ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Цель работы.

Изучение методов и алгоритмов распознавания, применяемых в ЭС.. Изучение методов обучения ЭС на основе алгоритмов распознавания.

Назначение методов распознавания. Решающие функции

Системы распознавания предназначены для отнесения распознаваемого объекта или явления к одному из известных классов на основе признаков данного объекта (явления). Под классом здесь понимается некоторая совокупность объектов, обладающих близкими (в чем-либо) свойствами. В качестве объекта может рассматриваться реальный физический объект (например, летательный аппарат) или некоторая ситуация (неисправность, заболевание, данные метеорологических наблюдений и т.д.). Примеры применения систем распознавания - системы технической диагностики, системы медицинской диагностики, системы технического контроля, системы для составления метеорологических прогнозов и т.д. Во многих случаях распознаваемый объект можно представить в виде набора чисел - значений признаков этого объекта, т.е. как вектор X = (X1,X2,...,XN), где X_j - значение j-го признака объекта, N - количество используемых признаков.

Решающая (дискриминаторная, классифицирующая) функция – это функция от значений признаков распознаваемого объекта, по значению которой может быть принято решение об отнесении объекта к одному из известных классов (или о том, что объект не может быть отнесен ни к одному из этих классов).

Рассмотрим следующие виды решающих функций:

- решающие функции на основе минимального расстояния;
- разделяющие решающие функции (границы между классами).

Решающие функции на основе минимального расстояния

Решающие функции такого вида могут применяться, если для каждого класса можно указать объект, который может рассматриваться как наиболее характерный представитель (прототип) данного класса. Пусть распознаваемый объект может относиться к одному из M классов.

Для распознавания используется N признаков. Пусть для каждого класса известен объект-прототип со значениями признаков P_i=(Pi1, Pi2,...,Pi_N). Для распознавания объекта используются следующие функции:

$$Di = 2\,(X1\cdot Pi1+X2\cdot Pi2+\ldots+XN\cdot Pi_N) - (Pi1\cdot Pi1+Pi2\cdot Pi2+\ldots+Pi_N\cdot Pi_N),$$

где Xj, j=1,...,N - значения признаков распознаваемого объекта.

Примечание. Обычно такая решающая функция записывается в векторной форме: $Di=2X\cdot Pi - Pi\cdot Pi$.

Решающая функция такого вида строится для каждого класса. Таким образом, находится M таких функций. Объект относится к классу, для которого значение функции D_i *максимально*.

Смысл решающих функций такого вида следующий. Представим распознаваемый объект X и объекты - прототипы классов Pi (i=1,...,M) как точки в N-мерном пространстве (т.е. как точки, имеющие N координат). Можно доказать, что значение функции Di тем *больше*, чем *меньше* расстояние между распознаваемым объектом X и объектом-прототипом Pi, вычисляемое по обычной формуле евклидова расстояния:

$$| X - Pi | = (K + (X_1 - P_{i1})^2 + (X_2 - P_{i2})^2 + \ldots + (X_n - P_{in})^2)^{0.5}$$

Здесь | X - Pi | - расстояние между объектами X и Pi.

Пример. Разрабатывается экспертная система для проектирования объектов складского хозяйства на промышленных предприятиях. Большинство складов строится по одному из трех типовых проектов (ТП1, ТП2, ТП3). Выбор типового проекта, по которому будет строиться склад, производится на основе анализа двух характеристик склада: грузооборота (тыс. тонн в год) и необходимого запаса единовременного хранения (тонн), т.е. количества груза, которое должно храниться на складе постоянно. Имеются сведения о девяти складах, построенных по трем указанным проектам. Эксплуатация этих складов показала, что проекты были выбраны удачно. Характеристики складов приведены в табл. 8.1.

Так как используемые в задаче признаки (грузооборот и запас единовременного хранения) имеют разную размерность и существенно различаются по порядку величин, их необходимо привести к безразмерному виду. Один из способов такого преобразования - деление всех имеющихся величин на максимальное из значений соответствующего признака. В данном примере необходимо разделить все значения грузооборота на 32 тыс. тонн, а значения запаса единовременного хранения - на 800 тонн. В результате будут получены безразмерные величины, находящиеся в диапазоне от нуля до единицы. Результаты приведения к безразмерному виду представлены в табл. 8.2.

