Conv2d -> MaxPool2d -> Conv2d -> MaxPool2d -> Linear -> Linear.

```
class MNISTConvNet(nn.Module):
 def __init__(self):
```

```
 super(MNISTConvNet, self).__init__()
 self.conv1 = nn.Conv2d(1, 10, 5)
 self.pool1 = nn.MaxPool2d(2, 2)
 self.conv2 = nn.Conv2d(10, 20, 5)
 self.pool2 = nn.MaxPool2d(2, 2)
 self.fc1 = nn.Linear(320, 50)
 self.fc2 = nn.Linear(50, 10)
```

5) Рекуррентная нейронная сеть.

```
class RNNModel(nn.Module):
 def __init__(self, input_dim, hidden_dim, layer_dim, output_dim):
 super(RNNModel, self).__init__()
 self.hidden_dim = hidden_dim
 self.layer_dim = layer_dim
 self.rnn = nn.RNN(input_dim, hidden_dim, layer_dim, batch_first=True,
 nonlinearity='relu')
 self.fc = nn.Linear(hidden_dim, output_dim)
```

Метод *forward* используется непосредственно для преобразования входных данных с помощью заданной нейронной сети в ее выходы.

Вычисляемая функция может быть любой сложности, но должна учитывать заданные слои в функции init.

Пример:

1) Определение для линейных слоёв из примеры выше. Функция view() переиндексирует тензор с данными заданным образом, "-1" в качестве первого аргумента функции означает, что количество элементов в первой размерности будет вычислено автоматически. Если исходный тензор x имеет размерность (N, 28, 28), то после x = x.view(-1, 28*28) его размерность станет равна (N, 784).

```
def forward(self, x):
 x = x.view(-1, 28*28)
 x = F.relu(self.fc1(x))
 x = self.fc2(x)
 x = F.softmax(x, dim=1)
 return x
```

2)Для 2 примеры выше, обращаемся по определённым ранее именам слоёв, используется функция relu:

```
 def forward(self, x):
 x = F.relu(self.conv1(x))
```

```
 return F.relu(self.conv2(x))

3) Пример для сверточной сети
 def forward(self, x):
 x = F.max_pool2d(F.relu(self.conv1(x)), (2, 2))
 x = F.max_pool2d(F.relu(self.conv2(x)), 2)
 x = x.view(-1, self.num_flat_features(x))
 x = F.relu(self.fc1(x))
 x = F.relu(self.fc2(x))
 x = self.fc3(x)
 return x
4) Пример для свёрточной сети Conv2d -> MaxPool2d -> Conv2d -> MaxPool2d ->
Linear -> Linear
 def forward(self, input):
 x = self.pool1(F.relu(self.conv1(input)))
 x = self.pool2(F.relu(self.conv2(x)))
 x = x.view(x.size(0), -1)
 x = F.relu(self.fc1(x))
 x = F.relu(self.fc2(x))
 return x
4) Пример для рекуррентной сети.
 def forward(self, x):
 h0 = Variable(torch.zeros(self.layer_dim, x.size(0), self.hidden_dim))
 out, hn = self.rnn(x, h0)
 out = self.fc(out[:, -1, :])
 return out
```

Для построения модели надо создать объект описанного класса:

```
Net=Model()
```

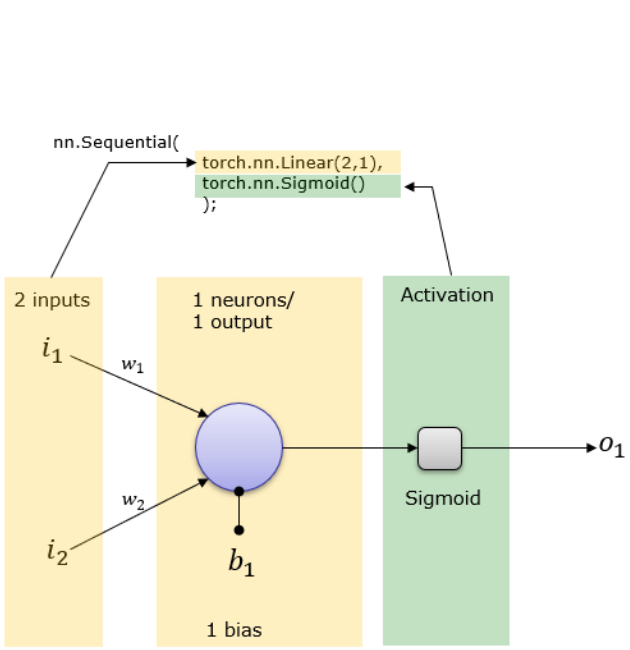
На базе *nn.Sequential*. Контейнер для линейных / последовательных слоёв *Linear*, которые имеют вид **W'x+b**, где W — матрица весов размером *(input, output)* и b — вектор смещения размером *output*.

