

11.1 Системы распознавания

Практическая реализация методов распознавания образов воплощена в системах распознавания (СР). Необходимо отметить, что центральную задачу распознавания образов составляет построение эффективных вычислительных средств для отнесения объектов, явлений или процессов к соответствующим им классам на основе систематических теоретических и экспериментальных исследований.

Широкий круг задач, возлагаемых на СР, определяется понятием «распознавание» и включает в себя выяснение по разнородной, часто неполной, нечеткой, искаженной и косвенной информации факта, обладают ли изучаемые объекты, явления, процессы, ситуации фиксированным конечным набором свойств, позволяющим отнести их к определенному классу. Сюда входят как непосредственно задачи распознавания и классификации, так и такие задачи, в результате решения которых на основе распознавания требуется выяснить, в какой области из конечного числа областей будут находиться некоторые процессы через определенный промежуток времени.

Таким образом, к задачам распознавания должны относиться задачи технической и медицинской диагностики, геологического прогнозирования, прогнозирования свойств химических соединений, распознавания свойств динамических и статических объектов в сложной фоновой обстановке и при наличии активных и пассивных помех, прогнозирования урожая, обнаружения лесных пожаров, управления производственными процессами.

Разработки систем распознавания, начатые с 50-х годов, исчисляются тысячами. Сегодня уже трудно назвать такую отрасль науки и сферы производства, где не используются СР. При этом применение методов распознавания в ряде направлений науки и техники стимулирует их быстрое развитие. Рассмотрим некоторые применения.

Системы технической диагностики. Их внедрение – важнейший фактор повышения эффективности использования машин и технологического оборудования, резкого сокращения расходов на эксплуатацию.

Медицинская диагностика. Автоматизированные системы диагностики в медицине – путь увеличения широты и глубины охвата симптомов; оперативности; достоверности.

Сельское хозяйство. Области применения: распознавание размеров урожая по данным космических наблюдений; уменьшение ручного труда при сортировке плодов по форме, цвету и размерам и т.п.

Военное дело. Сложные системы вооружения: автоматический функциональный контроль технического состояния действующих систем и ввод резервирующих; роботы, обслуживающие фазированные антенные решетки радаров.

На основе всего рассмотренного можно в первом приближении сформулировать, что собой представляет СР.

Система распознавания – это автоматическое вычислительное устройство, предназначенное для распознавания образов. Фактически современные СР представляют собой сложные человеко-технические комплексы, в которые входят:

- вычислительные машины;
- средства обнаружения распознаваемых объектов;
- средства измерений параметров обнаруженных объектов;
- математическое обеспечение в виде методов и алгоритмов обработки измерительной информации; определения признаков распознавания; распознавания объектов, явлений, процессов; оптимального управления процессом распознавания; оценки эффективности СР на стадиях проектирования и функционирования;
- коллектив подготовленных специалистов, обеспечивающих жизненный цикл существования системы.

Таким образом, СР – это сложная динамическая система, состоящая из коллектива подготовленных специалистов и совокупности технических средств получения и переработки информации, обеспечивающих на основе специально сконструированных алгоритмов решение задачи классификации предъявленных объектов, явлений или процессов.

11.2 Задачи, решаемые в процессе создания систем распознавания

В ходе построения системы распознавания, можно выделить следующую последовательность задач, которые необходимо решить:

- построить алфавит классов в соответствии с выбранными принципами разделения объектов или явлений на ряд классов;
- создать словарь на основе совокупности признаков объектов или явлений;
- описывать каждый класс на языке словаря признаков;
- выбрать и (или) создать средства определения признаков;
- с помощью вычислительных средств реализовать алгоритм сопоставления апостериорных и априорных данных и принять решение о результатах распознавания.

В то же время выделенная последовательность действий не позволяет ответить на ряд следующих вопросов:

- как лучше выполнить разбиение объектов по классам;
- как накапливать и обрабатывать априорную информацию;
- из каких соображений выбирать признаки;
- как описывать классы на языке признаков;
- на основе каких методов сравнивать априорную и апостериорную информацию;
- когда и как появляется вся система распознавания.