Таблица 8.1

Номер склада	**Проект**	**Грузооборот**, тыс. тонн в год	**Запас единовременного хранения**, тонн
1	ТП1	4	400
2	ТП1	6	500
3	ТП1	7	300
4	ТП2	14	200
5	ТП2	18	300
6	ТП2	25	350
7	ТП3	**23**	**620**
8	ТП3	**32**	**570**
9	ТП3	**30**	**800**

Таблица 8.2

Номер склада	**Проект**	**Грузооборот**, тыс. тонн в год	**Запас единовременного хранения**, тонн
1	ТП1	0.13	0.50
2	ТП1	0.19	0.63
3	ТП1	0.22	0.38
4	ТП2	0.44	0.25
5	ТП2	0.56	0.38
6	ТП2	0.78	0.44
7	ТП3	**0.72**	0.78
8	ТП3	**1.00**	0.71
9	ТП3	**0.94**	1.00

Информацию об успешно реализованных проектах складов можно использовать в ЭС, применяемой для проектирования новых складов. Такая ЭС будет работать на основе методов распознавания. В качестве классов будут рассматриваться типовые проекты ТП1, ТП2, ТП3, а в качестве распознаваемых объектов - новые (проектируемые) склады. Для проектируемого склада потребуется указать планируемые величины грузооборота и запаса единовременного хранения. Задача ЭС будет состоять в том, чтобы на основе анализа этих двух признаков определить, к какому из типовых проектов *ближе* проектируемый склад.

Составим решающие функции для выбора типового проекта на основе минимального расстояния, т.е. на основе минимального различия между проектируемым складом и некоторым типичным складом, построенным по анализируемому типовому проекту. В качестве прототипов (т.е. наиболее типичных складов для каждого из проектов) будем использовать "гипотетические" склады, характеристики которых соответствуют *средним* характеристикам складов, построенных по каждому из проектов. Например, для проекта ТП1 (или для первого класса) объект-прототип будет иметь следующие значения признаков:

P11 = (0,13+0,19+0,22)/3 = 0,18 (по признаку X1);
P12 = (0,5+0,63+0,38)/3 = 0,50 (по признаку X2).

Таким образом, P1 = (0,18; 0,50). Аналогично найдем признаки объектов-прототипов для второго и третьего классов: P2 = (0,59; 0,36), P3 = (0,89; 0,83).

Составим решающие функции для определения наиболее подходящего проекта на основе минимального расстояния:

$D1 = 2\ (X1 \cdot 0{,}18+X2 \cdot 0{,}5)-(0{,}18 \cdot 0{,}18+0{,}5 \cdot 0{,}5) = 0{,}36 \cdot X1+1 \cdot X2-0{,}28;$

$D2 = 2\ (X1 \cdot 0{,}59+X2 \cdot 0{,}36)-(0{,}59 \cdot 0{,}59+0{,}36 \cdot 0{,}36) = 1{,}18 \cdot X1+0{,}72 \cdot X2-0{,}48;$

$D3 = 2\ (X1 \cdot 0{,}89+X2 \cdot 0{,}83)-(0{,}89 \cdot 0{,}89+0{,}83 \cdot 0{,}83) =1{,}78 \cdot X1+1{,}66 \cdot X2-1{,}48.$

Пусть, например, требуется выбрать наиболее подходящий типовой проект для проектируемого склада. Предполагается, что грузооборот склада будет составлять примерно 12 тыс. тонн в год, а запас единовременного хранения – 200 тонн.
Проектируемый склад рассматривается как распознаваемый объект.
Требуется определить, к какому классу (типовому проекту) относится этот объект. Перейдем к безразмерным значениям признаков объекта:

X1=12/32=0,38, X2=200/800=0,25.

Для распознавания воспользуемся решающими функциями:
D1 = 0,36·0,38 + 1·0,25 - 0,28 = 0,11;
D2 = 1,18·0,38 + 0,72·0,25 - 0,48 = 0,15;
D3 = 1,78·0,38 + 1,66·0,25 - 1,48 = -0.39.

Таким образом, распознаваемый объект отнесен ко второму классу.
В данном случае это значит, что для проектируемого склада следует выбрать типовой проект ТП2.

Разделяющие решающие функции

Под разделяющими решающими функциями будем понимать решающие функции, представляющие собой уравнения границ, разделяющих классы. Если распознавание объектов выполняется на основе двух признаков (т.е. распознаваемые объекты могут рассматриваться как точки на плоскости), то решающая функция представляет собой уравнение линии на плоскости (в простейшем случае - уравнение прямой). Если используются три признака, то решающая функция - это уравнение некоторой поверхности в трехмерном пространстве и т.д.
Методы построения таких функций лучше всего разработаны для случаев, когда имеются только два класса. В таких случаях строится одна решающая функция, принимающая положительные значения при подстановке в нее значений признаков объектов из одного класса, и отрицательные – для другого класса.

