Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Московский физико-технический институт

(государственный университет)»

Факультет радиотехники и кибернетики

Кафедра радиолокации, управления и информатики

Алгоритм и программное обеспечение нахождения весовых коэффициентов, определяющих степень значимости априорной информации о движущихся радиолокационных объектах

Выпускная квалификационная работа

(магистерская работа)

Направление подготовки: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Выполнил:

студент 114а группы \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Сорокин Александр Игоревич

Научный руководитель:

к.т.н., \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Фащев Виталий Владимирович

Москва, 2017

Содержание

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc484172819)

[**1 Весовые коэффициенты** 6](#_Toc484172820)

[***1.1 Метод ранжирования*** 6](#_Toc484172821)

[***1.2 Метод приписывания баллов*** 8](#_Toc484172822)

[***1.3 Метод рандомизированных сводных показателей*** 9](#_Toc484172823)

[***1.4 Формулы Фишберна*** 10](#_Toc484172824)

[***1.5 Статистические методы*** 11](#_Toc484172825)

[***1.5.1 Стратегия Байеса*** 12](#_Toc484172826)

[***1.5.2 Гарантирующая (минимаксная) стратегия*** 14](#_Toc484172827)

[***1.5.3 Стратегия Неймана-Пирсона*** 16](#_Toc484172828)

[***1.6 Выводы главы*** 17](#_Toc484172829)

[**4 Результаты** 19](#_Toc484172830)

[**5 Заключение** 20](#_Toc484172831)

[**6 Приложение** 22](#_Toc484172832)

[**7 Список литературы** 23](#_Toc484172833)

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание образов как научная дисциплина начала формироваться одновременно в СССР и США примерно со второй половины 50-х годов. Математическим аппаратом постановки и решения задач распознавания образов с момента их возникновения явилась теория статистических решений. Основы этой теории разработаны Дж. Нейманом и К. Пирсоном. Классические результаты теории статистических решений послужили базой для алгоритмов распознавания, обеспечивающих определение класса, к которому может быть отнесен неизвестный объект, основываясь на экспериментальных измерениях некоторого набора параметров (признаков), характеризующих этот объект, и определенных данных, описывающих классы рассматриваемых целей. Данные алгоритмы активно применяются в радиолокации [1].

Разработка систем распознавания, и в частности радиолокационного распознавания (РЛР), сопряжена с решением целого ряда задач [2]. В частности, существует актуальная задача - селекция (выделение) боевых блоков баллистических ракет на фоне ложных целей и в условиях помех и ядерных взрывов [3]. Опыт работ, провеленных в ГП «НИИРП» в 70-80-х годах 20 века, показал, что для решаения задачи селекции радиолокационных целей актуальным является наличие качественно составленного априорного описания всех движущихся радиолокационных целей – совокупность боевых блоков, тяжёлых ложных целей, ЛЛЦ и других средств преодоления системы ПРО [3].

В свою очередь задача распознавания в рамках радиолокации состоит, в разделении некой совокупности классифицируемых объектов на ряд классов в соответствии с выбранным принципом классификации, т.е. с некоторой вероятностью классифицировать объект-цель, снизив при этом вероятность ошибочного определения (ошибки 1-го, 2-го рода). В качестве принципа классификации – разбиения по классам используются различные признаки: качественные (тип двигателя), количественные (скорость, ускорение, ЭПР, размер объекта и т.д). Поэтому в описании классов должны содержаться сведения о качественных признаках объектов, о законах распределения имеющих количественные выражения, а также априорное описание – например количество объектов заданного класса.

Рассмотрим далее характер априорной информации, которая имеется при решении задач селекции и классификации. Как уже отмечалось, при классификации мы обычно располагаем сведениями о составе генеральной совокупности объектов, которые предстоит распознавать. Эти сведения содержат априорных вероятностей появление объектов различных классов. При селекции мы располагаем сведениями о составе конкретной выборки наблюдаемых объектов. Например, в наблюдаемой группе содержится ровно один объекта первого класса, в наблюдаемой группе содержится не менее одного и не более трех объектов первого класса.