На последний вопрос следует дать предварительный ответ. Система должна появляться с самого начала изучения проблемы распознавания. Ее первоначальный вариант должен представлять собой модель-прообраз будущей системы распознавания, поскольку без такой модели создание СР чаще всего вообще невозможно. Без модели сложно выбрать набор классов, перечень признаков, средства их измерений, решающие правила, обеспечивающие в комплексе требуемое качество решений о принадлежности. Это обусловлено тем, что полная информация для создания СР на момент начала ее создания всегда отсутствует и без экспериментальной отработки всего процесса принятия решений не всегда ясно, какая информация может вообще потребоваться. Поэтому модель должна позволить методом последовательных улучшений внутренней структуры системы достигнуть желаемого результата. Из вышеперечисленного можно сделать следующие выводы:

1. Задачи, решаемые в процессе создания систем распознавания, инвариантны относительно предметной области, имеют много общего, основываются на едином методологическом подходе.

2. Каждая система распознавания индивидуальна и предназначена только для одного вполне конкретного вида объектов или явлений.

Если найдена сфера применения распознавания, то соответствующая система должна разрабатываться заново с учетом новых специфических свойств объектов (явлений), определяющих как систему измерений характеристик, так и словарь признаков, алфавит классов и алгоритм принятия решений.

1. СР должна создаваться методом последовательных приближений внутренней структуры на ее математической модели по мере накопления необходимой информации.

После того как на качественном уровне рассмотрена проблематика распознавания, можно провести дополнительную детализацию и определить последовательность задач создания соответствующих систем.

11.3 Постановка и методы решения задач создания систем распознавания

Задача № 1

Определение полного перечня признаков (параметров), характеризующих объекты или явления, для которых данная система разрабатывается.

В решении этой задачи главное найти все признаки, характеризующие сущность распознаваемых объектов (явлений). Любые ограничения или неполнота информации приводят к ошибкам или невозможности правильной классификации объектов (явлений). Реально даже целая группа признаков может оказаться неэффективной. Поэтому для решения первой задачи создания СР необходимо найти все возможные признаки, описывающие объекты распознавания, с тем, чтобы при оценке эффективности решений

системы не возвращаться к этой задаче, обнаружив ограниченность выбранных признаков на последующих этапах разработки.

Чтобы назначать признаки распознавания, необходимо, во-первых, учитывать, что не существует способов их автоматической генерации. Сегодня это под силу только человеку, поэтому данную процедуру называют эвристической операцией. Во-вторых, выбор признаков можно осуществлять, имея представление об их общих свойствах. С этих позиций достаточно принять, что признаки могут подразделяться на:

- детерминированные;
- вероятностные;
- логические;
- структурные.

Детерминированные признаки – это такие характеристики объектов или явлений, которые имеют конкретные и постоянные числовые значения.

Необходимо иметь в виду, что в задачах распознавания с детерминированными признаками ошибки измерения этих признаков не играют никакой роли, если, например, точность измерений такого признака, как размах крыльев самолета значительно выше (например, 1 мм), чем различие этого признака у разных классов самолетов (например, 10 м).

Примерами систем, работающих с детерминированными признаками, могут служить следующие:

- распознавание принадлежности самолета (бомбардировщик, истребитель и др.) к определенным классам по экспериментально полученным данным;
- распознавание на конвейере деталей по отличию их геометрических характеристик, если ошибки измерений существенно меньше размеров этих деталей.

Распознавание осуществляется путем сравнения полученных признаков с имеющимися в базе данных характеристиками объектов.

Вероятностные признаки – это характеристики объекта (явления), которые носят случайный характер.

Такие признаки в основном встречаются в природе и технике. Отличаются они тем, что в силу случайности соответствующей величины признак одного класса может принимать значения из области значений других классов, каждый из которых подлежит распознаванию в системе. Если признак не может принимать значения из области значений, соответствующих для других классов, то, фактически вероятностные признаки становятся детерминированными. Это объясняет тот факт, почему вероятностные системы являются системами более общего порядка, по сравнению с детерминированными.

Для того чтобы можно было в условиях случайности говорить о возможности распознавания, следует потребовать, чтобы вероятности наблюдения значений признака в своем классе были как можно больше, чем в чужих классах. В противном случае данный признак не позволит построить СР, использующую описание классов на его основе. Поскольку эффективность

признака недостаточна для достоверного решения и необходимо искать другие признаки, имеющие большую разделительную способность.

Примеры вероятностных признаков распознавания:

- среднее значение мощности сигнала радиолокатора, отраженного от самолета;

- размер листа растения;

- размер патологического изменения какого-либо органа человека.