Построение разделяющих решающих функций (обучение экспертной системы)

Большинство методов построения разделяющих решающих функций основано на использовании *обучающего множества*, т.е. набора объектов, для которых уже *известно*, к каким классам они относятся. В обучающем множестве должны быть объекты из всех имеющихся классов. Построение решающей функции состоит в подборе такого вида функции, при котором она правильно распознает объекты из обучающего множества. Общий принцип построения разделяющих решающих функций (для двух классов) следующий. Один из классов (любой) обозначается как первый; для объектов из этого класса решающая функция должна принимать положительные значения, для объектов из другого класса - отрицательные. Выбирается некоторый первоначальный вид решающей функции. В нее подставляются объекты из обучающего множества. Если решающая функция правильно распознает объект (т.е. принимает положительное значение для объекта из первого класса, или отрицательное - для объекта из второго класса), то она не изменяется. В случае неправильного распознавания объекта из первого класса (т.е. при *отрицательном или нулевом* значении функции для такого объекта) функция корректируется таким образом, чтобы ее значение *увеличилось*. В случае ошибки для объекта из второго класса (т.е. при *положительном или нулевом* значении функции для такого объекта) функция корректируется таким образом, чтобы ее значение *уменьшилось*. Процесс завершается, когда решающая функция правильно распознает *все* объекты из обучающего множества.

Рассмотрим один из алгоритмов построения решающих функций - алгоритм восприятия. Воспользуемся им для построения линейной решающей функции между двумя классами (первым и вторым):

$$D12 = W1 \cdot X1 + W2 \cdot X2 + ... + WN \cdot XN + W0,$$

где X1, X2,...,XN - признаки распознаваемого объекта; W0, W1, W2,...,WN - коэффициенты решающей функции (их требуется определить).

Алгоритм реализуется в следующем порядке.

1. Выбираются некоторые начальные значения коэффициентов решающей функции. Пусть, например, эти коэффициенты принимаются равными нулю: W0=W1=W2=...=WN=0.
2. Счетчик правильно распознанных объектов принимается равным нулю: E=0.
3. Из обучающего множества выбирается первый объект.
4. Выбранный объект подставляется в решающую функцию. В зависимости от значения решающей функции выполняются следующие действия: • если объект распознан правильно (т.е. D12>0 для объекта первого класса, или D12<0 для объекта второго класса), то решающая функция не изменяется. Счетчик правильно распознанных объектов увеличивается на единицу (E=E+1);
• если неправильно распознан объект из первого класса (т.е. для такого объекта D12≤0), то функция корректируется в направлении увеличения. Для этого к ее коэффициентам W1, W2,...,WN *прибавляются* значения признаков распознаваемого объекта X1, X2,...,XN, а коэффициент W0 *увеличивается* на единицу. Счетчик правильно распознанных объектов *принимается равным нулю* (E=0);
• если неправильно распознан объект из второго класса (т.е. для такого объекта D12≥0), то функция корректируется в направлении уменьшения. Для этого из коэффициентов W1, W2,...,WN *вычитаются* значения признаков распознаваемого объекта X1, X2,...,XN, а коэффициент W0 *уменьшается* на единицу. Счетчик правильно распознанных объектов *принимается равным нулю* (E=0).
5. Если счетчик правильно распознанных объектов *равен* общему количеству объектов в обучающем множестве, то алгоритм завершается. Решающая функция построена.
6. Если счетчик правильно распознанных объектов *меньше* общего количества объектов в обучающем множестве, то выбирается очередной объект (если все объекты в обучающем множестве уже рассмотрены, то снова выбирается первый объект). Выполняется возврат на шаг 4. Таким образом, алгоритм завершается, когда решающая функция правильно распознает *все* объекты в обучающем множестве. Другими словами, построение решающей функции заканчивается после того, как в нее подставляются все объекты обучающего множества, и ни разу не требуется ее корректировка. Рассмотрим построение решающей функции для первого и второго классов (типовые проекты ТП1 и ТП2) в приведенном выше примере. Значения коэффициентов решающей функции считаем сначала равными нулю: $D12=0 \cdot X1+0 \cdot X2+0$. Выбираем первый объект из обучающего множества (0,13; 0,5) и подставляем его признаки в D12. Очевидно, что решающая функция равна нулю. Так как рассматривался объект из первого класса, и для него решающая функция должна быть положительной, выполняем коррекцию решающей функции, как показано выше (шаг 4 алгоритма). Функция принимает вид: $D12=0,13 \cdot X1+0,5 \cdot X2+1$. Так как проверенный объект был распознан неправильно, счетчик правильно распознанных объектов равен нулю: E=0. Выбираем очередной объект: X=(0,19; 0,63). Подставляем его в решающую функцию: $D12=0,13 \cdot 0,19+0,5 \cdot 0,63+1 = 1,34$. Таким образом, D12>0 для объекта из первого класса. Значит, объект распознан правильно и

