

13.1 Области применения систем распознавания

Осязание роботов. Многие задачи робототехники, в частности автоматическая сборка изделий, требуют непосредственного физического контакта между объектом и захватывающим узлом робота. Поскольку наличие такого контакта является необходимым условием успешного решения задачи, возникает желание использовать его одновременно и для распознавания объекта, с которым взаимодействует робот, для оценки его параметров: геометрических размеров, ориентации в пространстве, степень шероховатости поверхности.

К настоящему времени приборов и методов для искусственного осязания разработано значительно меньше, чем для искусственного зрения. Однако скорость обработки информации у тактильных датчиков может быть даже более высокой, чем у оптических. Это связано с тем, что в первом случае обрабатывается значительно меньшее количество сигнальных отсчетов, чем при обработке видеосигналов. Тактильные датчики могут решать различные задачи: определение состояния поверхности, распознавание формы контуров и исследование других характеристик объекта путем «ощупывания» его чувствительным элементом. Достоинством тактильных датчиков являются их механическая гибкость, дешевизна, удобство использования, а также линейная зависимость электрического сопротивления от деформации, а, следовательно, и от локальной нагрузки. К областям применения тактильных датчиков можно отнести промышленную робототехнику, телеуправление, в том числе на устройствах, предназначенных для работы в неблагоприятных средах.

Дистанционное обнаружение в геофизике. Здесь подразумеваются наблюдения за поверхностью земли и других планет – это различные спутники, корабли многоразового использования, орбитальные станции и многое другое. Каждая из таких систем выдает огромные потоки информации. Поскольку число потребителей этой информации быстро возрастает, представляется необходимым выполнять автоматическую классификацию наблюдений за минимальное время, согласованное со срочностью запросов. Идеальным считается обработка изображений в реальном масштабе времени и выдача результатов пользователям.

Сейсмология. Сейсмические волны можно наблюдать и записывать в любой точке земной поверхности. Для этого используются сейсмографы – приборы, обладающие чрезвычайно высокой чувствительностью к механическим колебаниям земли. Автоматическое дешифрирование этих записей представляет огромный интерес для понимания явлений, происходящих в толще земной коры. Для описания сейсмических волн была разработана грамматика, реализуемая на детерминированном конечном автомате. С учетом того, что отрезки сигнала имеют одинаковую длительность, среди возможных помех следует учитывать только ошибки подстановки. Для этого каждому грамматическому правилу вида $A \rightarrow aB$ или

$A \rightarrow a$ (правила «грамматики без помех») добавляют правила вида $A \rightarrow bB$ и $A \rightarrow b$ с классическими условиями $A, B \in V_n$ и $a, b \in V_t$. Каждое из этих дополнительных правил можно брать с определенным весом, зависящим от ошибки.

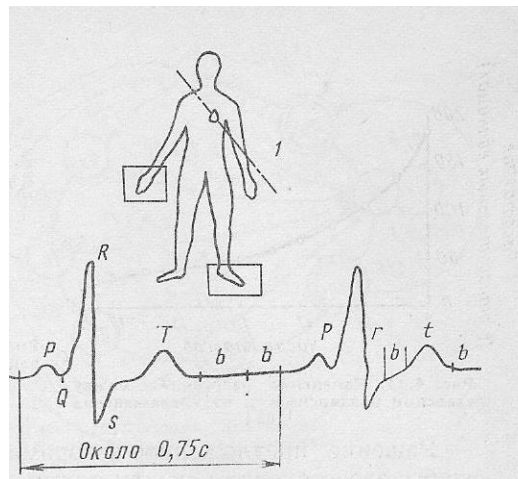
Решение состоит в том, чтобы перестановкам между двумя словами придавать веса в соответствии с расстоянием, разделяющим эти классы в выбранном пространстве признаков. При этом операция распознавания оказывается идентичной операции отыскания оптимального пути в древовидном графе, поскольку такое представление может быть связано с любой грамматикой конечных состояний. Эксперименты проводились на массиве, в который входила 321 реализация. Из них 50 использовались в качестве обучающей выборки и как основа для разработки грамматики. В зависимости от числа классов общие результаты показали две величины: процент правильного распознавания и время его выполнения. При числе классов около 10 время выполнения резко возрастает. Если учесть получающийся при этом достаточно высокий процент правильного распознавания, то оказывается, что интуитивный выбор именно этого количества классов вполне оправдан. Результаты можно еще несколько улучшить за счет использования длины отрезка в качестве дополнительного признака. Кроме того, интерес представляет рассмотрение сочетания этой процедуры с системой экспертных оценок.