Используя этот контейнер можно в одном операторе определить и вид НС и как будут вычисляться выходные значения.

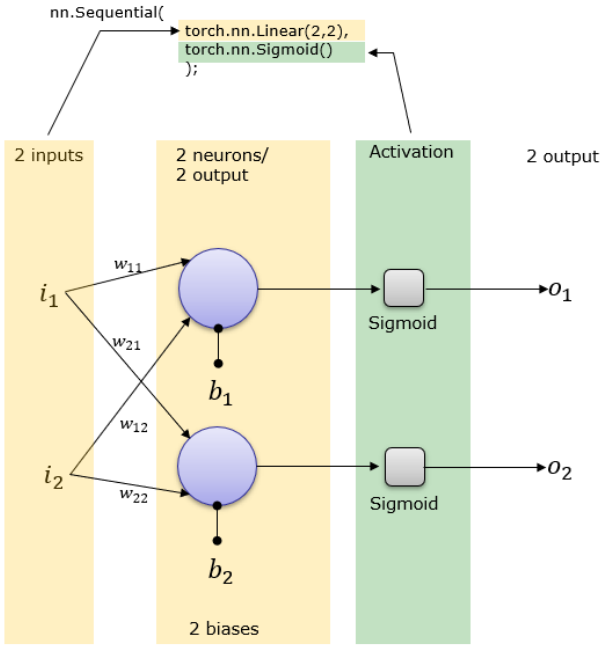
Пример:

```
НС с 10 входами, с функцией ReLU(), 5 нейронов в скрытом слое, выходной
нейрон 1 с функцией сигмойда.
model = nn.Sequential(nn.Linear(10, 5),
 nn.ReLU(),
```

