

## ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В качестве объекта эксплуатации авиационная техника (АТ) выступает как некоторая материальная и функциональная целостность, сохранение и регулирование которой – непременное условие ее использования. Совершенствование научного подхода к подготовке специалистов для решения задач эксплуатации, т.е. обнаружение "расхождений" между существующим и должным, осознание проблемы, выработка цели, поиск средств, оценка результатов и т.п., требует разработки моделей с высоким уровнем формализации процессов распознавания, лежащих в основе обучения эксплуатации сложных технических систем и, в частности, АТ.

Распознавание состояния объекта эксплуатации (систем, устройств, агрегатов и т.д.) предполагает обычно наличие не нескольких, а одной реализации, т.е. реального состояния объекта. При этом возникает задача процесса получения информации о динамике объекта  $Y$  во одной реализации  $X$ .

С поступившей на вход анализатора (человека-специалиста) реализацией  $X_0$  им моделируются поочередно разные трансформации  $Y_1, Y_2, \dots$



Каждая из трансформаций превращает одну и ту же реализацию  $X_0$  в набор разных существенных реализаций  $X_1, X_2, X_3, \dots$

Формально в любой теории распознавания выделяются два раздела, посвященных обучению распознавания как формированию в памяти описания объекта и собственно распознаванию как сличению этого описания с новыми реализациями объекта [1]. Более важен первый раздел, в котором рассматривается информативность признаков и описания в целом. При анализе информативности описания объекта использовался вероятностный подход [2].

Чтобы структурно реализовать предлагаемые алгоритмы обработки информации о динамике распознаваемых объектов, в качестве основы была выбрана структурная модель био-

логического анализатора, описанная в [5–9]. По своему принципу многоуровневого анализа сенсорной информации параллельно в многочисленных каналах данная модель очень близка к перцептрону [4]. Это позволило применить математический аппарат алгоритмов обучения перцептрона к обучению детекторов и командных нейронов в модели анализатора при создании на ее основе новой модели константного анализатора, способного к отражению динамики.

Вместе с тем, хотя физическая структура объекта и внешние силы могут иметь небольшое конечное число составляющих, многообразие траекторий перехода из состояния  $X_t$  в  $X_{t+\Delta t}$  может стать бесконечным за счет многообразия сочетаний и перестановок, которые оказываются возможными в небольшой системе составляющих. Поэтому простота интерпретации случайной величины  $Y$  оборачивается с точки зрения описания объекта сложной лингвистической задачей поиска синтаксиса и морфологии для описания многообразия  $Y$  на входе анализатора. Данная задача является лингвистической, потому что только путем выяснения набора сил, структурных частей объекта (морфологии) и правил их сочетания (синтаксиса), т.е. на основе лингвистической модели, можно упростить запоминание всего многообразия преобразований объекта и сделать реальным это запоминание в анализаторе.

Рассмотрим более детально процедуру организации обучения, которая экспериментально может привести к формированию в памяти обучаемого сведений о словаре значений  $Y$  и о  $P(Y/\alpha_k)$ , где сведения о вероятностном распределении  $P(Y/\alpha_k)$  приводят к увеличению максимума информации, которую потенциально может получить обучаемый о каждом из изучаемых объектов летательного аппарата. Для этого сначала выясним, в виде какой математической величины интерпретируется переменная величина  $Y$ .  $N$ -мерное параметрическое описание состояния объекта на входе анализатора интерпретируется как точка в  $N$ -мерном пространстве. Соответственно два последовательных параметрических описания объекта в моменты времени  $t$  и  $t + \Delta t$  представляются в  $N$ -мерном пространстве в виде двух точек:  $X_t$  и  $X_{t+\Delta t}$ . Учебная выборка  $X_{уч} = X_1, X_2, \dots, X_t, X_{t+\Delta t}, \dots$  состояний (реализаций) объекта, которая используется для обучения распознающей системы, является набором разных пар, каждая из которых состоит из двух соседних по времени реализаций. Однако для изучения трансформаций объекта учебная выборка его реализации, снятая в естественных условиях существования объекта, не годится. В такой выборке  $X_{уч}^l$  не гарантировано, что из состояния точки  $X_t$  в состоянии-точку  $X_{t+\Delta t}$  объект переводится только одним фактором. Траекторией перехода объекта из  $X_t$  в  $X_{t+\Delta t}$  в этом случае не обязательно является вектор, начинающийся в точке  $X_t$  и