Электрокардиография представляет собой один из методов исследования работы сердца, основанный на записи разности электрических потенциалов, возникающей в процессе сердечной деятельности. Схематически сердце может быть представлено в виде электрического диполя переменной длины, зависящей от сердечного ритма. Форма электрического сигнала, изменяющегося во времени, и его амплитуда зависят от точки съема. Типичная осциллограмма ЭКГ-сигнала показана на рис. 1. Буквы PQRS, предложенные Эйнтховеном, позволяют в удобной форме описывать отдельные особенности этой непрерывной кривой. Периодический сигнал ЭКГ имеет сравнительно простую структуру, поэтому для его автоматического распознавания была предложена процедура на основе грамматического описания.

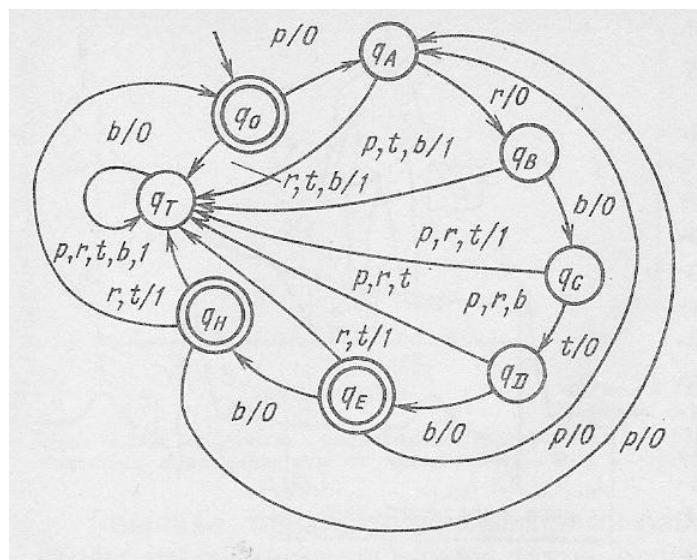
При этом описание ЭКГ составляется из четырех символов – p, r, b, t , каждый из которых соответствует определенному участку кривой на рис. 1. Символ p соответствует волне P , r – RS -переходу, b – относительно плоской части, разделяющей экстремумы S и T (около 0,1 с), t – волне T . Если за начало отсчета принять волну P , то в таких обозначениях нормальная ЭКГ может быть описана последовательностями символов: $prbtb, prbtbb, prbtbbb$ и т.д.

Синтаксические описания такого вида могут быть получены с использованием грамматики G :

$G = \{V, V_n, P, S\}$, $V_t = \{p, r, t, b\}$, $V_n = \{S, A, B, C, D, E, H\}$,
 $P = \{S \rightarrow pA, A \rightarrow rB, B \rightarrow bc, C \rightarrow tD, D \rightarrow b, D \rightarrow bE, E \rightarrow b, E \rightarrow bH, E \rightarrow pA, H \rightarrow b, H \rightarrow bS, H \rightarrow pA\}$.



