

Введение

Актуальность темы диссертации. Проблема распознавания образов сохраняет свою актуальность уже без малого полвека. Несмотря на относительную новизну проблемы, ей посвящено огромное число научных статей и монографий.

Процесс распознавания образов состоит в том, что система распознавания, как правило, компьютер, анализируя предъявленный сигнал или изображение, характеризующие некоторый недоступный для непосредственного наблюдения объект или явление, принимает решение о принадлежности этого скрытого объекта к одному из конечного множества классов [19,30]. Пожалуй, все, по крайней мере, слышали о системах распознавания речевых команд и даже слитной речи, отпечатков пальцев, анализа электрокардиограмм, а что касается программ автоматического чтения печатного текста, то многие уже активно ими пользуются.

Правило, которое каждому объекту, точнее, представляющему его сигналу или изображению, ставит в соответствие определенное наименование класса, называют решающим правилом. Ставшая уже классической теория распознавания образов разрабатывает методы построения формальных решающих правил в предположении, что на анализируемом сигнале уже измерены значения так называемых полезных признаков, или, как принято говорить, он представлен в виде точки в признаковом пространстве. Вектор признаков каждого объекта характеризует некоторый фиксированный набор присущих ему свойств, существенных для распознавания скрытого класса и представляемых обычно в виде действительных чисел, например, температура, размер, вес и т.п.

Основным принципом формирования решающего правила распознавания является, так называемое, обучение по прецедентам или, как еще говорят, «с учителем». Его сущность заключается в анализе относительно небольшой обучающей выборки объектов распознавания, на которой «учитель», то есть некто, полностью владеющий информацией о природе изучаемого явления, указал истинные классы объектов. Практически все алгоритмы обучения ищут такую поверхность или систему поверхностей в пространстве признаков, которая по возможности разделяла бы точки, помеченные «учителем» индексами разных классов, и позволяла бы в дальнейшем, как говорят, на этапе «экзамена», определять класс каждого нового объекта, не участвовавшего в обучении, делая при этом как можно меньше ошибок. Формирование решающих правил распознавания в процессе обучения основано на так называемой гипотезе

компактности, согласно которой объекты, отобразившиеся в близкие точки в пространстве признаков, скорее всего, принадлежат к одному и тому же классу.

Тем не менее, в такой уже ставшей классической области кибернетической науки, как теория обучения распознаванию образов, еще остается множество нерешенных проблем, две из которых являются предметом рассмотрения в данной работе.

Первая проблема, рассматриваемая в данной работе, связана с большой размерностью пространства признаков, что типично для многих прикладных задач. Ярким примером задач такого типа является задача распознавания речевых команд. В большинстве современных систем распознавания речи анализируется последовательность мгновенных спектров сигнала. $x_t(f)$. На практике в каждый момент времени достаточно вычислить конечное число спектральных составляющих для некоторых фиксированных частот $f^{(1)}, \dots, f^{(n)}$. Естественным, что как число спектров в последовательности, так и число частот, образующих каждый из них, должны быть достаточно велики, чтобы отразить особенности каждого звука в составе произнесенной команды. Как результат, произнесенная команда оказывается представленной вектором весьма большой размерности, содержащим, по крайней мере, сотни компонент.

Суть проблемы большой размерности заключается в том, что для обучающей выборки фиксированного размера увеличение количества признаков переменных, т. е. увеличение объема информации о разделяемых классах до некоторого значения, уже более не приводит к улучшению качества распознавания и даже, наоборот, существенно его ухудшает. В этом случае решающее правило оказывается привязанным к особенностям данной конкретной выборки и плохо отражает свойства генеральной совокупности. Действительно, в таком случае удастся сократить количество ошибок на этапе обучения, но под сомнение ставятся экстраполяционные свойства алгоритма. Как ни парадоксально, основная задача обучения состоит вовсе не в сохранении всей имеющейся информации, а, наоборот, в максимальном сокращении внимания к несущественной информации об объектах.

Первый подход [1], основанный на поиске подмножества наиболее информативных признаков, помимо увеличения качества классификации может быть полезен в случаях, когда нежелательно использование полной совокупности признаков переменных, например, из-за непомерно высокой стоимости сбора и обработки данных.