оканчивающийся в  $X_{t+\Delta t}$ . Есть вероятность, что траекторией перехода является не прямая, а ломаная, если переход совершается под воздействием не одного, а нескольких факторов. Для выяснения ломаной траектории необходимы координаты не только конечных точек  $X_t$  и  $X_{t+\Delta t}$ , но и промежуточных, которые отсутствуют в составе  $X_{уч}^I$ .

В отличие от  $X_{уч}^I$ , снятой с объекта в естественных условиях, искусственная выборка  $X_{уч}^H$  в последовательности  $X_1, X_2, \dots, X_t, X_{t+\Delta t}, \dots$  ни одна из пар реализаций  $X_t - X_{t+\Delta t}$  не содержит на своем промежутке смен факторов, то направление трансформации объекта на всем промежутке до точки  $X_{t+\Delta t}$  остается одним и тем же и поэтому является прямолинейным и может быть задано вектором с началом в точке  $X_t$  и концом в  $X_{t+\Delta t}$ .

Таким образом, благодаря "сирямлению" траектории трансформации объекта в  $X_{уч}^H$ , в отличие от  $X_{уч}^I$ , информация о динамике оказывается представленной в простой лингвистической форме и поэтому может быть декодирована. Декодирование, т.е. измерение случайной величины  $Y_t$ , может быть осуществлено по каждой паре  $X_t - X_{t+\Delta t}$  из  $X_{уч}^H$  путем вычисления угла наклона или направляющих косинусов вектора  $\bar{Y}_t = \{X_t, X_{t+\Delta t}\}$  в системе координат  $X$ . Следует ожидать, что модуль вектора  $Y_t$  будет отражать степень интенсивности и продолжительности действия фактора. Он будет вариабелен и поэтому мало информативен. В амплитуде деформаций отражается главным образом вариабельность воздействий окружающей среды. Вариабельность самого объекта, его структура внося детерминацию прежде всего не в амплитуду, а в направление происходящих с объектом трансформаций. Поэтому в качестве измеряемых значений случайной величины  $Y_t$  следует рассматривать лишь значения направлений вектора  $\bar{Y}_t$  без учета его модуля. В этом заключается математическая интерпретация величины  $Y$ .

Итак, переменная  $Y$  — это векторная величина. Для ее нахождения используются всякий раз две скалярные величины:  $X_t$  и  $X_{t+\Delta t}$ , а именно две близко отстоящие во времени реализации "фотографий" изучаемого объекта. Вычисление  $Y$  по обычной  $X_{уч}^I$ , состоящей из бинарных реализаций, принципиально невозможно. Это первый вывод, налагающий жесткие требования на процедуру обучения. Второй вывод вытекает из первого и касается экспериментально наиболее оптимального способа получения двух близко отстоящих друг от друга "фотографий" объекта. Этот вывод заключается в том, что в физическом эксперименте

наиболее удачным приемом для образования  $X_t$  и  $X_{t+\Delta t}$  с ранее оговоренными свойствами может быть предьявление на вход системы мгновенных скачков состояния объекта. Под мгновенным скачком понимается быстрый переход объекта из одного состояния в другое.

Таким образом, теперь можно парисовать общую математическую модель обучения распознающей системы, в качестве которой в работе рассматривается обучаемый.