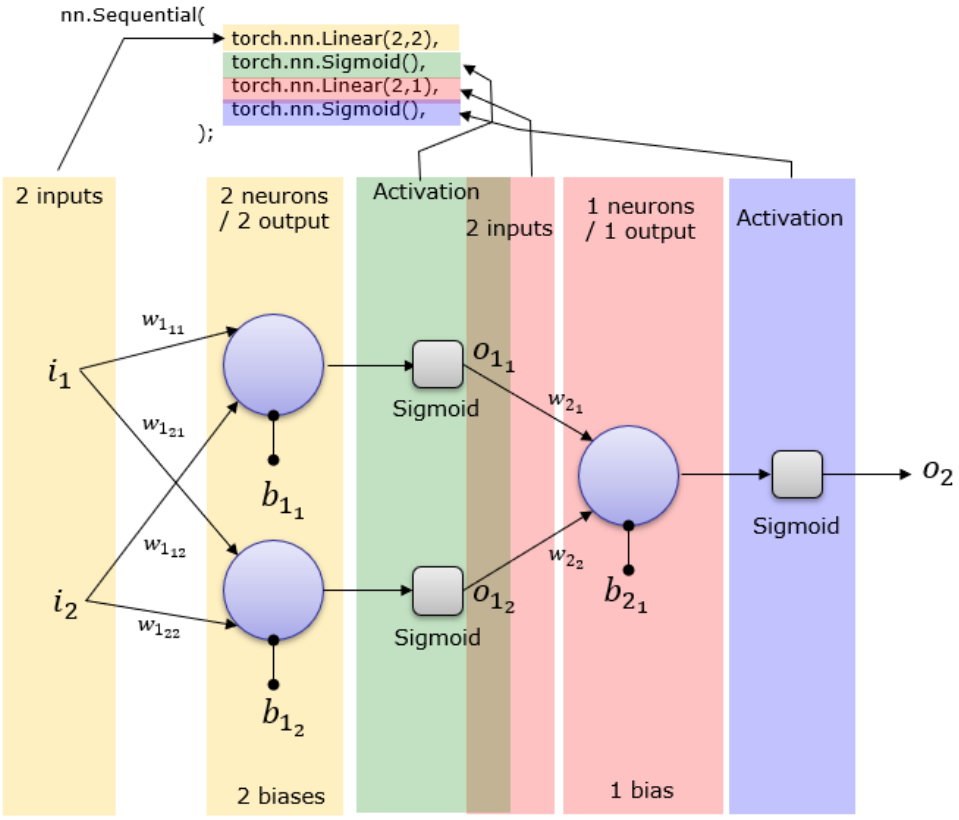
```
nn.Linear(5, 1),
nn.Sigmoid())
```



а) из 2 входов и 1 выхода



б) 2 входа 2 выхода



в) 2 слоя в первом 2 нейрона во втором 1, функция активации - сигмойда

Рисунок 24 - Примеры простейшего линейного слоя5

[5] http://www.sharetechnote.com/html/Python_PyTorch_nn_Sequential_01.html

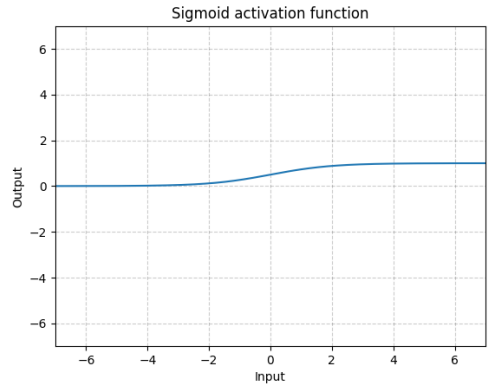
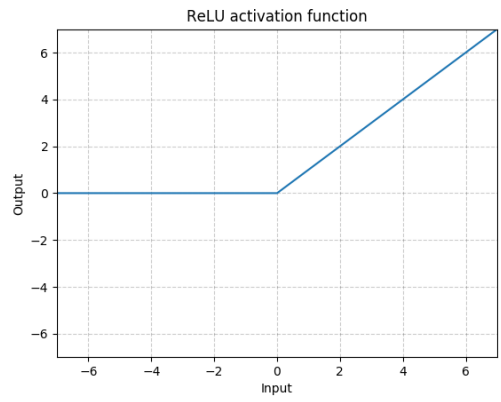
Существуют ещё другие возможности по построению НС. В зависимость от вида НС слои и функции активации могут быть разными., см. подробнее **https://pytorch.org/docs/stable/nn.html**.

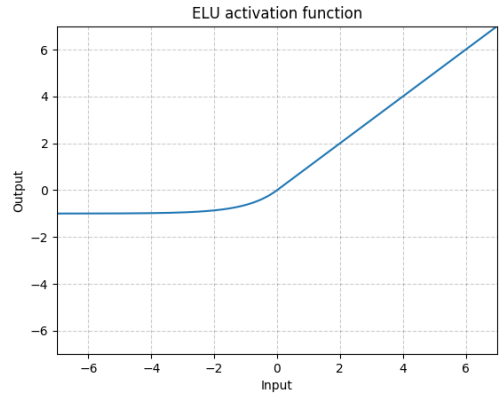
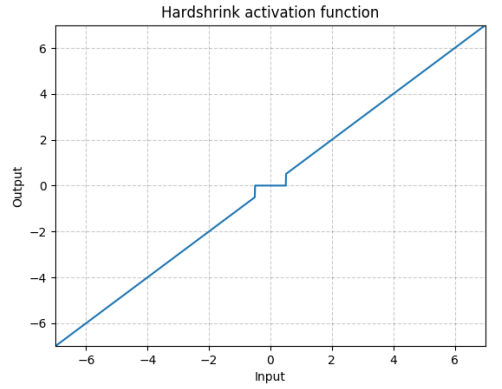
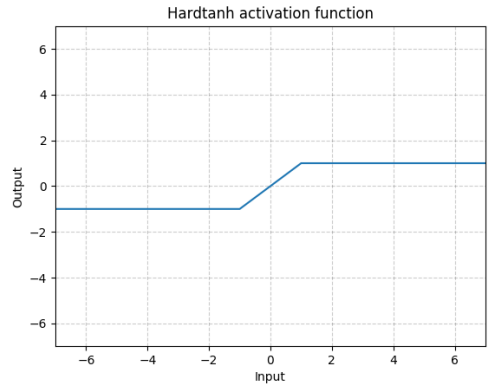
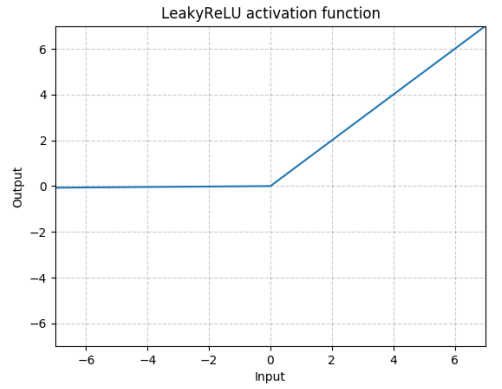
Таблица 23 – Примеры типов слоёв НС

