МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
Институт системной и программной инженерии
и информационных технологий (Институт СПИНТех)

Лабораторный практикум по курсу "Нейронные сети"

Лабораторная работа 3.
Создание однонаправленной нейронной сети с помощью нейронно-сетевого инструментария MATLAB.

Цель занятия – продемонстрировать основные этапы реализации нейронно-сетевого подхода для решения тестовой задачи с использованием нейронно-сетевого инструментария пакета MATLAB.

Можно выделить 5 основных этапов:

1. Подготовка данных для тренировки сети.
2. Создание сети.
3. Обучение сети.
4. Тестирование сети
5. Моделирование сети. (Использование сети для решения поставленной задачи).

В качестве примера рассмотрим следующую задачу:

Задан массив, состоящий из нескольких значений функции $y = Ce^{(-\frac{(x-A)^2}{S})}$ $(S > 0))$ на интервале (0,1). Создать нейронную сеть прямого распространения (англ. feedforward neural network) (многослойный перцептрон), что при вводе значений функции на входы сети на выходах получались бы значения параметров C, A, S.

1. Подготовка данных для обучения сети

В первую очередь необходимо определиться с размерностью входного массива. Выберем количество значений функции равным *N = 21*, т.е. в качестве входных векторов массива используем значения функции *y* в точках $x = 0.05, ..., 1.0$.

Указание: Количество значений функции может варьироваться, т.е. Вы можете выбирать это значение произвольно, в зависимости от условий задачи. При этом и значения функции будут, естественно, задаваться в других точках.

Для обучения сети необходимо сформировать массив входных векторов для различных наборов параметров C, A, S. Каждый набор этих параметров является вектором-эталоном для соответствующего входного вектора.

Для подготовки входного и эталонного массивов воспользуемся следующим алгоритмом. Выбираем случайным образом значения компонент вектора – эталона *C, A, S* и вычисляем компоненты соответствующего входного вектора. Повторяем эту процедуру

M раз и получаем массив входных векторов в виде матрицы размерностью $N \times M$ и массив векторов – эталонов в виде матрицы размерностью в нашем случае $3 \times M$.

Полученные массивы мы можем использовать для обучения сети.

Прежде чем приступать к формированию обучающих массивов, необходимо определиться с некоторыми свойствами массивов.

1. Выберем диапазоны изменения параметров C, A, S равными $(0.1, 1)$. Значения, близкие к 0 и сам 0 исключим в связи с тем, что функция не определена при $S = 0$. Второе ограничение связано с тем, что при использовании типичных передаточных функций желательно, чтобы компоненты входных и выходных векторов не выходили за пределы диапазона (-1, 1). В дальнейшем мы познакомимся с методами нормировки, которые позволяют обойти это ограничение.
2. Количество входных и эталонных векторов выберем равным $M = 100$. Этого достаточно для обучения, а процесс обучения не займет много времени.

Тестовые массивы и эталоны подготовим с помощью программы *mas1:*

```
% Формирование входных массивов  (входной массив  P) и
  (эталоны T)
P=zeros(100,21);
T=zeros(3,100);
x=0:5.e-2:1;
for i=1:100
  c=0.9*rand+0.1;
  a=0.9*rand+0.1;
  s=0.9*rand+0.1;
    T(1,i)=c;
    T(2,i)=a;
    T(3,i)=s;
  P(i,:)=c*exp(-((x-a).^2/s));
end;
P=P';
```

С помощью этой программы формируется матрица *P* из $M = 100$ входных векторов-столбцов, каждый из которых сформирован из 21 точки исходной функции со случайно выбранными значениями параметров C, A, S, и матрица *T* эталонов из 100 эталонных векторов-столбцов, каждый из которых сформирован из 3 соответствующих эталонных значений. Матрицы *P* и *T* будут использованы при обучении сети. Следует отметить, что при каждом новом запуске этой программы будут формироваться массивы с новыми значениями компонентов векторов, как входных, так и эталонных.

2. Создание сети

Указание: Как отмечалось в лекционном курсе, выбор архитектуры сети для решения конкретной задачи основывается на опыте разработчика. Поэтому предложенная ниже архитектура сети является одним вариантом из множества возможных конфигураций.