Языку, порождаемому этой грамматикой, можно привести в соответствие конечный автомат, схема которого показана на рисунке 2. Для того чтобы обнаружить аномальную ЭКГ и отличить ее от нормальной, используют выход «0», если исследуемая ЭКГ соответствует «нормальному» стандарту, и выход «1» в противном случае. Этот выход на рисунке 2 соединен с линиями переходов. Такой тип распознающего автомата весьма примитивен: он способен обнаруживать лишь грубые отклонения от нормы. В действительности анализ аномальной ЭКГ представляет собой серьезную задачу, которая выполняется квалифицированными специалистами.



Промышленное применение. Автоматический контроль деталей в процессе их изготовления – это та задача, для решения которой используются и разрабатываются различные средства обработки информации. Однако внедрение устройств, автоматически измеряющих размеры, состояние поверхности и другие характеристики предметов в процессе производства, часто сопряжено с немалыми трудностями. Одной из главных задач,

возникающих при автоматическом контроле, является задача обучения распознающего устройства.

В процессе изготовления деталей или узлов разнообразие возможных дефектов может быть настолько велико, что составить для машины обучающую выборку, включающую все варианты подлежащих контролю ситуаций, часто представляет собой невыполнимую задачу. Поэтому следует либо создать обучающую выборку на базе ограниченного набора типовых дефектов, требующих идентификации, либо ввести процедуру автоматического обучения, что представляется априори несовместимым со многими промышленными применениями. Однако потребность в таких системах становится все более острой в тех областях, где приходится сталкиваться с многократно повторяющимися операциями или где требуется большая скорость выполнения.

Задачи сборки узлов и механизмов также постепенно передаются роботам. При этом в большинстве случаев собираемые элементы должны быть поданы и ориентированы строго определенным образом. Проверка правильности этого выполняется автоматически с помощью различных датчиков, чаще всего оптических.

13.2 Критерии развития систем распознавания

Среди параметров и показателей, характеризующих любой технический объект (ТО), всегда имеются один или несколько таких, которые на протяжении длительного времени имеют тенденцию монотонного изменения или поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели осознаются как мера совершенства и прогрессивности и оказывают сильное влияние на развитие отдельных классов технических объектов и техники в целом. Такие параметры называются *критериями развития* ТО.

Наборы критериев развития для различных классов ТО в большой степени совпадают, поэтому в целом развитие техники подчинено единому набору критериев. Этот набор включает в себя 4 группы:

- функциональные, характеризующие показатели реализации функции ТО;
- технологические, связанные с возможностью и простотой изготовления ТО;
- экономические, определяющие экономическую целесообразность реализации функции с помощью ТО;
- антропологические, связанные с вопросами человеческого фактора, т.е. с воздействием на человека ТО.

Рассмотрим три наиболее распространенных критерия, входящих в группу функциональных критериев.

Критерий *производительности* представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, который непосредственно зависит от

ряда параметров, влияющих на производительности ТО. Эти параметры представляют собой частные функциональные критерии:

- 1) скорость обработки объекта;
- 2) физические и химические параметры, влияющие на интенсивность обработки;
- 3) степень механизации труда;
- 4) степень автоматизации труда;
- 5) непрерывность процесса обработки.

Критерий механизации определяется как отношение механизированных операций к общему числу операций. Критерий автоматизации определяется как отношение автоматизированных операций к общему числу операций. В основе критерия непрерывности лежит один из главных способов повышения производительности труда.

Критерий *точности* включает в себя следующие частные критерии:

- 1) точность измерений;
- 2) точность попадания в цель;
- 3) точность обработки материала или вещества;
- 4) точность обработки потока энергии;
- 5) точность обработки информации.

Критерий *надежности* содержит следующие частные критерии:

- 1) безотказность;
- 2) долговечность;
- 3) сохраняемость;
- 4) ремонтпригодность.

Под надежностью ТО обычно подразумевают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени. Критерий надежности возрастает с увеличением времени и вероятности безотказной работы. Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции. Актуальность и вес этих критериев всегда были выше других.