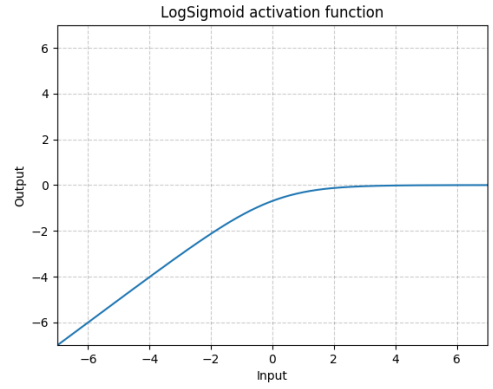
Типы слоев	**Назначение**	**Описание**
Активация (activation)	Общие для НС	Содержит функцию активации, которую применяют ко входам слоя.
Нормализация (Normalization)		Слой обеспечивает применение градиентного спуска не к одной точке выборки, а к небольшой коллекции данных.
Прореживание (dropout), регуляризация		Слой обеспечивает добавление информации к условию с целью предотвращения переобучения.
Рекуррентные (Recurrent)	Для рекуррентных НС	Основной блок рекуррентных НС
Свёртка (Convolution)	Для свёрточных НС	основной блок свёрточной нейронной сети, включает в себя для каждого канала свой фильтр, ядро свёртки которого обрабатывает предыдущий слой по фрагментам (суммируя результаты поэлементного произведения для каждого фрагмента).
Пуллинг / группировка / субдискретизация (Pooling)		слои пулинга, как правило, чередуются со слоями свёртки и обобщает (упрощает) информацию, полученную от слоя свёртки, пулинг «сжимает» карты признаков, полученные на предыдущем сверточном слое.
Дополнение отступа (Padding)		пиксели, которые находятся на границе изображения участвуют в меньшем количестве сверток, чем внутренние. В связи с этим в сверточных слоях используется дополнение изображения (англ. padding). Выходы с предыдущего слоя дополняются пикселями так, чтобы после свертки сохранился размер

		изображения. Такие свертки называют одинаковыми (same convolution), а свертки без дополнения изображения называются правильными (valid convolution).
Линейный / Соединение «все-со-всеми» / полносвязный (Linear)	Для НС с прямым распространением и свёрточных	Все входы связаны со всеми нейронами слоя, используются в НС прямого распространения, как последний слой свёрточной сети.

Таблица 24 – Пример функций активации нейронов (подробнее см. https://pytorch.org/docs/stable/nn.html#non-linear-activations-weighted-sum-nonlinearity)

Функция активации	**Метод функции / формула**	**График функции**
`Sigmoid`	`torch.nn.Sigmoid()` $\text{Sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$	
`ReLU`	`torch.nn.ReLU`(*inplace=False*) $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$	

ELU	`torch.nn.ELU`(*alpha=1.0, inplace=False*) $\mathrm{ELU}(x) = \max(0,x) + \min(0, \alpha * (\exp(x) - 1))$	
Hardshrink	`torch.nn.Hardshrink`(*lambd=0.5*) $\mathrm{HardShrink}(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x > \lambda \\ x, & \text{if } x < -\lambda \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	
Hardtanh	`torch.nn.Hardtanh`(*min_val=-1.0, max_val=1.0, inplace=False, min_value=None, max_value=None*) $\mathrm{HardTanh}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 1 \\ -1 & \text{if } x < -1 \\ x & \text{otherwise} \end{cases}$	
LeakyReLU	`torch.nn.LeakyReLU`(*negative_slope=0.01, inplace=False*) $\mathrm{LeakyRELU}(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ \text{negative\_slope} \times x, & \text{otherwise} \end{cases}$	

LogSigmoid	torch.nn.LogSigmoid() $\text{LogSigmoid}(x) = \log\left(\frac{1}{1+\exp(-x)}\right)$	

Обучение нейронной сети

Если в качестве обучения используется градиентный спуск (алгоритм обратного распространения ошибки), то процесс обучения выполняется итерационно и включает прямой проход и обратный.

Прямой проход - вычисление выходов НС и текущей ошибки (функции потерь).

Для вычисления выходных значений НС необходимо, подать на входы НС данные из обучающей выборки и последовательно проходить все слои НС.

В библиотеке pytorch в класса Model за выполнение этого действия отвечает метод `forward`, именно в нем задаётся схема вычисления выходов НС.

Пример определения метода `forward` (см. выше определение НС):

```
def forward(self, input):
x = self.pool1(F.relu(self.conv1(input)))
x = self.pool2(F.relu(self.conv2(x)))
x = x.view(x.size(0), -1)
x = F.relu(self.fc1(x))
x = F.relu(self.fc2(x))
return x
```

В PyTorch необязательно вызывать метод в явном виде, при создании объекта НС с указанием входного тензора, метод вызывается. Для вычисления ошибки (функции потерь), необходимо знать текущие значения выходов НС и ожидаемые (те, на которых обучаем). Существует несколько вариантов расчёта потерь (Таблица 25).