Логические признаки распознавания – это характеристики объекта или явления, представленные в виде элементарных высказываний об истинности (“да”, “нет” или “истина”, “ложь”).

Такие признаки не имеют количественного выражения, то есть являются качественными суждениями о наличии, либо об отсутствии некоторых свойств или составляющих у объектов или явлений.

Примеры логических признаков:

- наличие симптомов болезни у пациента;

- растворимость реактива;

- наличие дефекта у детали.

Здесь по каждому признаку можно сказать только то, что он есть, либо его нет. К логическим можно отнести также такие признаки, у которых не важна величина, а лишь факт попадания или непадения ее в заданный интервал. (Например, крейсерская скорость самолета больше или меньше 2000 км/ч).

Структурные признаки – это непроеизводные, т.е. не производимые из других элементарных признаков элементы (символы).

Появление структурных признаков связано с возникновением проблемы распознавания изображений с ее специфическими особенностями и трудностями. Примеры структурных признаков:

- горизонтальный и вертикальный отрезки прямой для изображения прямоугольника;

- пиксел для любого изображения на экране дисплея.

Оказывается, что оперируя ограниченным числом непроеизводных элементов (примитивов), можно получить описания разнообразных объектов, то есть, для отличающихся объектов можно иметь набор одинаковых непроеизводных элементов. Однако для того, чтобы наряду с определением непроеизводных элементов можно было бы выполнить описание, должны вводиться правила комбинирования, определяющие способы построения объекта из упомянутых непроеизводных элементов. В результате два одинаковых непроеизводных элемента могут быть соединены друг с другом по разным правилам. Это и будет их отличать. В целом для описания какого-либо объекта непроеизводные элементы объединяются в цепочки (предложения) по характерному только для данного объекта набору правил. В этом структурные методы проявляют аналогию с синтаксисом естественного языка. Поэтому структурные признаки носят еще название лингвистических или синтаксических.

Таким образом, для решения первой задачи создания СР можно сделать следующие выводы:

- выбор и назначение признаков распознавания – эвристическая операция, зависящая от творчества и изобретательности разработчика.
- состав признаков, выбираемых на этом этапе, должен быть как можно более разносторонним и полным, независимым от того, можно или нельзя эти признаки получить.
- выбор признаков осуществляется в группах детерминированных, вероятностных, логических и структурных характеристик объектов.

Задача № 2

Первоначальная классификация объектов (явлений), подлежащих распознаванию, составление априорного алфавита классов.

Данная задача уже упоминалась на описательном уровне, в ходе ее решения необходимо назначить классы объектов (явлений) распознавания. Даная процедура наиболее часто осуществляется эвристически, как и выбор признаков распознавания, а ход ее решения следующий:

- формулируется цель распознавания, т.е. определяется, какие решения по результатам распознавания могут приниматься человеком или автоматической системой управления объектом;
- на основании определенной выше цели задаются требования к системе распознавания, позволяющие выбрать принцип классификации;
- составляется априорный алфавит классов объектов (явлений).

Задача № 3

Разработка априорного словаря признаков распознавания объектов или явлений.

В ходе решения первых двух задач были определены все возможные признаки распознавания заданных объектов или явлений, а также состав классов. На данном этапе, располагая перечнем признаков и соответствующим ему априорным алфавитом классов, необходимо провести анализ возможностей измерения признаков или расчета их по данным измерений. А затем выбрать те из них, которые обеспечиваются измерениями, а в случае необходимости разработать предложения и создать новые средства измерений для обеспечения требуемой эффективности распознавания.

Таким образом, на данном этапе необходимо создание словаря, обеспечиваемого реально возможными измерениями.

Однако оценить набор признаков распознавания можно только, выполнив испытания системы распознавания в целом и оценив эффективность распознавания, хотя реально система еще не существует. В дальнейшем, рассматривая последующие задачи, станет очевидным, что текущая задача остается актуальной на протяжении всего процесса создания СР. И только методом последовательных приближений удастся добиться выбора словаря признаков, обеспечивающего желаемое качество решений.

Фактически на данном этапе создается математическая модель системы, которая используется для реализации указанных последовательных приближений.

Задача № 4

Описание классов априорного алфавита на языке априорного словаря признаков.

Априорное описание классов считается наиболее трудоемкой задачей в процессе создания системы распознавания, требующей глубокого изучения свойств объектов распознавания.