Для получения сведений о  $P(X/\alpha_K)$ ,  $P(Y/\alpha_K)$  и  $P(\alpha_K)$  объекты  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K, \dots, \alpha_M)$  изучаются трижды. Первый раз они изучаются в естественных условиях существования обучаемого контингента  $\alpha_K$  ( $K = 1, 2, \dots, M$ ), в условиях максимально возможного отсутствия возмущающих объект воздействий. В этих условиях в случайные моменты времени существования объекта он предьявляется Учителем на вход обучаемого. Обучаемый в каждый из этих дискретных моментов времени производит многомерное описание состояния объекта. Состояния  $S$  объекта измеряются  $N$ -мерным рецепторным полем распознающей системы и описываются  $N$ -мерной величиной  $X$  (представляются точками  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_t, X_{t+\Delta t}, X_t$  в  $N$ -мерном евклидовом пространстве). По поступившему в обучаемого ряду  $X_{уч}^t$  значениям случайной величины  $X$  находится распределение  $P(X/\alpha_K)$  для каждого  $\alpha_K$ . Порядок следования элементов в ряду не имеет значения, важен лишь сам факт присутствия элемента в  $X_{уч}^t$ . Условие максимального отсутствия возмущающих объект воздействий способствует малой дисперсии значений  $X$  в распределении  $P(X/\alpha_K)$  вокруг математического ожидания.

Второй раз те же объекты изучаются для получения сведений о распределении  $P(Y/\alpha_K)$ . Для этого в объект  $\alpha_K$  вносятся всевозможные воздействия, возмущающие его состояние. Затем в результате такого же, как и в первом случае,  $N$ -мерного измерения объекта, однако не в случайные моменты времени, а производя его всякий раз до и после окончания очередного воздействия, составляется учебная выборка  $X_{уч}^i$ . При этом имеется Учитель, который дозирует число одновременно действующих факторов, доводя его до одного или другого предельного минимума, и управляет моментом начала и конца воздействия, синхронизируя их с моментами многомерного измерения объекта. Реально могут быть разные варианты распределения функции Учителя между распознающей системой, моторной системой, генерирующей возмущения, и Учителем. Этот вариант изучения объектов связан с выполнением практических работ.

Третий раз те же объекты изучаются обучаемым контингентом с целью выявления вероятности  $P(\alpha_K)$  каждого из объектов в общей их совокупности ( $\sum P(\alpha_K) = 1,0$ ). При этом со-

вокушность объектов предстает в наиболее естественных условиях их существования. Этот вариант связан с самообучением.

Выше была рассмотрена общая математическая модель изучения объектов, определения вероятностных характеристик их формы и динамики. При этом, говоря о динамике и трансформации изучаемого объекта, имелись в виду такие его трансформации, которые являются линейными, т.е. распространяются на весь объект как на неделимое однородное тело. Такой случай, когда изучаемые объекты однородны, не содержат в себе структурных частей с разной динамикой, следует рассматривать их как частный случай. Перейдем к рассмотрению более общей модели, описывающей образование различных состояний и трансформаций изучаемого объекта

Модель основывается на предположении, что в общем случае изучаемый объект имеет многоуровневую структуру составных частей, каждая из которых имеет для изменения состояния свои степени свободы. В результате у каждой из частей может наблюдаться независимость и самостоятельность в характере ее динамики, в способе подвергаться преобразованиям. Так, однородность материала, из которого состоит объект, топологическая его целостность обеспечивают сходный путь превращения и динамики всех его точек при воздействии на него некоторых внешних сил. Вместе с тем, наряду с относительной однородностью объекта при действии других внешних сил в нем может обнаруживаться определенное отличие в свойствах различных частей. Отличие свойств частей выражается в отличии их динамики. В свою очередь, в каждой отдельной части при более тонком анализе могут обнаруживаться еще более мелкие части, хотя и в незначительной мере, но отличающиеся друг от друга по свойствам, а значит, и по степени свободы проявления себя. Данные части проявляют свою независимость динамики при действии некоторого третьего вида внешних сил.

