МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
(СГАУ)

Солдатова О. П.

Нейроинформатика

Задания для практических занятий

Самара

2013

СОДЕРЖАНИЕ

1 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 1 3
2 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 2 3
3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 3 4
4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 4 5
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 5 6
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 6 7
7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 7 8
8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 8 9
9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ 9 11
10 СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 12

1 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 1

1. Чем модель персептрона отличается от модели МакКаллока-Питса?

2. Чем модель персептрона отличается от модели сигмоидального нейрона?

3. Для каких целей используется модель нейрона типа WTA?

4. Для каких целей используются звезды Гроссберга?

5. Для каких целей используется нейрон Хебба?

6. Диапазон значений логистической функции $f(x)=\dfrac{1}{1+e^{-kx}}$ ограничен нулем и единицей. Покажите, что производная функции $f(x)$ описывается выражением $\dfrac{df(x)}{dx}=kf(x)(1-f(x))$.

7. Областью значений гиперболического тангенса $f(x)=\dfrac{e^{kx}-e^{-kx}}{e^{kx}+e^{-kx}}$ является интервал от -1 до +1. Покажите, что производная функции $f(x)$ описывается выражением $\dfrac{df(x)}{dx}=k(1-f^2(x))$. Предположим, что параметр наклона k – бесконечно большой. В функцию какого вида выродится $f(x)$?

8. Рассмотрим линейную с насыщением функцию $f(x)$, представленную на рис. 1.

а) Выпишите функциональную зависимость $f(x)$ в аналитическом виде.

б) Как изменится функция $f(x)$, если параметр a принять равным нулю?

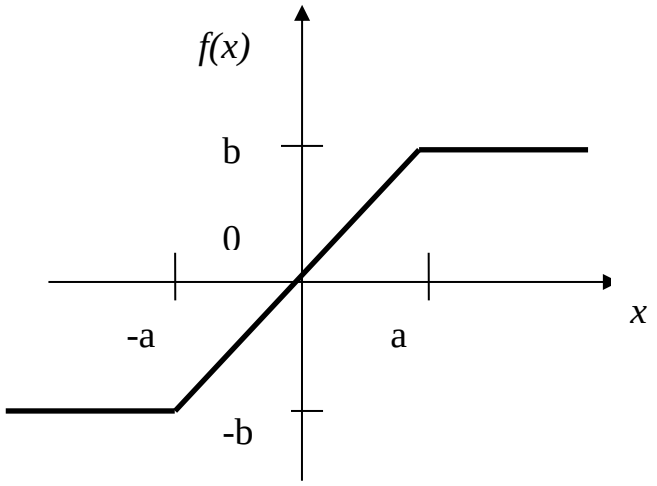

Рис. 1. График линейной с насыщением функции активации

2 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 2

1. Многослойный персептрон относится к типу полносвязных сетей прямого распространения сигналов. Обоснуйте данное утверждение.

2. Какие типы нейронов обычно используют в многослойном персептроне?

3. К какому типу относятся алгоритмы обучения многослойного персептрона: обучение «с учителем» или обучение «без учителя»?

4. Алгоритм обратного распространения ошибки применим к нейронным сетям, у которых функции активации нейронов должны быть непрерывно дифференцируемыми. Объясните причину этого.

5. Сравните скорости сходимости алгоритма наискорейшего спуска и алгоритма переменной метрики. Обоснуйте свой ответ.

6. Алгоритм имитации отжига относится к алгоритмам глобальной оптимизации. Обоснуйте свой ответ.

7. В соответствии с теоремой об универсальной аппроксимации, какое число скрытых слоев в многослойном персептроне достаточно для построения равномерной аппроксимации с точностью ε для любого обучающего множества, представленного набором входов $x_1, x_2, \ldots, x_N$ и ожидаемых выходов $d = f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$?

8. Исследуйте аппроксимирующие свойства многослойного персептрона с одним скрытым слоем, обученного методом обратного распространения ошибки, методом компьютерного моделирования следующих отображений:

а) $f(x) = \frac{1}{x}, 1 <= x <= 100$;

б) $f(x) = \lg_{10}(x), 1 <= x <= 10$;

в) $f(x) = \exp(-x), 1 <= x <= 10$;

г) $f(x) = \sin(x), 1 <= x <= \pi/2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Оцените сложность сети при помощи VC-измерения;

в) Исследуйте, как изменение числа нейронов в скрытом слое влияет на ошибку аппроксимации;

г) Исследуйте, как изменение функции активации влияет на ошибку аппроксимации (используйте логистическую функцию и гиперболический тангенс).

д) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку аппроксимации.

3 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 3

1. Сравните структуру и характеристики радиально-базисной сети и многослойного персептрона.

2. Сколько скрытых слоев в радиально-базисных сетях?

3. Можно использовать разные типы функций активации для различных скрытых нейронов?

4. Объясните, чем HRBF сети отличаются от RBF сетей. Обоснуйте свой ответ.

5. Какие типы алгоритмов обучения можно использовать в радиально-базисных сетях: алгоритмы обучения «с учителем»; алгоритмы обучения «без учителя».

6. Исследуйте аппроксимирующие свойства радиально-базисных сетей методом компьютерного моделирования для построения следующих отображений:

а) $f(x) = \frac{1}{x}, 1 <= x <= 100$;

б) $f(x) = \lg_{10}(x), 1 <= x <= 10$;

в) $f(x) = \exp(-x), 1 <= x <= 10$;

г) $f(x) = \sin(x), 1 <= x <= \pi / 2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Оцените сложность сети при помощи VC-измерения;

в) Исследуйте, как изменение числа нейронов в скрытом слое влияет на ошибку аппроксимации;

г) Исследуйте, как изменение функции активации влияет на ошибку аппроксимации (используйте функцию Гаусса и мультиквадратичную функцию $(x^2 + c_1^2)^{0.5}$);

д) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку аппроксимации.

4 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 4

1. Какими особенностями обладают самоорганизующие сети?

2. Какой тип алгоритмов обучения используется в сетях Кохонена: «с учителем» или «без учителя»?

3. Объясните суть проблемы мертвых нейронов.

4. Какие функции используются для определения топологической окрестности нейрона-победителя?

5. Сравните эффективность следующих алгоритмов обучения сетей Кохонена: алгоритма WTA, классического алгоритма Кохонена, алгоритма нейронного газа.

6. Для решения каких задач, могут быть использованы сети Кохонена?

7. Сравните характеристики сетей обратного распространения и сетей Кохонена. Какие преимущества дает сединение слоя Кохонена и слоя Гроссберга?

8. Исследуйте классифицирующие свойства сети Кохонена методом компьютерного моделирования для идентификации следующих типов законов распределения:

а) Равномерный закон распределения $F(x)=\begin{cases}0, & x<0\\ \dfrac{x}{b}, & 0\le x\le b\\ 1, & x>b\end{cases}$;

б) Экспоненциальный закон распределения $F(x)=\begin{cases}0, & x<0\\ 1-e^{\lambda x}, & x\ge 0\end{cases}$;

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как изменение алгоритма обучения влияет на ошибку классификации (используйте алгоритм WTA и алгоритм нейронного газа);

в) Исследуйте, как объем входного вектора влияет на ошибку классификации;

г) Исследуйте, как изменение коэффициента скорости обучения на ошибку классификации.

5 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 5

1. Что такое рекуррентные сети?
2. Объясните, в чем различия сетей Хопфилда и Хемминга?
3. Объясните, чем сеть Эльмана принципиально отличается от сетей Хопфилда и Хемминга?
4. Объясните, почему метод псевдоинверсии эффективнее правила Хебба?
5. Как рассчитать расстояние Хемминга между векторами?
6. Что такое ассоциативная и гетероассоциативная память?
7. Для решения, каких задач, могут быть использованы рекуррентные сети?
8. Исследуйте классифицирующие свойства сети Хемминга методом компьютерного моделирования для распознавания изображений десятичных цифр.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один набор эталонных изображений – для обучения, второй набор зашумленных изображений – для тестирования;

б) Исследуйте, как объем входного вектора влияет на ошибку классификации;

в) Исследуйте, как зашумление эталонных входных векторов влияет на ошибку классификации.