Таблица 25 – Примеры функций потерь (подробнее см. https://pytorch.org/docs/stable/nn.html#loss-functions)

Название функции	**Синтаксис**	**Формула**
В зависимости от `reduction='none'|'mean'|'sum'`		

		$\ell(x, y) = L = \{l_1, \dots, l_N\}^\top$, $\ell(x, y) = \begin{cases} \text{mean}(L), \\ \text{sum}(L), \end{cases}$ Если для поля size_average установлено значение False, потери суммируются для каждой мини-партии. Игнорируется, когда уменьшить является ложным. По умолчанию: True
L1Loss	torch.nn.L1Loss(*size_average=None, reduce=None, reduction='mean'*)	$l_n = \left\|x_n - y_n\right\|,$
MSELoss(средняя квадратичная)	torch.nn.MSELoss(*size_average=None, reduce=None, reduction='mean'*)	$l_n = (x_n - y_n)^2$
KLDivLoss (информационного расхождения Кульбака-Лейблера)	torch.nn.KLDivLoss(*size_average=None, reduce=None, reduction='mean'*)	$l_n = y_n \cdot (\log y_n - x_n)$
BCELoss (бинарной кросс-энтропии)	torch.nn.BCELoss(*weight=None, size_average=None, reduce=None, reduction='mean'*)	$l_n = -w_n \left[y_n \cdot \log x_n + (1 - y_n) \cdot \log(1 - x_n)\right],$
BCEWithLogitsLoss	torch.nn.BCEWithLogitsLoss(*weight=None, size_average=None, reduce=None, reduction='mean', pos_weight=None*)	$l_n = -w_n \left[y_n \cdot \log \sigma(x_n) + (1 - y_n) \cdot \log(1 - \sigma(x_n))\right],$
HingeEmbeddingLoss	torch.nn.HingeEmbeddingLoss(*margin=1.0, size_average=None, reduce=None,*	$l_n = \begin{cases} x_n, & \text{if } y_n = 1, \\ \max\{0, \Delta - x_n\}, & \text{if } y_n = -1, \end{cases}$

	reduction='mean')	

Пример определения функции потерь:

```
loss_fn = torch.nn.MSELoss(reduction='sum')
```

После того как определено, что НС ещё не обучена (количество итераций меньше заданного числа или функция потерь велика), необходимо обучить НС. Процесс обучения заключается в изменении параметров НС (весов), т.е. выполняется подбор оптимальных значений весов с учётом функции потерь и обучаемой выборки (заданных ожидаемых значений). Для этого используется метод градиентного спуска и реализуется обратный проход.

Веса можно изменять в ручную, изменяя Tensors, содержащие обучаемые параметры (например с помощью torch.no_grad () или .data). Это удобно в случае простых алгоритмов оптимизации, таких как стохастический градиентный спуск, но на практике мы часто обучаем нейронные сети, используя более сложные методы AdaGrad, RMSProp, Adam и т. д. Пакет optim в PyTorch абстрагирует идею алгоритма оптимизации и предоставляет реализации часто используемых алгоритмов оптимизации (Таблица 26).

Таблица 26 – Пример оптимизаторов (подробнее см. https://pytorch.org/docs/stable/optim.html)

Название	**Метод**
SGD	стохастический градиентный спуск
Adam	адаптивная оценка моментов
RMSprop	алгоритм Джеффри Хинтона
LBFGS	алгоритм Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно с ограниченным использованием памяти

Для использования оптимизатора необходмимо на каждой итерации необходимо обнулять градиент, вызывать функцию backward и выполнять шаг оптимизатора.

Пример:

```
optimizer.zero_grad()
loss.backward()
optimizer.step()
```

Использование нейронной сети

После обучения НС ее требуется проверить на тестовой выборки. Если результат удовлетворителен, ее можно использовать для решения поставленной задачи, подавая на вход произвольные значения.

Примеры реализации нейронной сети

1) *Пример НС прямого распространения с функции активации ReLU, случайной выборкой, функцией потерь MSELoss, без использования оптимизатора, задана сеть с помощью nn.Sequential.*

Код:

```
# импорт библиотеки PyTorch
import torch
# задаем значения размерности
N, D_in, H, D_out = 64, 1000, 100, 10
# задаем случайным образом выборки
x = torch.randn(N, D_in)
y = torch.randn(N, D_out)
# строим модель НС
model = torch.nn.Sequential(
    torch.nn.Linear(D_in, H),
    torch.nn.ReLU(),
    torch.nn.Linear(H, D_out),
)
# выбрали функцию потерь
loss_fn = torch.nn.MSELoss(reduction='sum')
# скорость обучения
learning_rate = 1e-4
# цикл обучения с 500 эпохами
for t in range(500):
    y_pred = model(x)
    loss = loss_fn(y_pred, y)
    if t % 100 == 99:
        print(t, loss.item())
    model.zero_grad()
    loss.backward()
# расчет вручную параметрой НС
    with torch.no_grad():
        for param in model.parameters():
            param -= learning_rate * param.grad
```

2) *Пример НС прямого распространения со случайной выборкой с 2 слоями, первый с функции активации ReLU, выходной с сигмоидальной функцией, используется для обучения метод обратного распространения и стохастический градиентный*

спуск (SGD), в качестве функции потерь средняя квадратичная функция (MSELoss).