В Matlab имеется хорошо разработанный инструментарий для создания, обучения, тестирования нейронных сетей, а также последующего моделирования, а именно Neural Network Toolbox. Для ознакомления выполните команду *nnstart.* Для более углублённого изучения можно порекомендовать книгу [1].

Для решения поставленной задачи сформируем трехслойную сеть прямого распространения, включающую 21 нейрон во входном слое (по числу компонент входного вектора) с передаточной функцией *logsig*, 15 нейронов во втором слое с передаточной функцией *logsig* и 3 нейрона в выходном слое (по числу компонентов выходного вектора) с передаточной функцией *purelin*. При этом в качестве обучающего алгоритма выбран алгоритм Левенберга-Марквардта (Levenberg-Marquardt) (*trainlm*). Этот алгоритм обеспечивает быстрое обучение, но требует много ресурсов. В том случае, если для реализации этого алгоритма для выбранной размерности задачи не хватит оперативной памяти, можно использовать другие алгоритмы (*trainbfg, trainrp, trainscg, traincgb, traincgf, traincgp, trainoss, traingdx*). По умолчанию используется *trainlm*. Указанная сеть формируется с помощью процедуры:

```
net=newff(minmax(P),[21,15,3],{'logsig''logsig''purelin'},…
'trainlm');
```

Первый аргумент - матрица $M \times 2$ минимальных и максимальных значений компонент входных векторов вычисляется с помощью процедуры *minmax*.

Указание: Следует правильно употреблять кавычки в приведённой команде, в противном случае будет выдаваться сообщение об ошибках. Для определённости строчка скрипта приводится в формате MS Word, а именно,

net=newff(minmax(P),[21,15,3],{'logsig' 'logsig' 'purelin'},'trainlm');

Кроме того, рекомендуется провести создание архитектуры сети с помощью новой функции *feedforwardnet (hiddenSizes,trainFcn)*, которая вводится в новых версиях пакета Matlab на смену функции *newff*. Для получения справки по новой функции *feedforwardnet* сделайте вызов *help feedforwardnet.*

Результатом выполнения процедуры *newff* или, соответственно, *feedforwardnet*, является объект – нейронная сеть *net* заданной конфигурации. Сеть можно сохранить на диске в виде *mat.* файла с помощью команды *save* и загрузить снова с помощью команды *load*. Это то самое «ядро», которое после обучения нейронной сети может быть использовано в качестве нейросетевого процессора для выполнения конкретного приложения, в нашем случае для определения коэффициентов функции C, A, S.

3. Обучение сети

Следующий шаг – обучение созданной сети. Перед обучением необходимо задать параметры обучения. Задаем функцию оценки функционирования *sse*.

```
net.performFcn='sse';
```

В этом случае в качестве оценки вычисляется сумма квадратичных отклонений выходов сети от эталонов.

Задаем критерий окончания обучения – значение отклонения, при котором обучение будет считаться законченным:

```
net.trainParam.goal=0.01;
```

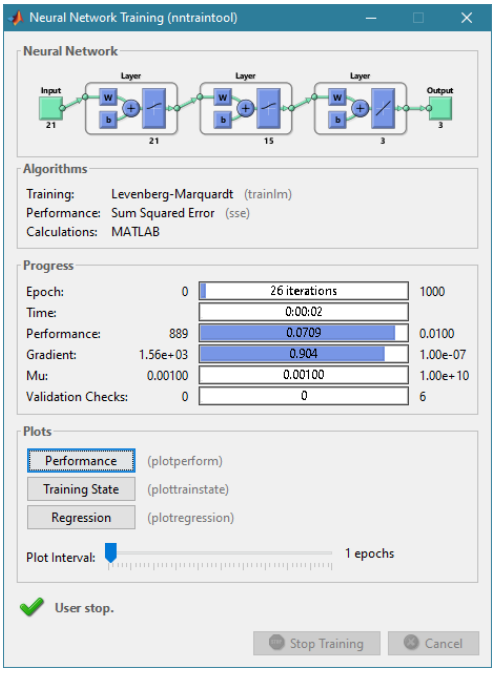
Задаем максимальное количество циклов обучения. После того, как будет выполнено это количество циклов, обучение будет завершено:

```
net.trainParam.epochs=1000;
```

Теперь можно начинать обучение:

```
[net,tr]=train(net,P,T);
```

Архитектура сети (модель), а также процесс обучения, отображаются на графическом интерфейсе нейро-сетевого инструментария.