Технологические критерии призваны обеспечивать всестороннюю экономию живого труда при создании ТО и подготовке их к эксплуатации. Выделяют 4 частных критерия. Критерий *трудоемкости изготовления* ТО равен отношению суммарной трудоемкости T_c проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его показателю эффективности Q , т.е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности: $K_T = T_c / Q$. Главный показатель эффективности Q выбирают так, чтобы K_T объективно отражал прогрессивное развитие рассматриваемых ТО. Критерий трудоемкости представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ведется по одному и тому же показателю эффективности Q . Этот критерий считается одним из самых древних.

Критерий *технологических возможностей* связан с выделением в ТО пяти типов элементов:

- 1) A_c – стандартные,
- 2) A_y – унифицированные, заимствованные у существующих ТО,
- 3) A_{k1} – оригинальные, но не сложные,
- 4) A_{k2} – оригинальные и сложные,
- 5) A_{k3} – оригинальные, вызывающие принципиальные трудности.

Критерий технологических возможностей, который должен отражать простоту и принципиальность возможности изготовления ТО, можно определить по формуле:

$$K_{m.в.} = \varepsilon \frac{K_c A_c + K_y A_y + K_{k1} A_{k1} + K_{k2} A_{k2}}{A_c + A_y + A_{k1} + A_{k2}},$$

$$\text{где } \varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{k3}=0 \\ 0, & \text{если } A_{k3} > 0. \end{cases}$$

K_c, K_y, K_{k1}, K_{k2} – весовые коэффициенты, причем

$$K_c = 1, K_c > K_y > K_{k1} > K_{k2}.$$

$A_c, A_y, A_{k1}, A_{k2}, A_{k3}$ – число наименований соответствующих элементов.

На практике часто используются частные случаи этого критерия: стандартизации, унификации. Однако в любой форме представления $K_{m.в.}$ находится и диапазоне значений от 0 до 1. Его нельзя отнести к монотонно возрастающей функции, так как часто для улучшения более важных критериев приходится ухудшать $K_{m.в.}$. Основная форма представления этого критерия стимулирует исключение абсолютно нетехнологичных элементов A_{k3} и минимизацию A_y, A_{k1}, A_{k2} в соответствии с их весовыми коэффициентами. $K_{m.в.}$ отражает фактор наследственности в технике. Он заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы, отработанную технологию изготовления и внедрения.

Критерий *использования материалов* равен отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P , при этом покупные комплектующие элементы не учитываются:

$$K_{и.м.} = G / P.$$

В случае, когда в ТО используются материалы, существенно различающиеся по стоимости, при вычислении данного критерия рекомендуется применять следующие формулы:

$$G_n = \sum_{i=0}^m k_i q_i, P_n = \sum_{i=0}^m k_i p_i,$$

где i – номера материалов, q_i – масса i -ого материала, k_i – весовой коэффициент i -ого материала, p_i – масса израсходованного i -ого материала.

Критерий использования материалов представляет собой монотонно убывающую функцию в диапазоне от 0 до 1. Иногда случаются ступенчатые возрастания данного критерия, связанные с переходом на новые технологические процессы с большей производительностью или на новые более дешевые материалы.

Критерий *разбиения* ТО на элементы. Всегда существует оптимальное разбиение ТО на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки, изготовления, модернизации, являясь основой для унификации и стандартизации. Данный критерий обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному, с точки зрения декомпозиции, представлению технической системы.

Рассмотрим группу *экономических* критериев, первый из которых критерий *расхода материалов*. Он равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q :

$$K_{p.m.} = G / Q,$$

т.е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности. В случае применения в ТО материалов со значительно различающимися стоимостями параметр G следует вычислять как для критерия использования материалов. Критерий расхода материалов обычно является монотонно убывающей функцией при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному показателю эффективности Q .