Код:

```
# импорт библиотеки PyTorch
import torch
import torch.nn as nn

# определить все слои и размер пакета
# n_in -входной, n_h - скрытый,  n_out - выходной, batch_size - пакет
обучающей выборки
n_in, n_h, n_out, batch_size = 10, 5, 1, 9

# заполняем  случайными числами
#Возвращает тензор, заполненный случайными числами из нормального
распределения со средним 0 и дисперсией 1
#(также называемый стандартным нормальным распределением).Форма тензора
определяется переменным размером аргумента.

# входные данные
x = torch.randn(batch_size, n_in)
print(x)

#Создает тензор с данными.
#выходные данные
y = torch.tensor([[1.0], [0.0], [0.0], [1.0], [1.0], [1.0], [0.0], [0.0],
[1.0]])
print(y)

#class torch.nn.Sequential(*args) - Последовательный контейнер (модель НС).
#Модули будут добавлены к нему в порядке их передачи в конструктор.
# Линейное преобразование входных данных y=x*(A)T+b
# определяем слой входов 10, слой с функцией ReLU() содержит 5 нейронов,
выходной нейрон 1 с функцией сигмойда
model = nn.Sequential(nn.Linear(n_in, n_h),
   nn.ReLU(),
   nn.Linear(n_h, n_out),
   nn.Sigmoid())

# выбрали функцию потерь MSELoss()
criterion = torch.nn.MSELoss()
# выбрали метод оптимизации и установили скорость обучения
optimizer = torch.optim.SGD(model.parameters(), lr = 0.01)
# модель градиентного спуска
```

```
# цикл обучения
for epoch in range(100):
   # Прямой проход: вычисляем выход НС, подав на вход модели начальные
значения X
   y_pred = model(x)

   print(y_pred)
   # расчитываем функцию потерь
   loss = criterion(y_pred, y)
   print('epoch: ', epoch,' loss: ', loss.item())

   # Нулевые градиенты, выполнить обратный проход и обновить веса.
   # В PyTorch нам нужно установить градиенты на ноль, прежде чем начинать
обратное распространение,
   # поскольку PyTorch накапливает градиенты при последующих обратных
проходах.
   optimizer.zero_grad()

   # обратный проход (вычисляются градиенты)
   loss.backward()

   # шаг спуска градиента
   optimizer.step()

# новый входной вектор
x1 = torch.randn(1, n_in)
print(x1)

# получение выхода обученной НС
y_pred2 = model(x1)
print(y_pred2)
```

3) *Пример НС (Linear –> ReLU –> Linear), определённой с помощью* nn.Module*, с использование оптимизатора Adam, с функцией потерь CrossEntropyLoss, обучающая выборка набор MNIST .*

Код:

```
import torch
import torch.nn as nn
import torchvision.datasets as dsets
import torchvision.transforms as transforms
from torch.autograd import Variable
# Размеры изображения = 28 x 28 = 784
```

```
input_size = 784
# Количество узлов на скрытом слое
hidden_size = 500
# Число классов на выходе. В этом случае от 0 до 9
num_classes = 10
# Количество тренировок всего набора данных
num_epochs = 5
# Размер входных данных для одной итерации
batch_size = 100
# Скорость обучения
learning_rate = 0.001
# Грузим набор данных MNIST
# обучающая выборка
train_dataset = dsets.MNIST(
    root='./data',
    train=True,
    transform=transforms.ToTensor(),
    download=True
)
# тестовая выборка
test_dataset = dsets.MNIST(
    root='./data',
    train=False,
    transform=transforms.ToTensor()
)
# создаем загрузчик для НС с перемешиванием для обучающей выборки и без
перемешивания для тестовой.
train_loader = torch.utils.data.DataLoader(
    dataset=train_dataset,
    batch_size=batch_size,
    shuffle=True
)
test_loader = torch.utils.data.DataLoader(
    dataset=test_dataset,
    batch_size=batch_size,
    shuffle=False
))
# Определяем вид НС
class Net(nn.Module):
    def __init__(self, input_size, hidden_size, num_classes):
        super(Net, self).__init__()                    # Наследуемый
родительским классом nn.Module
```

```
        self.fc1 = nn.Linear(input_size, hidden_size)  # 1й связанный слой:
784 (данные входа) -> 500 (скрытый узел)
        self.relu = nn.ReLU()                          # Нелинейный слой ReLU
max(0,x)
        self.fc2 = nn.Linear(hidden_size, num_classes) # 2й связанный слой:
500 (скрытый узел) -> 10 (класс вывода)

    def forward(self, x):                              # Прямой проход
        out = self.fc1(x)
        out = self.relu(out)
        out = self.fc2(out)
        return out
# создаем объект НС
net = Net(input_size, hidden_size, num_classes)
# Определяем функцию потерь
criterion = nn.CrossEntropyLoss()
# Определяем оптимизатор
optimizer = torch.optim.Adam(net.parameters(), lr=learning_rate)
#Цикл обучения
for epoch in range(num_epochs):
# Грузим пакет изображений (index, data, class)
    for i, (images, labels) in enumerate(train_loader):
        # Преобразуем тензор в Variable: вектор  784 в матрицу 28 х 28
        images = Variable(images.view(-1, 28*28))
        labels = Variable(labels)
        # Инициализируем скрытые слои, веса=0
        optimizer.zero_grad()
        # Прямой проход по НС; вычисляем выход
        outputs = net(images)
        # Вычисляем функцию потерь (ошибку)
        loss = criterion(outputs, labels)
        # Обратный проход: корректировка весов
        loss.backward()
        # Выполняем шаг оптимизации (обучения)
        optimizer.step()
        # Выводим данные по обучению
        if (i+1) % 100 == 0:
            print('Epoch [%d/%d], Step [%d/%d], Loss: %.4f'%(epoch+1,
num_epochs, i+1, len(train_dataset)//batch_size, loss))
correct = 0
total = 0
for images, labels in test_loader:
    images = Variable(images.view(-1, 28*28))
```

```
    outputs = net(images)
    _, predicted = torch.max(outputs.data, 1)  # Выбор лучшего класса из
выходных данных: класс с лучшим счетом
    total += labels.size(0)                    # Увеличиваем суммарный счёт
    correct += (predicted == labels).sum()     # Увеличиваем корректный счёт
print('Точность сети на 10К тестовых изображений: %d %%' % (100 * correct /
total))
torch.save(net.state_dict(), 'fnn_model.pkl')
```