Процесс обучения иллюстрируется графиком зависимости оценки функционирования от номера цикла обучения.

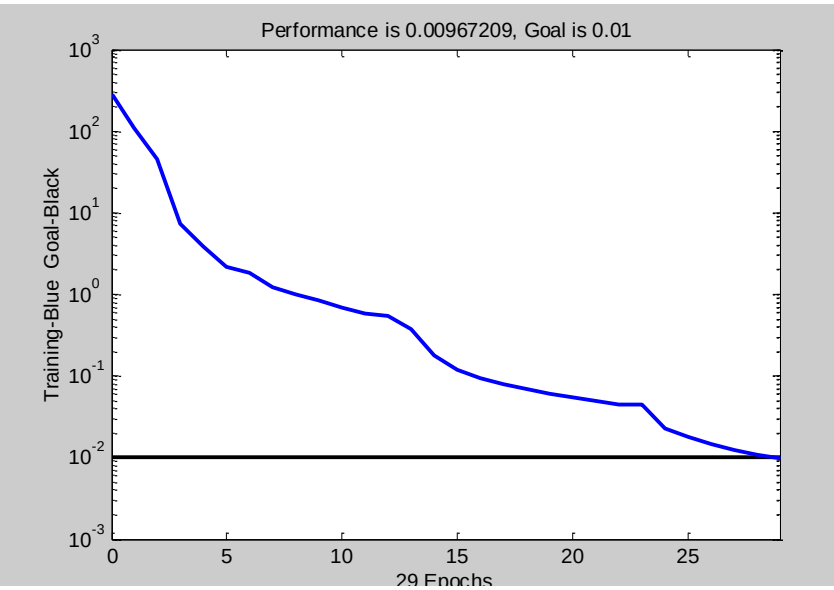


Рис. 1. Обучение нейронной сети

Таким образом, обучение сети окончено. Теперь эту сеть можно сохранить в файле nn1.mat:

```
save nn1 net;
```

4. Тестирование сети

Перед тем, как воспользоваться нейронной сетью, необходимо исследовать степень достоверности результатов вычислений сети на тестовом массиве входных векторов. В качестве тестового массива необходимо использовать массив, компоненты которого отличаются от компонентов массива, использованного для обучения. В нашем случае для получения тестового массива достаточно воспользоваться еще раз программой *mas1* .

Для оценки достоверности результатов работы сети можно использовать результаты регрессионного анализа, полученные в процессе сравнения эталонных значений со значениями, полученными на выходе сети, когда на вход поданы входные векторы тестового массива. В среде MATLAB для этого можно воспользоваться функцией *postreg*. Следующий набор команд иллюстрирует описанную процедуру:

```
mas1                 -   создание тестового массива P
y=sim(net,P);        -   обработка тестового массива
[m,b,r]=postreg(y(1,:),T(1,:)) - регрессионный анализ
                             результатов обработки.
```

Сравнение компонентов эталонных векторов с соответствующими компонентами выходных векторов сети. Видно, что все точки легли на прямую линию, что говорит о правильной работе сети на тестовом массиве.