Характер располагаемых априорных сведений определяет не только результат решения задачи селекции, но и саму структуру алгоритмов (решающих правил), применяемых при ее решении [3].

Как уже отмечалось ранее для решения задачи селекции актуальным является наличие качественно составленного априорного описания. С этой целью были разработаны таблицы априорных описаний, включающие в себя не только эталон для конкретного признака селекции, но и веса (весовые коэффициенты), отнесенные к этим признакам и определяющие степень доверия к заданному виду априорной информации.

При проведении работ использовался экспертный метод определения весовых коэффициентов. Его низкая эффективность заключалась в частых корректировках после каждой натурной работы, но компенсировалась достаточным количеством испытаний.

В современных реалиях нет возможности проводить натурные испытания достаточном объеме и как следствие необходимо автоматизировать расчет весовых коэффициентов.

Целью данной работы является разработка методики автоматического расчета весовых коэффициентов. Для достижения необходимо :

* Исследование методов расчета весовых коэффициентов
* Разработка алгоритма расчета весовых коэффициентов заданных классов радиолокационных объектов
* Разработка программного обеспечения для расчета весовых коэффициентов заданных классов радиолокационных объектов.

Также будет продемонстрирована эффективность разработанного метода по сравнению с другими алгоритмами.

**1 Весовые коэффициенты**

Для описания какого-либо процесса или явления, работы сложной системы или объекта используют, как правило, некоторый набор показателей, характеризующих эти процессы или объекты с разных сторон. С течением времени и под действием различных объективных и субъективных факторов эти показатели меняются, причем по-разному [1]. Поскольку роль показателей неодинакова, для оценки влияния часто используются весовые коэффициенты. В большинстве случаев весовые коэффициенты определяются на основании экспертных суждений, по определенным алгоритмам, сравнивающих факторы между собой [], но также существуют математические методы расчета, о которых будет подробно рассказано в данной главе.

После проведения сравнительного анализа будут рассмотрены статистические методы для выявления, наиболее подходящего для решения поставленной задачи.

***1.1 Метод ранжирования***

Данный метод позволяет упорядочить компоненты по степени возрастания или убывания их влияния в зависимости от особенностей рассматриваемого события. Группа из 𝑛 экспертов, специалистов в исследуемой области, высказывается относительно важности 𝑚 частных показателей. Самому важному показателю соответствует ранг 𝑚,

следующему – (𝑚 − 1) и т.д., ранг, равный 1, имеет наименее важный показатель. Результаты опроса экспертов сводят в Таблицу 2.1, в последней строке которой записывают сумму рангов, выставленных экспертами.

*Таблица 2.1 ― Результаты опроса экспертов по рассматриваемым компонентам.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер эксперта | Рассматриваемые компоненты | | | |
| *X*1 | *X*2 | *…* | *Xn* |
| 1 | *r*11 | *r*12 | *…* | *r*1*n* |
| 2 | *r*21 | *r*22 | *…* | *r*2*n* |
| … | *…* | *…* | *…* | *…* |
| *M* | *rm*1 | *rm*2 | *…* | *rmn* |

Оценку важности той или иной компоненты проводит группа специализированных экспертов, и каждый из них представляет свой вектор оценок по данной группе компонент, основываясь на знаниях в области слабо формализованных задач. Компоненты расставляются в порядке их важности по следующему правилу:

1. Эксперт располагает компоненты по убыванию их важности слева направо.
2. Каждой компоненте присваивается оценка от *n* до 1 (самой важной – *n* и далее по убыванию до 1).
3. Для каждой компоненты высчитывается сумма оценок, и далее высчитывается доля от всех полученных сумм. В виде формулы это можно представить так:

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

где – весовой коэффициент *j*-й компоненты; – оценка, поставленная *j*-й компоненте *i*-м экспертом [16].

Достоинством метода является его вычислительная простота, а недостатком – необходимость опроса экспертов, определение их необходимого числа, квалификации и т.д.