9. Методом компьютерного моделирования исследуйте возможности сети Эльмана для построения прогноза следующих отображений:

а) $f(x)=\dfrac{1}{x}, 1<=x<=100$;

б) $f(x)=\lg_{10}(x), 1<=x<=10$;

в) $f(x)=\exp(-x), 1<=x<=10$;

г) $f(x) = \sin(x), 1 <= x <= \pi/2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как изменение числа нейронов в скрытом слое влияет на ошибку прогнозирования;

в) Исследуйте, как изменение коэффициента обучения и коэффициента момента влияют на ошибку прогнозирования;

г) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку прогнозирования.

6 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 6

1. Что такое сети специального назначения?

2. Объясните, в чем различия сетей Вольтерри и сети каскадной корреляции Фальмана?

3. Для решения, каких задач, могут быть использованы сети специального назначения?

4. Методом компьютерного моделирования исследуйте возможности сети Вольтерри для построения прогноза следующих отображений:

а) $f(x) = \frac{1}{x}, 1 <= x <= 100$;

б) $f(x) = \lg_{10}(x), 1 <= x <= 10$;

в) $f(x) = \exp(-x), 1 <= x <= 10$;

г) $f(x) = \sin(x), 1 <= x <= \pi/2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как изменение порядка полинома Вольтерри влияет на ошибку прогнозирования;

в) Исследуйте, как изменение числа задержек влияет на ошибку прогнозирования;

г) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку прогнозирования.

5. Что такое гибридные сети?

6. Объясните, в чем различия гибридной сети Кохонена и сети встречного распространения?

7. Для решения, каких задач, могут быть использованы гибридные сети?

8. Исследуйте классифицирующие гибридной сети Кохонена методом компьютерного моделирования для идентификации следующих типов законов распределения:

а) Равномерный закон распределения $F(x)=\begin{cases}0, & x<0\\ \dfrac{x}{b}, & 0\le x\le b\\ 1, & x>b\end{cases}$;

б) Экспоненциальный закон распределения $F(x)=\begin{cases}0, & x<0\\ 1-e^{\lambda x}, & x\ge 0\end{cases}$;

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как изменение алгоритма обучения влияет на ошибку классификации (используйте алгоритм WTA и алгоритм нейронного газа);

в) Исследуйте, как объем входного вектора влияет на ошибку классификации;

г) Исследуйте, как изменение коэффициента скорости обучения на ошибку классификации.

7 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 7

1. Чем отличаются нечёткие множества от чётких?
2. Что такое лингвистическая переменная?
3. Чем отличаются операции над чёткими множествам от операций над нечёткими множествами?
4. Что такое функция принадлежности и как она может быть задана?

Пусть переменная *x* обозначает температуру. Можно определить нечёткие множества: «температура, подходящая для купания в Балтийском море», «температура, подходящая для купания в Чёрном море», характеризуемые функциями принадлежности $\mu_{балт}(x)$, $\mu_{Чёрное}(x)$. Определим оба нечётких множества A, B. Пусть $X=[15^\circ,\ldots,28^\circ]$. Множество, определяющее подходящую температуру Балтийского моря, можно задать следующим образом:

$$A=\frac{0{,}1}{15}+\frac{0{,}2}{16}+\frac{0{,}4}{17}+\frac{0{,}7}{18}+\frac{0{,}9}{19}+\frac{1}{20}+\frac{0{,}9}{21}+\frac{0{,}85}{22}+\frac{0{,}8}{23}+\frac{0{,}75}{24}+\frac{0{,}7}{25}+\frac{0{,}6}{26}+\frac{0{,}5}{27}+\frac{0{,}4}{28}$$

Множество, определяющее подходящую температуру Чёрного моря, можно задать следующим образом:

$$B=\frac{0}{15}+\frac{0{,}1}{16}+\frac{0{,}2}{17}+\frac{0{,}3}{18}+\frac{0{,}45}{19}+\frac{0{,}6}{20}+\frac{0{,}75}{21}+\frac{0{,}9}{22}+\frac{1}{23}+\frac{0{,}9}{24}+\frac{0{,}85}{25}+\frac{0{,}8}{26}+\frac{0{,}75}{27}+\frac{0{,}7}{28}$$

1.Определите результаты следующих логических операций для заданных множеств:

а) *Логической суммы множеств* $A\cup B$

$\mu_{A\cup B}(x)=\mu_A(x)\cup\mu_B(x)=Max[\mu_A(x),\mu_B(x)]$,

б) *Логического произведения множеств* $A\cap B$

$\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = Min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$,

в) *Отрицания (дополнения) множества* A

$\mu_{\overline{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$.