4) *Пример Сверточной сети НС (Conv2d -> MaxPool2d -> Conv2d -> MaxPool2d -> Linear -> Linear), определённой с помощью nn.Module, с функцией потерь CrossEntropyLoss, случайной обучающей выборкой.*

Код:

```
import torch
from torch.autograd import Variable
import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F
class MNISTConvNet(nn.Module):
    def __init__(self):
        super(MNISTConvNet, self).__init__()
        self.conv1 = nn.Conv2d(1, 10, 5)
        self.pool1 = nn.MaxPool2d(2, 2)
        self.conv2 = nn.Conv2d(10, 20, 5)
        self.pool2 = nn.MaxPool2d(2, 2)
        self.fc1 = nn.Linear(320, 50)
        self.fc2 = nn.Linear(50, 10)
    def forward(self, input):
        x = self.pool1(F.relu(self.conv1(input)))
        x = self.pool2(F.relu(self.conv2(x)))
        x = x.view(x.size(0), -1)
        x = F.relu(self.fc1(x))
        x = F.relu(self.fc2(x))
        return x
net = MNISTConvNet()
print(net)
input = Variable(torch.randn(1, 1, 28, 28))
out = net(input)
print(out.size())
target = Variable(torch.LongTensor([3]))
loss_fn = nn.CrossEntropyLoss()
err = loss_fn(out, target)
err.backward()
print(err)
```

```
print(net.conv1.weight.data.norm())
print(net.conv1.weight.grad.data.norm())
```

5) *Пример рекуррентной сети с функцией relu обучаемой на входных данных набора MNIST, оптимизатором SGD и функцией потерь CrossEntropyLoss.*

```
#https://www.deeplearningwizard.com/deep_learning/practical_pytorch/pytorch_r
ecurrent_neuralnetwork/
# подключаем библиотеки
import torch
import torch.nn as nn
import torchvision.transforms as transforms
import torchvision.datasets as dsets

# создаем обучающую и тестовую выборки на базе  MNIST
train_dataset = dsets.MNIST(root='./data',
                            train=True,
                            transform=transforms.ToTensor(),
                            download=True)
test_dataset = dsets.MNIST(root='./data',
                           train=False,
                           transform=transforms.ToTensor())
# задаем параметры
batch_size = 100
n_iters = 3000
num_epochs = n_iters / (len(train_dataset) / batch_size)
num_epochs = int(num_epochs)
# подаем данные в загрузчик
train_loader = torch.utils.data.DataLoader(dataset=train_dataset,
                                           batch_size=batch_size,
                                           shuffle=True)
test_loader = torch.utils.data.DataLoader(dataset=test_dataset,
                                          batch_size=batch_size,
                                          shuffle=False)
# определяем рекуррентную нейронную сеть
class RNNModel(nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, hidden_dim, layer_dim, output_dim):
        super(RNNModel, self).__init__()
        # размерность скрытых слоев]
        self.hidden_dim = hidden_dim
        # Количество скрытых слоев
        self.layer_dim = layer_dim
```

```
        self.rnn = nn.RNN(input_dim, hidden_dim, layer_dim, batch_first=True,
nonlinearity='relu')
        # Слой считывания
        self.fc = nn.Linear(hidden_dim, output_dim)

    def forward(self, x):
        h0 = torch.zeros(self.layer_dim, x.size(0),
self.hidden_dim).requires_grad_()
        out, hn = self.rnn(x, h0.detach())
        # out.size() --> 100, 28, 10
        out = self.fc(out[:, -1, :])
        # out.size() --> 100, 10
        return out
# задаем параметры НС
input_dim = 28
hidden_dim = 100
layer_dim = 1
output_dim = 10
learning_rate = 0.01
criterion = nn.CrossEntropyLoss()
model = RNNModel(input_dim, hidden_dim, layer_dim, output_dim)
optimizer = torch.optim.SGD(model.parameters(), lr=learning_rate)
seq_dim = 28
iter = 0
for epoch in range(num_epochs):
    for i, (images, labels) in enumerate(train_loader):
        model.train()
        # Загрузка изображений в виде тензоров с возможностью накопления
градиента
        images = images.view(-1, seq_dim, input_dim).requires_grad_()
        # Обнуление градиента
        optimizer.zero_grad()
```