коррекция функции не требуется. Счетчик увеличивается на единицу: E=1. Выбираем очередной объект: X=(0,22; 0,38). Подставляем его в решающую функцию: $D12=0{,}13\cdot0{,}22+0{,}5\cdot0{,}38+1 = 1{,}22 > 0$. Объект распознан правильно, коррекция функции не требуется. Счетчик увеличивается на единицу: E=2. Выбираем очередной объект: X=(0,44; 0,25). Подставляем его в решающую функцию: $D12=0{,}13\cdot0{,}44+0{,}5\cdot0{,}25+1 = 1{,}18 > 0$. Объект распознан неправильно: решающая функция должна быть отрицательной, так как объект относится ко второму классу. Выполняется коррекция функции, как показано в алгоритме (шаг 4). Функция принимает вид: $D12=-0{,}31\cdot X1+0{,}25\cdot X2$. Счетчик принимается равным нулю (E=0). Это означает, что решающая функция изменилась, и ее требуется проверять для всех объектов заново. Выбираем очередной объект: X=(0,56; 0,38). $D12=-0{,}31\cdot0{,}56 + 0{,}25\cdot0{,}38 = = -0{,}08 < 0$. Объект распознан правильно, коррекция не требуется, E=1. и т.д., и т.п.

Таким образом, решающая функция проверена на всех объектах обучающего множества, и все объекты оказались распознанными правильно. Решающая функция имеет следующий вид: $D12=-0{,}31\cdot X1+0{,}25\cdot X2$. Если имеются только два класса, то построенная решающая функция
может применяться для распознавания объектов. Распознавание выполняется подстановкой значений признаков объекта в функцию. Если значение функции оказывается положительным, то объект относится к первому классу, если отрицательным - ко второму.

Построение разделяющих решающих функций для нескольких классов

Имеется несколько методов построения таких решающих функций. Один из них состоит в том, что строятся разделяющие функции *для каждой пары* классов, как показано выше. В рассматриваемом примере эти функции будут иметь следующий вид:
$D12 = -0{,}31\cdot X1+0{,}25\cdot X2$ (построена выше);
$D13 = -1{,}64\cdot X1-0{,}34\cdot X2+1$;
$D23 = -0{,}4\cdot X1-1{,}34\cdot X2+1$.
Распознавание объекта выполняется на основе подстановки признаков объекта во все решающие функции. Объект относится к классу с номером k, если выполняется условие:
$Dki > 0$, $i=1,\ldots,M$, $i\neq M$, (*)
где i - номера классов.
Геометрическая интерпретация данного способа распознавания следующая: объект относится к классу k, если он находится "со стороны этого класса" относительно всех границ класса (т.е. всех функций D_{ki}). Воспользуемся построенными решающими функциями для рассматриваемого примера. Найдем значения решающих функций для склада с грузооборотом 12 тыс. тонн в год и запасом единовременного хранения 200 тонн (безразмерные значения признаков X1=0,38, X2=0,25): D12=-0,06; D13=0,29; D23=0,51. Таким образом, для склада выбирается типовой проект ТП2, так как выполняются условия $D21>0$ (то же самое, что $D12<0$) и $D23>0$. Если условие (*) не выполняется ни для одного из классов, то распознавание объекта невозможно. Это может означать, что распознаваемый объект сильно отличается от всех классов или, наоборот, близок сразу к нескольким классам. Пусть, например, для некоторого склада решающие функции приняли следующие значения: D12=0,17; D13=-0,08; D23=0,14. Для такого склада выбор проекта по построенным решающим функциям невозможен: склад не может быть отнесен ни к первому проекту (т.к. $D13<0$), ни ко второму (т.к. $D21<0$), ни к третьему (т.к. $D32<0$). В этом случае следует использовать другие методы распознавания (например, на основе минимального расстояния).

Порядок выполнения работы

1. Получить задание на лабораторную работу. Задание должно содержать примеры объектов, относящихся к нескольким классам (обучающее множество), а также значения признаков объекта, подлежащего распознаванию.
2. Составить решающие функции на основе минимального расстояния. Выполнить распознавание заданного объекта.
3. Составить разделяющие решающие функции на основе алгоритма восприятия. Для одной пары классов (по указанию преподавателя) построить решающую функцию вручную, для остальных – с помощью программы. Выполнить распознавание заданного объекта. Построить диаграмму для геометрической интерпретации распознавания. На диаграмме должны быть показаны объекты обучающего множества, графики решающих функций и области принадлежности к каждому из классов.

Контрольные вопросы

1. Понятие решающей функции.
2. Решающие функции на основе минимального расстояния.
3. Разделяющие решающие функции. Алгоритм восприятия.
4. Обучение ЭС. Построение разделяющих решающих функций для двух и для нескольких классов.
5. Геометрическая интерпретация распознавания на основе алгоритма восприятия.