Представим следующим образом общую модель возникновения всевозможных реализаций некоторой группы явлений  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_m$ . Реализации  $X$  явления  $\alpha$ , будем рассматривать как различные трансформации, т.е. преобразования некоторого однородного состояния  $\alpha_i^0$ . При этом из всех преобразований лишь преобразования определенного вида распространяют свое действие на все явление в целом. Обозначим эту группу преобразований через  $Y(\alpha_i^0)$ , а саму операцию преобразования  $\alpha_i^0$  в новые реализации через  $(\alpha_i^0)$ . Далее предположим, что явление  $\alpha$  структурно состоит из частей  $\alpha_i^1$ . Замечено, что каждая из них отдельно и независимо могут совершаться преобразования другого вида,

образующие группу  $Y\alpha_i^1$ . Каждая из частей  $\alpha_i^1$ , в свою очередь, разбивается на части  $\alpha_i^2$ , отличающиеся индивидуальными группами преобразований  $Y\alpha_i^2$  и т.д.

В итоге множество реализаций  $X$  всех явлений  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_M$  представляется как результат аддитивного действия большого числа различных независимых преобразований  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t, \dots, Y_l$ , совершенных над явлением в целом и над теми или иными его частями  $\alpha_i^t$ , где  $t = 1, 2, 3, \dots$ . При этом действие некоторой группы преобразований  $Y\alpha_i^t$  на соответствующую ей часть  $\alpha_i^t$  одновременно выливается в преобразование всех частей  $\alpha_i^t$  (где  $t' > t$ ), содержащихся в  $\alpha_i^1$ .

В соответствии с такой многоуровневой "лингвистической" моделью преобразований в принципе любая реализация  $X_t$  явления  $\alpha$ , какой бы отличной она не была от исходного его состояния  $\alpha_i^0$ , может быть синтезирована путем определенных преобразований явления  $\alpha_i^0$  и его частей  $\alpha_i^t$  ( $t = 1, 2, 3, \dots$ ). Формально этот процесс синтеза можно записать в следующем виде:

$$X_t = Y\alpha_i^0 \{ \sum Y\alpha_i^1 [ \sum Y\alpha_i^2 \dots ( \sum Y\alpha_i^t (\alpha_i^t) ) ] \}.$$

Многоуровневая иерархия совершаемых над  $Y\alpha_i^t$  преобразований есть грамматика синтеза. Морфологию синтеза составляет набор  $Y\alpha_i^t$  всевозможных видов преобразований явления и его частей ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ). Синтаксис преобразований (сочетание элементарных преобразований) вытекает из топологии явления, т.е. многоуровневой структуры образующих его частей. Особенность предлагаемого подхода к выбору "трансформационной грамматики" в том, что она выбирается не априорно, а выводится из эксперимента, т.е. апостериорно. Именно статистические сведения о распределении  $P(Y/\alpha_i)$  и распределениях  $P(Y\alpha_i^t)$  ( $t = 1, 2, \dots$ ) его частей позволяют составить однозначную грамматику для синтеза, т.е. экстраполяции всевозможных реализаций одного и того же явления.

Можно отметить, что модель объекта, которая лежит в основе известного корреляционного метода распознавания [5], является частным вариантом вышеописанной модели. В соответствии с моделью корреляционного метода все множество реализаций распознаваемого объекта образуется путем линейных преобразований всего объекта в целом. В предлагаемой модели исходим из предположения, что линейные преобразования могут охватывать как весь объект, так и отдельные большие и малые его части.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев В.И. Распознающие системы. – Киев, 1969.
2. Небылицин В.Д. Современное состояние факторного анализа //Вопр. психологии. – 1960. – №1
3. Пиаже Ж. Роль действия и формирования мышления //Вопр. психологии. –1965. – №6.
4. Розенблатт Ф. Принципы пейродинамики. – М., 1965.
5. Себестиан Г.С. Процессы принятия решений при распознавании образов. – Киев, 1965.
6. Соколов Е.Н. Нейронные механизмы в памяти обучения. – М., 1981.
7. Соколов Е.Н. Психофизиология принятия решения. //В кн.: Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. – М., 1981. – С. 75-83.
8. Соколов Е.Н., Измайлов Ч.А., Измайлова Г.В., Зимачев М.М. Сферическая модель цветового зрения //Вестн. МГУ. Сер.14, Психология, 1977. – №1. – С. 45-52.
9. Фомин С.В., Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г. Искусственные органы чувств – М., 1979.