Варианты для выполнения лабораторной работы

Вариант	Функция потерь	Функция активации	НС	Оптимизатор	Входные данные
1	`L1Loss`	`Sigmoid`	Свёрочная НС (не менее 2 свёрточных слоёв и одного линейного)	RMSProp	**MNIST**
2	`MSELoss`	`ReLU`	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	`SGD`	CIFAR10

3	KLDivLoss	ELU	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	Adam	STL10
4	BCELoss	Hardshrink	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	Adagrad	Рандом
5	BCEWithLogitsLoss	Hardtanh	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	SGD	CIFAR10
6	HingeEmbeddingLoss	LeakyReLU	Свёрочная НС (не менее 2 свёрточных слоёв и одного линейного)	Adam	STL10
7	KLDivLoss	LogSigmoid	Свёрочная НС (не менее 2 свёрточных слоёв и одного линейного)	RMSProp	CIFAR10
8	BCELoss	ELU	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	SGD	STL10
9	BCEWithLogitsLoss	Hardshrink	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	Adam	**MNIST**
10	L1Loss	Hardtanh	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	RMSProp	CIFAR10
11	MSELoss	LeakyReLU	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	SGD	STL10
12	KLDivLoss	LogSigmoid	Свёрочная НС (не менее 2 свёрточных слоёв и одного линейного)	Adam	Рандом
13	BCELoss	Sigmoid	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	Adagrad	CIFAR10
14	KLDivLoss	LogSigmoid	Свёрочная НС (не менее 2 свёрточных слоёв и одного линейного)	RMSProp	CIFAR10
15	BCELoss	ELU	Рекуррентная нейронная сеть с 2 нелинейными слоями (readout)	SGD	STL10
16	BCEWithLogitsLoss	Hardshrink	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	Adam	CIFAR10
17		Hardtanh	НС прямого распространения (использовать не менее 2 разных нелинейных функций)	RMSProp	STL10

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Список рекомендуемой литературы

основная

1) Смагин, А. А. Интеллектуальные информационные системы : учеб. пособие для вузов / А. А. Смагин, С. В. Липатова, А. С. Мельниченко ; УлГУ, Фак. математики и информ. технологий, Каф. телекоммуникац. технологий и сетей. - Ульяновск : УлГУ, 2010.- URL: ftp://10.2.96.134/Text/smagin2.pdf
2) Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Л. А. Станкевич. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 397 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02126-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://www.biblio-online.ru/bcode/433370

дополнительная

3) Каку М., Будущее разума [Электронный ресурс] / Каку М. - М. : Альпина Паблишер, 2016. - 502 с. - ISBN 978-5-91671-369-5 - Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785916713695.html
4) Потопахин В.В., Романтика искусственного интеллекта / Потопахин В. В. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 170 с. - ISBN 978-5-97060-476-2 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970604762.html (дата обращения: 10.11.2020). - Режим доступа : по подписке.
5) Цуканова Н.И., Онтологическая модель представления и организации знаний : Учебное пособие для вузов / Цуканова Н.И. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 272 с. - ISBN 978-5-9912-0454-5 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991204545.html (дата обращения: 10.11.2020). - Режим доступа : по подписке.
6) Седова, Н. А. Теория нечетких множеств : учебное пособие / Н. А. Седова, В. А. Седов. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 421 с. — ISBN 978-5-4497-0196-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/86526.html

7) Павлова, А. И. Информационные технологии: основные положения теории искусственных нейронных сетей : учебное пособие / А. И. Павлова. — Новосибирск : Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИНХ», 2017. — 191 с. — ISBN 978-5-7014-0801-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/87110.html

учебно-методическая

8) Седов, В. А. Введение в нейронные сети : методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Нейроинформатика» для студентов специальности 09.03.02 «Информационные системы и технологии» / В. А. Седов, Н. А. Седова. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 30 с. — ISBN 978-5-4486-0047-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/69319.html

Программное обеспечение

1. Редактор онтологий Protégé (плагины SWRLTab, Pellet).
2. Anaconda (дистрибутив языков программирования Python и R), библиотеки (open source).