Второй подход [48] обычно используется в случае коротких выборок или в случае, когда селекция признаков по каким-либо соображениям неприемлема.

Суть подхода заключается в наложении на класс решающих правил некоторых ограничений, зависящих от априорных свойств данных. Задача подобной регуляризации состоит в улучшении экстраполяционных свойств полученного решающего правила, возможно, даже за счет принесения в жертву его качества на этапе обучения.

Во-вторых, следует заметить, что выбор признаков, образующих удобное для распознавания пространство, представляет собой отдельную весьма сложную проблему. Однако, в то же время существует широкий класс прикладных задач распознавания образов, в которых легко удастся непосредственно вычислить степень «непохожести» любых двух объектов, но трудно указать набор осмысленных характеристик объектов, которые могли бы служить координатными осями пространства признаков. Наглядным примером задач является задача распознавания рукописных символов [43], например, букв, при их вводе в ЭВМ непосредственно в процессе написания с помощью специального пера, и задача классификации пространственной структуры белков опираясь на знание лишь первичной структуры (последовательности аминокислот) [44].

Эти две на первый взгляд разные проблемы имеют как не странно одно решение. В данной работе для улучшения качества распознавания в обоих случаях предлагается при построении решающего правила учесть априорную информацию об обучающей выборке. В случае проблемы большой размерности пространства признаков, если селекция признаков по каким-либо причинам невозможна, например, в случае распознавания различного рода сигналов, на решающее правило необходимо наложить ограничение, зависящее от априорных свойств данных. В том случае, когда невозможно подобрать удобное для распознавания линейное пространство признаков учет априорной информации об объектах необходимо провести путем выбора подходящего пространства распознавания.

Цель работы. Разработка нового подхода к повышению качества решающего правила на стадии эксперимента для широкого класса задач, а именно распознавания сигналов, и задач, когда невозможно подобрать удобное линейное признаковое пространство.

Научная новизна. В настоящей работе впервые

- предлагается новый подход к проблеме регуляризации решающего правила, полученного при обучении распознаванию на многомерных данных, упорядоченных вдоль оси некоторого аргумента. Типичным примером объектов распознавания такого вида являются сигналы;

- . для прикладных задач, в которых затруднительно, а порой и невозможно явно указать фиксированный набор легко измеряемых признаков объектов вместо линейного векторного признакового пространства предлагается рассматривать множество всех потенциальных объектов непосредственно как метрическое пространство.

Степень обоснованности результатов. Научные положения, результаты и выводы, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы теоретически и обсуждены на семинарах и конференциях. Обоснованность предложенных алгоритмов подтверждается результатами модельных экспериментов и обработки реальных данных.

Прикладные результаты работы. Разработанные алгоритмы были использованы для распознавания, во-первых, модельных данных, специальным образом сгенерированных, во-вторых для распознавания рукописных символов, при их вводе в ЭВМ непосредственно в процессе написания с помощью специального пера.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 5 печатных работах.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались

- на молодежной научной конференции «XXVI Гагаринские чтения» (Москва, 1996);
- 8th International Student Olympiad on Automatic Control (BOAC'2000), St. Petersburg, May 24-26, 2000;
- на IX Всероссийской конференции ММРО-9, Вычислительный центр РАН, Москва, 1999г.

Структура работы. Работа состоит из пяти глав. В первой главе рассматриваются современные проблемы теории распознавания образов, в частности, особенности обучения в условиях малого относительного размера обучающей выборки по сравнению с размерностью признакового пространства. Формулируются основные задачи исследования. Во второй главе излагается метод опорных векторов, предлагается реализация метода опорных векторов для многих классов. В третьей главе будет рассмотрен новый подход к проблеме регуляризации решающего правила, полученного при обучении распознаванию на многомерных данных, упорядоченных вдоль оси некоторого аргумента., а также метод обучения в метрическом пространстве на основе понятия опорных элементов, представляющий собой модификацию метода опорных векторов В.Н. Вапника. В четвертой главе приводится описание программного комплекса обучения распознаванию образов, реализующего алгоритмы, предложенные в

основной части работы. Результаты экспериментального исследования алгоритмов приводятся в пятой главе.