г) *Равенства множеств* A и B.

Нечёткие множества $A(x)$ и $B(x)$ равны между собой, когда для всех элементов x_i обоих множеств выполняется условие $\mu_A(x_i) = \mu_B(x_i)$.

д) *Операции концентрации множества* A $CON(A)$

$\mu_{CON}(x) = [\mu_A(x)]^2$

ж) *Операции растяжения множества* A $DIL(A)$

$\mu_{DIL}(x) = [\mu_A(x)]^{0,5}$.

Следует отметить, что множество A считается подмножеством множества B, то есть $A \subset B$, когда для всех элементов выполняется неравенство: $\mu_A(x_i) \le \mu_B(x_i)$.

з) *Декартова произведения нечётких множеств* $A \times B$

$\mu_{A\times B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = Min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$

или

$\mu_{A\times B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x)$

для каждого $x \in X$ *и* $y \in Y$.

2.Определите результаты следующих треугольных норм для заданных множеств:

1. $\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x)$,

2. *Алгебраическое произведение двух множеств* $A * B$

$\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x)$.

3.*Ограниченная сумма двух нечётких множеств* $A|+|B$

$\mu_{A\cup B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$,

4.*Ограниченное произведение двух нечётких множеств* $A| \cdot |B$

$\mu_{A\cap B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$,

5. $\mu_{A\cup B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x), если\ \mu_B(x) = 0 \\ \mu_B(x), если\ \mu_A(x) = 0 \\ 1, если\ \mu_A(x), \mu_B(x) > 0 \end{cases}$,

6. $\mu_{A\cap B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x), если\ \mu_B(x) = 1 \\ \mu_B(x), если\ \mu_A(x) = 1 \\ 0, если\ \mu_A(x), \mu_B(x) < 1 \end{cases}$

8 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 8

1. Что такое фуззификация и дефуззификация?
2. Какие функции фуззификации используются чаще всего?
3. Какие методы дефуззификации используются чаще всего?

4. Какие существуют системы нечёткого вывода, и чем они отличаются друг от друга?
5. Какова общая структура системы нечёткого вывода?

Дана база нечётких правил:

П1: если x_1 есть H_1 и x_2 есть H_2 и x_3 есть H_3, то y есть Б,

П2: если x_1 есть B_1и x_2 есть B_2 и x_3 есть H_3, то y есть С,

П3: если x_1 есть B_1 и x_2 есть B_2 и x_3 есть B_3, то y есть М,

где x_1, x_2, x_3 – входные переменные, y – выходная переменная, а H_1, H_2, H_3, B_1, B_2, B_3,Б, С, М– некоторые нечёткие множества с функциями принадлежности заданными следующим образом:

$$H1=\left\{\frac{0,1}{x_1},\frac{0,3}{x_2},\frac{0,5}{x_3}\right\}, H2=\left\{\frac{0,2}{x_1},\frac{0,4}{x_2},\frac{0,6}{x_3}\right\}, H3=\left\{\frac{0,3}{x_1},\frac{0,5}{x_2},\frac{0,7}{x_3}\right\}$$

$$B1=\left\{\frac{1,0}{x_1},\frac{0,8}{x_2},\frac{0,6}{x_3}\right\}, B2=\left\{\frac{0,9}{x_1},\frac{0,7}{x_2},\frac{0,5}{x_3}\right\}, B3=\left\{\frac{0,8}{x_1},\frac{0,6}{x_2},\frac{0,4}{x_3}\right\}$$

$$Б=\left\{\frac{0,9}{y}\right\}, C=\left\{\frac{0,6}{y}\right\}, M=\left\{\frac{0,3}{y}\right\}$$

Определите и сравните результаты интерпретаций операции импликации по следующим правилам:

1. Правило типа минимум (правило Мамдани):

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\min[\mu_A(x),\mu_B(y)]$$

2. Правило типа произведение (правило Ларсена):

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\mu_A(x)*\mu_B(y)$$

3. Правило Лукашевича (Лукасевича):