***1.2 Метод приписывания баллов***

Часто бывает желательным определить, насколько одна компонента более значима, чем другие. Поэтому этот метод основан на том, что эксперты оценивают важность частной компоненты по определённой шкале, например, от 0 до 10. Именно поэтому метод непосредственной оценки иногда именуют также балльным методом или методом прямой расстановки. При этом разрешается оценивать важность дробными величинами или приписывать одну и ту же величину из выбранной шкалы нескольким компонентам. Таблица оценок представлена так же, как и в предыдущем методе [14].

Алгоритм расчета весовых коэффициентов следующий:

1. Каждый эксперт проставляет оценки по всем компонентам в рамках заданной шкалы.
2. Происходит пересчет оценок по формуле:

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

1. Далее полученные оценки для каждой компоненты суммируются и нормируются, также как и в предыдущем методе.

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

***1.3 Метод рандомизированных сводных показателей***

Суть данного метода состоит в следующем. Строится дискретная модель неопределенности задания весовых коэффициентов [9, 10, 11], в которой предполагается, что каждый из этих коэффициентов измеряется с точностью до конечного шага , определяемого натуральным числом 𝑛 > 1. Таким образом, весовые коэффициенты могут принимать только дискретные значения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Тогда множество всех возможных векторов весовых коэффициентов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Где есть множество возможных значений индекса , является конечным множеством, содержащих число элементов , равное:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Неопределенность выбора конкретного вектора весовых коэффициентов 𝑤(𝑡) из множества всех возможных векторов весовых коэффициентов 𝑊(𝑚, 𝑛) получаются случайным образом при помощи случайного индекса 𝑡̃, равномерно распределенного на множестве :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

В результат получается случайный вектор весовых коэффициентов ( и равномерно распределенный на множестве 𝑊(𝑚, 𝑛).

При этом математическое ожидание и стандартное отклонение ( – дисперсия случайной величины ) – го весового коэффициента:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

являются оценками весовых коэффициентов и метой их точности, соответственно.

***1.4 Формулы Фишберна***

Данный формулы позволяет позволяют определить весовые коэффициенты, если относительно показателей известна некоторая информация [11]. Они могут быть упорядочены по мере убывания их важности: . В этом случае весовые коэффициенты образуют убывающую арифметическую прогрессию и могут быть определены по формуле (первая формула Фишберна):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Также можно усилить простое линейное упорядочение:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Весовые коэффициенты образуют убывающую геометрическую прогрессию, а их значения определяются по формуле (вторая формула Фишберна):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Относительно весовых коэффициентов могут быть известны интервалы их возможных значений (интервальные соотношения упорядочения):  
 . В этом случае используется, так называемая, третья формула Фишберна:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

***1.5 Байесовская оценка весовых коэффициентов***

Весовые коэффициенты по своей сути очень схожи с априорной вероятностью, поэтому их начальная инициализация задается как 1/(количество эталонов).

Формулу Байеса:

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

Где – функция правдоподобия

C эталонной выборкой значений для определенного класса, мы получаем апостериорные вероятности, которые могут использоваться как достоверная информация для перерасчета весов.

Для такого обучения нам необходимо в формуле 1.3 воспринимать как функцию правдоподобия (формула 2.1). Если функцию правдоподобия представить как:

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

M – число эталонов;

– функция распределения по Гауссу, в которой:

* – вектор измеренных значений j-го класса;
* - значение i-го эталона;
* – дисперсия эталона j-го класса.

Подставив её в формулу 1.3, получим формулу для расчета апостериорной вероятности по классам.

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

– априорная вероятность;

N – количество классов;

Так как нам необходимо знать лишь апостериорную вероятность одной компоненты, то знак суммы в числителе формулы 2.3 убирается. Таким образом, получаем формулу для пересчета весовых коэффициентов.

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

где – весовой коэффициент предыдущего такта обучения;

***1.6 Выводы главы***

В ходе анализа был рассмотрен ряд известных методов расчета весовых коэффициентов.

Анализируя вычислительную сложность обоих методов, можно сделать вывод, что для метода ранжирования требуется меньшее количество элементарных арифметических операций, чем для метода непосредственной оценки.

Показатель эффективности для обоих случаев одинаков, так как зависит от количества экспертов и является функцией от параметра *m.* Следует также заметить, что оба способа по показателю качества дают невысокую точность измерения, поскольку возможна низкая согласованность экспертов.