В рамках этой задачи необходимо каждому классу поставить в соответствие числовые параметры детерминированных и вероятностных признаков, значения логических признаков и предложения, составленные из структурных признаков-примитивов. Значения этих параметров можно получить как результат выполнения следующих действий:

- специально поставленных экспериментов или наблюдений;
- обработки экспериментальных данных;
- математических расчетов;
- математического моделирования;
- извлечения из литературных источников.

Рассмотрим процессы получения признаков каждой группы.

Если распознаваемые объекты имеют детерминированные признаки, то описанием класса может быть точка в n -мерном пространстве признаков из априорного словаря, сумма расстояний от которой до точек, представляющих объекты данного класса, минимальна.

В случае логических признаков распознавания для описания каждого класса необходимо прежде всего иметь полный набор элементарных логических высказываний A, B, C , входящих в состав априорного словаря. А для описания классов еще необходимо установить соответствие между набором значений приведенных признаков A, B, C и классами C_1, C_2, \dots, C_m .

Если распределение объектов распознавания, представленных числовыми значениями их признаков, по классам носит вероятностный характер, то для описания классов необходимо определить характеристики этих распределений.

Это – условные вероятности отнесения объектов к определенным классам и плотности вероятностей распределения. Указанные характеристики можно получить экспериментальным путем по статистическим данным, из теоретического вывода или через моделирование.

Если распознавание выполняется по структурным признакам, то каждый класс должен описываться набором предложений, представляющих собой цепочки из производных элементов, составленные по правилам соединения. Каждое из предложений класса – это характеристика структурных особенностей объектов данного класса.

Задачи № 5

Выбор алгоритма классификации, обеспечивающего отнесение распознаваемого объекта или явления к соответствующему классу.

Решение задачи распознавания на основе использования словаря признаков и алфавита классов объектов (явлений) фактически заключается в разбиении пространства значений признаков распознавания на области D_1, D_2, \dots, D_n , соответствующие классам C_1, C_2, \dots, C_n . Указанное разбиение должно быть выполнено таким образом, чтобы обеспечивались минимальные значения ошибок отнесения классифицируемых объектов или явлений к «чужим» классам.

Результатом такой операции является отнесение объекта, имеющего набор признаков X_1, X_2, \dots, X_n (точка в n -мерном пространстве), к классу C_i , если указанная точка лежит в соответствующей классу области признаков D_i .

Разбиение пространства признаков можно представлять как построение разделяющих функций $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ между областями признаков D_i , принадлежащих разным классам. (см. метод потенциалов). Физически распознавание основывается на сравнении значений той или иной меры близости распознаваемого объекта с каждым классом. При этом, если значение выбранной меры близости (сходства) L данного объекта w с каким-либо классом C_g достигает экстремума по сравнению со значениями сходства с другими классами, то принимается решение о принадлежности объекта w классу C_g . Если же мера близости не имеет экстремума, то рассматривается случай на границе классов, где нельзя отдать предпочтение ни одному из классов.

Пятая задача фактически завершает круг задач, связанных с созданием СР. При этом следует помнить, что создание СР осуществляется последовательными приближениями по мере получения дополнительной информации. В этом ряду последовательных приближений главную роль играют признаки распознавания. От эффективности их набора зависит эффективность системы в целом. В процессе совершенствования системы указанный набор пополняется, неэффективные признаки исключаются. Поэтому одной из задач создания СР должна быть задача перехода от априорных словаря признаков и алфавита классов к рабочим словарю и алфавиту классов.

Задача № 6

Определение рабочего алфавита классов и рабочего словаря признаков системы распознавания.

Поскольку уже решены задачи 1-5, данная задача хотя бы может быть поставлена. В результате выполнения предшествующих задач создана система распознавания первого приближения, в которой имеются априорный алфавит классов и априорный словарь признаков, выбран алгоритм распознавания.

Суть настоящей задачи – разработка таких алфавита классов и словаря признаков, которые обеспечили бы максимальное значение показателя эффективности распознавания. Это означает, что из априорного словаря необходимо выбрать признаки, позволяющие при всех имеющихся ограничениях на их получение (измерение) предоставить максимум вероятности правильной классификации объектов (явлений) и (или) минимальные вероятности ошибочных классификаций создаваемой системой. Такой выбор не может не предполагать оценку указанных показателей до того, как создана система.

Указанная суть задачи заставляет обратить внимание на возможность получения оценки эффективности системы распознавания путем ее моделирования.