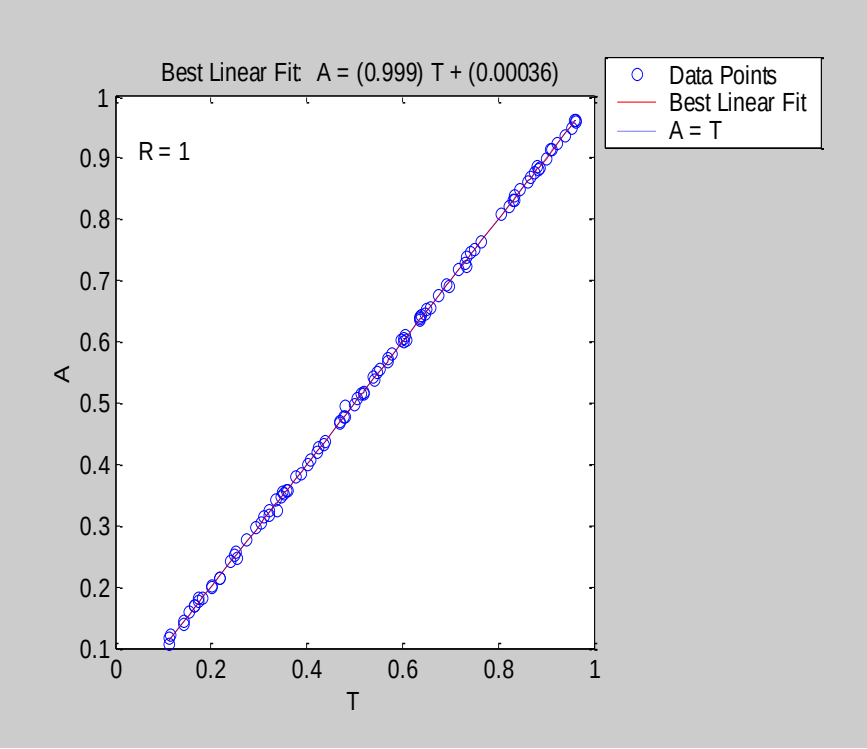


Рис. 2. Тестирование нейронной сети относительно параметра *C*

```
[m,b,r]=postreg(y(2,:),T(2,:));
```

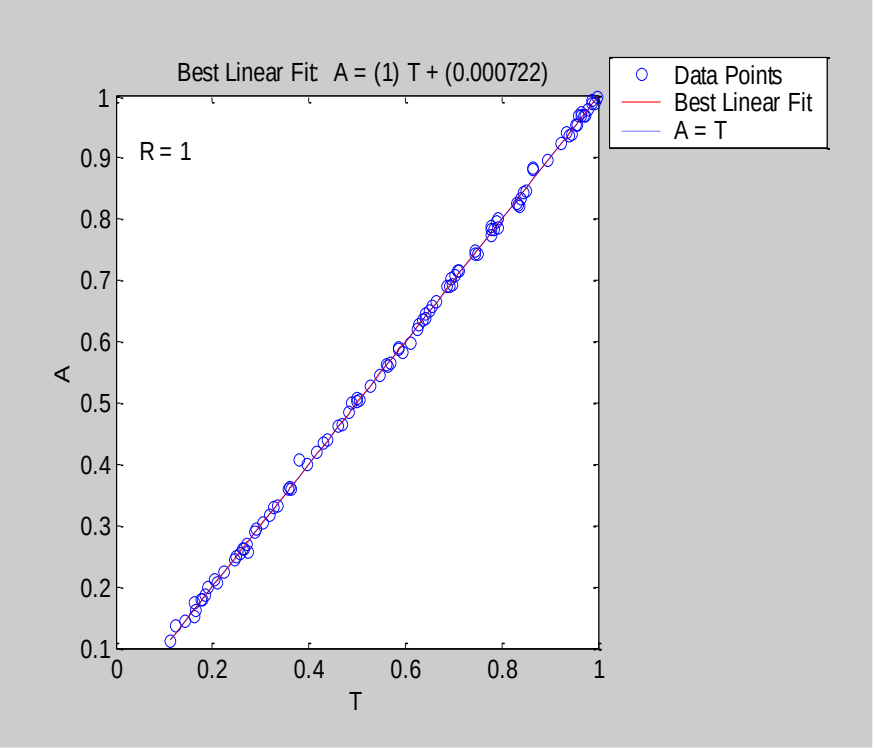


Рис. 3. Тестирование нейронной сети относительно параметра *A*

```
[m,b,r]=postreg(y(3,:),T(3,:));
```