Метод непосредственной оценки лучше применять в том случае, когда степень важности компонент сильно варьируется (в некоторых случаях компонента может вообще не учитываться). Метод ранжирования предназначен для тех случаев, когда необходима «строгая» расстановка приоритетов компонент, а также, когда нет возможности дать точную оценку важности между рассматриваемыми компонентами.

В некотором роде метод ранжирования можно рассматривать как частный случай метода непосредственной оценки.

Поскольку оба метода основаны на массовую теоретическую оценку, их применение в данной работе будет невозможна. Причиной отказа от этих способов расчета может также послужить и то, что в алгоритмах самообучения системы необходимо использование результатов работы предыдущих тактов системы. Поэтому возникает необходимость в разработке правильного алгоритма перерасчета весовых коэффициентов.

**2 Методика расчета весовых коэффициентов**

***2.5 Алгоритм классификации радиолокационных целей.***

Формула 2.3, которую мы получили в предыдущем пункте, рассчитывает апостериорную вероятность только по одному рассматриваемому признаку. Из этого следует, что мы должны расширить возможности данной формулы на произвольное количество признаков классов. Воспользуемся формулой 1.5. Пояснением к ней служит то, что функцию с вектором из k независимых признаков можно разложить на произведение k простых функций одного признака при условии, что эти признаки независимы между собой. Заменив простые функции выражением 2.2, получим следующее:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.5) |

Pr – количество признаков;

Теперь заменим в формуле 1.4 выражением из формулы 2.5. Исходя из всех этих выводов, получаем следующую формулу для алгоритма классификации.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.6) |

**3 Результаты**

**5 Заключение**

В данной работе была предложена методика автоматизированного расчета весовых коэффициентов.

В ходе обзора статистических методов были рассмотрены три основные стратегии и показан наилучший метод классификации – стратегия Байеса. Проведя анализа известных методов расчетов весовых коэффициентов, была поставлена задача реализации нового подхода сокращающего время расчетов весов.

В ходе разработки проведен вывод формулы для пересчета весовых коэффициентов с использованием формулы Байеса. На ее основе был предложен алгоритм обучения, а также техническая реализация алгоритма классификации радиолокационных целей.

В третьей части работы рассмотрены технические и программные особенности системы. Проведен анализ по выбору БД, наиболее соответствующей требованиям системы. Также показаны преимущества SQLite и её подключение к проекту. Рассмотрен интерфейс системы с кратким пояснением его функционирования. Описана программная реализация вышеизложенных алгоритмов.

Результатом данной работы является методика, а также программное обеспечение нахождения весовых коэффициентов, определяющих степень значимости априорной информации. Было успешно выполнена задача сокращения времени расчета весов, также показан недостаток, такой как ресурсозатратность.

Таким образом, результатом выпускной квалификационной работы является созданная автоматизированной система классификации радиолокационных целей, в основе которой лежит байесовский классификатор. К дополнительным возможностям данной системы можно отнести самообучение, а также хранение всех результатов селекции.

**6 Приложение**

**7 Список литературы**

1. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
2. Селекция и распознавание на основе локационной информации./ А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн; Под. ред.  А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Щит России: системы противоракетной обороны. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 504 с.
4. Селекция и распознавание на основе локационной информации /А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С. Эпштейн / Под ред. А.Л. Горелика. - М.: Радио и связь, 1990. - 240 с.
5. Френкс, Л. Теория сигналов : перевод с англ. / Л. Френкс ; под ред. Д. Е. Вакмана. – М. : Советское радио, 1974. – 344 с.
6. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 1977. — 262 с.
7. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов.: Пер. с англ. М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 368 с.
8. Чернова Н. И. Математическая статистика: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2007. 148 с.
9. Блекуэлл Д., Гиршик М.А. Теория игр и статистических решений. М.: ИЛ, 1958.-374 с.
10. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
11. Сенин А.Г. Распознавание случайных сигналов. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1974. 76 с.
12. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация. — М.: Наука. 1984. 288 с.
13. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. - Новосибирск, НГТУ, 2002. - 352 с.