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\min[1,1-\mu_A(x)+\mu_B(y)]\,или$$

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\max[0,\mu_A(x)+\mu_B(y)-1]$$

4.Правило типа максмин (правило Заде):

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\max\{\min[\mu_A(x),\mu_B(y)],1-\mu_A(x)\}$$

5.Бинарное правило Клине-Дэнса:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\max[1-\mu_A(x),\mu_B(y)],\,при\,\mu_A(x)\geq\mu_B(y)$$

6.Правило ограниченной суммы:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\min\{1,[\mu_A(x)+\mu_B(y)]\}$$

7.Правило Гёделя :

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\left\{\frac{1,если\,\mu_A(x)\leq\mu_B(y),}{\mu_B(y),если\,\mu_A(x)>\mu_B(y)}\right.$$

8. Правило Гогуэна:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\min[1,\mu_B(y)/\mu_A(x)],.при\,\mu_A(x)>0$$

9. Правило стандартной чёткой импликации:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\left\{\frac{1,если\;\mu_A(x)\leq\mu_B(y),}{0,если\;\mu_A(x)>\mu_B(y)}\right.$$

10. Правило Гейнса:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\begin{cases}1, если\ \mu_A(x)\le\mu_B(y),\\ \mu_B(y)/\mu_A(x), если\ \mu_A(x)>\mu_B(y)\end{cases}$$

11. Правило Клине-Дэнса-Лукашевича:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=1-\mu_A(x)+\mu_A(x)*\mu_B(y)$$

12. Правило вероятностной импликации:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\min\{1,1-\mu_A(x)+\mu_A(x)*\mu_B(y)\}$$

13. Правило Н.Вади:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\max\{\mu_A(x)*\mu_B(y),1-\mu_A(x)\}$$

14. Правило Ягера:

$$\mu_{A\to B}(x,y)=\mu_A(x)^{\mu_B(y)}$$

9 Контрольные вопросы и упражнения для занятия 9

1. Что такое нечёткие нейронные сети? Приведите примеры таких сетей.

2. Чем нечёткие продукционные сети отличаются от нечёткого многослойного персептрона?

3. Чем нечёткие продукционные сети отличаются от сетей, используемых для извлечения нечётких правил из числовых данных?

4. Объясните, чем сеть Ванга-Менделя отличается от сетей TSK. Обоснуйте свой ответ.

5. Какие типы алгоритмов обучения можно использовать для обучения нечёткого многослойного персептрона?

6. Для какого типа сети сформулирован адаптивный алгоритм?

7.Для каких сетей можно использовать гибридный алгоритм обучения?

8. Исследуйте аппроксимирующие свойства сети Ванга-Меделя методом компьютерного моделирования для построения следующих отображений:

а) $f(x)=\frac{1}{x}, 1<=x<=100$;

б) $f(x)=\lg_{10}(x), 1<=x<=10$;

в) $f(x)=\exp(-x), 1<=x<=10$;

г) $f(x)=\sin(x), 1<=x<=\pi/2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как изменение радиуса кластера влияет на ошибку аппроксимации;

в) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку аппроксимации.

8. Исследуйте аппроксимирующие свойства сети TSK методом компьютерного моделирования для построения следующих отображений:

а) $f(x)=\frac{1}{x}, 1<=x<=100$;

б) $f(x)=\lg_{10}(x), 1<=x<=10$;

в) $f(x) = \exp(-x), 1 <= x <= 10$;

г) $f(x) = \sin(x), 1 <= x <= \pi / 2$.

Для проведения исследований выполните следующие действия:

а) Создайте два набора данных: один – для обучения, второй – для тестирования;

б) Исследуйте, как коэффициента обучения влияет на ошибку аппроксимации;

в) Исследуйте, как объем обучающей выборки влияет на ошибку аппроксимации.

10 Список используемой литературы

1. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс: Пер. с англ. - 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.: ил.
2. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с пол. И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.: ил.
3. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Пер. с англ. Ю.А. Зуев. – М.: Мир, 1992.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: Пер. с польск. И.Д.Рудинского, - М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 452 с.: ил.
5. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечёткие модели и сети. – М.: Горячая линия– Телеком, 2007. -284 с.: ил.