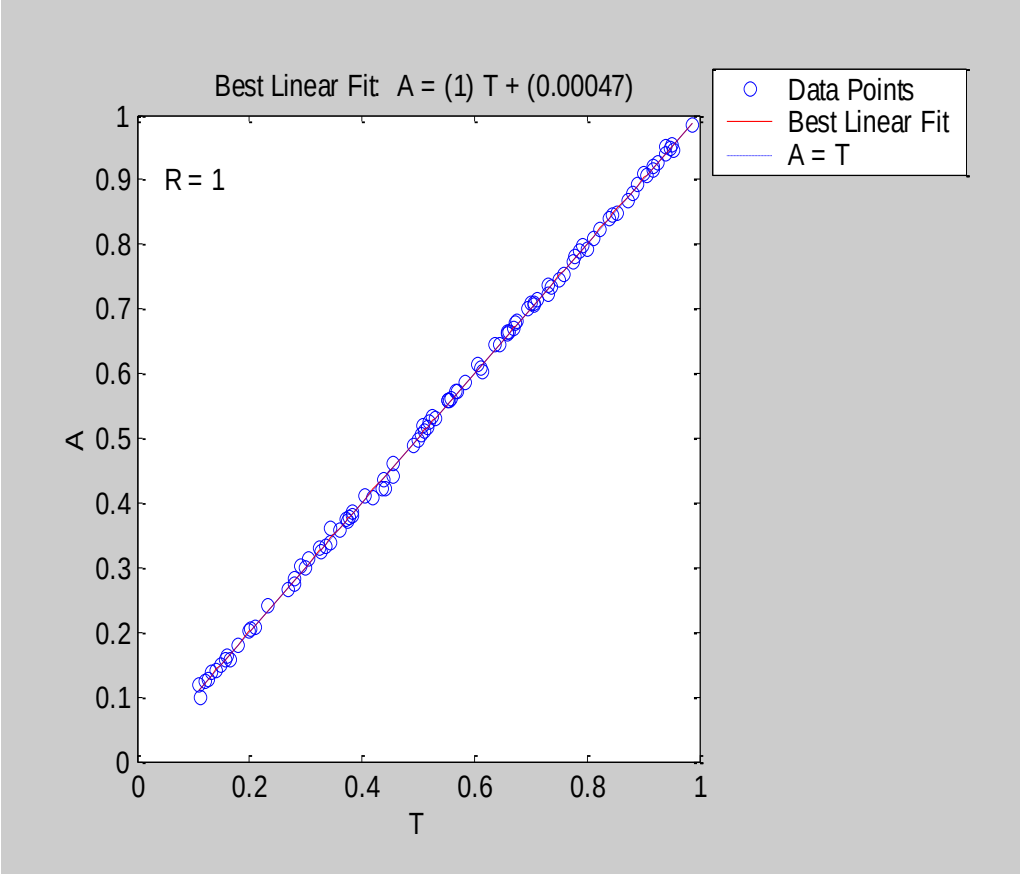


Рис. 4. Тестирование нейронной сети относительно параметра *S*

Как видно из рисунков, созданная нейронная сеть отлично решает поставленную задачу для всех трех выходных параметров. Сохраним обученную сеть net на диске в файл *nn1.mat*

5. Моделирование сети (использование сети для решения поставленной задачи)

Для того, чтобы применить обученную сеть для обработки данных, необходимо воспользоваться функцией *sim*:

```
Y=sim(net,p);
```

где *p* – набор входных векторов, *Y* – результат анализа в виде набора выходных векторов.

Например, пусть *C=0.2, A=0.8, S=0.7*, тогда

```
p=0.2*exp(-((x-0.8).^2/0.7));
```

Подставив этот входной вектор в качестве аргумента функции sim :

```
Y=sim(net,p')
```

Получим:

```
Y =
    0.2048    (C)
    0.8150    (A)
    0.7048    (S)
```

Что весьма близко к правильному результату (0.2; 0.8; 07).

Задание.

1. Исследовать влияние шума в исходных данных на результаты обучения нейронной сети. Для этого к исходному массиву данных прибавить случайные числа из диапазонов (0 – 0.01; 0 – 0.05; 0 – 0.1; 0 -0.2). Провести процедуру обучения и протестировать сеть.
2. Сформировать исходный массив и массив эталонов из случайных чисел и провести обучение сети. Прокомментировать результаты.

Дополнительная литература.

1. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.