Критерий *расхода энергии*. При разработке технической системы стараются свести к минимуму энергетические затраты. В связи с этим существует критерий расхода энергии:

$$K_9 = \frac{W_n + E}{TQ}, \quad (1)$$

где W_n – полная затрата энергии за время эксплуатации ТО, E – затраты энергии при изготовлении ТО, T – время эксплуатации ТО, Q – показатель эффективности. Формулу (1) рекомендуют использовать, когда W_n и E соизмеримы. Если W_n намного больше E , то используется следующая формула:

$$K_9 = W / Q, \quad (2)$$

где W – затраты энергии при эксплуатации ТО в единицу времени.

В инженерной практике широко используется еще одна модификация этого критерия, которую называют коэффициентом полезного действия:

$$K_9 = W_0 / W, \quad (3)$$

где W_0 – полезная работа, W – вся выполненная работа.

Критерии, представленные формулами (1) и (2) – монотонно убывающие функции, а формулой (3) – монотонно возрастающая функция.

Критерий *затрат на информационное обеспечение*:

$$K_{u.o.} = S / Q,$$

где S – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку программного и информационного обеспечения, Q – показатель эффективности.

Критерий представляет собой монотонно убывающую функцию, однако возможны скачки, связанные с переходом на новую вычислительную технику, которая сразу не дает повышения эффективности ТО.

Критерий *габаритных размеров* ТО выражается следующей формулой:

$$K_2 = V / Q,$$

где V – основные габаритные размеры ТО, Q – показатель эффективности. Обычно этот критерий является монотонно убывающей функцией и влияет на развитие всех объектов, кроме тех, у которых уменьшение габаритов функционально ограничено.

Антропологические критерии. Группа этих критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособление ТО к человеку.

Критерий *эргономичности*. Свойство системы человек-машина менять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека называют эргономичностью. Эффективность ТО при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии развития системы (производительность, надежность, точность). Критерий эргономичности для конкретного ТО равен отношению реализуемой эффективности системы человек-машина к максимально возможной эффективности этой же системы. Он представляет монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к 1. Критерий эргономичности можно трактовать как КПД человека в системе. Роль этого критерия возрастает с усложнением ТО. Эргономика стремится создавать наиболее удобные для человека системы.

Критерий *безопасности* ТО. Многие технические системы могут оказывать на человека вредные воздействия разных степеней тяжести. В связи с этим введен критерий безопасности, учитывая который ТО в своем развитии имеет тенденцию понижать или исключать вредные и опасные воздействия на людей.

$$K_{\sigma} = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i \frac{S_i}{S_i^n},$$

где n – число вредных и опасных факторов, β_i – весовой коэффициент i -ого фактора при условии, что $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$, γ_i – весовой коэффициент, который равен:

1, если $S_i = S_i^n$, а иначе $1/\min(\beta_i)$, S_i – величина i -ого вредного фактора, S_i^n – нормативная (предельно допустимая) величина i -ого вредного фактора.

При отсутствии нарушений всех условий данный критерий принимает значение в диапазоне от 0 до 1, при нарушениях он становится больше 1, а в случаях больших нарушений критерий безопасности может намного превышать 1. Данный критерий относится как к новым, так и к существующим ТО.

Критерий *экологичности* регулирует взаимоотношения между ТО и окружающей средой. Он выражается формулой:

$$K_{\text{эк}} = (S_n + S_k) / S_o,$$

где S_n – площадь, на которой по одному или нескольким факторам имеются недопустимые загрязнения или изменения выше нормы, но ниже критических; S_k – площадь, на которой по одному или нескольким факторам имеются критические загрязнения и изменения, при которых жизнь человека становится невозможной; S_o – вся площадь.

К факторам загрязнения относятся инородные примеси, изменения в неживой и живой природе в виде отклонений от нормы. Вредное влияние на природу необходимо свести, по возможности, к минимуму, так как природа очень «напряжена» и любой перегиб может привести к экологической катастрофе.